

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS DEL MÚSCULO DE COPORO (*Prochilodus mariae*) ASOCIADOS AL CICLO REPRODUCTIVO

Changes in the Chemical and Biochemical Properties of Coporo (*Prochilodus mariae*) Muscle Associated to the Reproductive Cycle

Pedro V. Arveláiz¹ y Rafael Bello²

¹Área de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales Rómulo Gallegos. Zaraza, Venezuela. E-mail: pedroarvel@yahoo.es

²Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. E-mail: rbello@strix.ciens.ucv.ve

RESUMEN

El coporo (*Prochilodus mariae*) es una importante especie pesquera de agua dulce en Venezuela que se caracteriza porque durante su ciclo reproductivo realiza migraciones para desovar. El estudio fue conducido para investigar los cambios en la composición química, contenido energético y propiedades bioquímicas del músculo del coporo durante las diferentes etapas de su ciclo reproductivo: reposo, desarrollo gonadal y post-desove. Todos los componentes del análisis proximal excepto la ceniza fueron afectados por el ciclo reproductivo ($P < 0,05$). El porcentaje de grasa cambió significativamente desde $3,67 \pm 0,42$, en el período de reposo gonadal hasta $0,18 \pm 0,16$ en post-desove. Un alto grado de asociación inversa ($P < 0,01$) fue observada entre las variables humedad y grasa. El contenido de proteínas también fue afectado significativamente ($P < 0,05$) pero solo durante el ciclo migratorio. El contenido energético del músculo disminuyó progresivamente, presentando alta correlación con el contenido de grasa, sugiriendo que la disminución en los valores de energía en el músculo durante las etapas de desarrollo gonadal y desove probablemente está ligada al consumo de las reservas grasas. El patrón electroforético de la actomiosina mostró que la cadena pesada de miosina (MHC), la actina y el complejo tropomiosina-tropomina disminuyeron drásticamente ($P < 0,05$), reflejando un deterioro sustancial del complejo regulador de la contracción muscular para el momento del desove. La relación miosina/actina no fue afectada. Las diferencias observadas en las actividades ATPasa de las proteínas miofibrilares del músculo indi-

caron que la actomiosina en período de desarrollo gonadal y post-desove están parcialmente modificadas.

Palabras clave: Pescado, ciclo reproductivo, propiedades bioquímicas.

ABSTRACT

Coporo (*Prochilodus mariae*) is an important Venezuelan fresh water fishing specie, characterized because during its reproductive cycle, carries out migrations to spawn. This study was conducted to investigate the changes in coporo muscle chemical composition, energy content and biochemical properties during gonadal rest, gonadal development and spawns migration (post-spawning). All the components of the proximal analysis, excepting ashes, were affected by the reproductive cycle ($P < 0.05$). Fat percentage significantly changed from 3.67 ± 0.42 in gonadal rest down to 0.18 ± 0.16 post-spawn. A high degree of inverse association ($P < 0.01$) was observed between humidity and fat content. Protein content was also significantly lower ($P < 0.05$), but only during the migratory cycle. Muscle energy content progressively diminished, presenting high correlation with fat content, suggesting a decrease in muscle energy securities during gonadal development and spawn, probably by fat muscle reserve consumption. Actomyosin electrophoretic pattern showed that myosin heating chain, actin, and tropomyosin-troponin complex relative percentage drastically diminished ($P < 0.05$) reflected a substantial deterioration of muscular contraction regulatory complex by the moment of spawn. Myosin/actin ratio was not affected. Differences observed in miofibrillar protein ATPase activity during dif-

ferent stages of the reproductive cycle showed that actomyosin was partially modified during the period of gonadal development and post-spawn.

Key words: Fish, reproductive cycle, biochemical properties.

INTRODUCCIÓN

La calidad del músculo de pescado es afectada por numerosos factores extrínsecos e intrínsecos a cada especie pesquera. Dentro de estos se encuentran la época de captura, medio ambiente, la especie, edad, sexo, época del ciclo reproductivo y desarrollo gonadal [15, 16, 21, 29, 34].

Clásicamente, los estudios realizados sobre el efecto del ciclo reproductivo, en los componentes del pescado han sido orientados hacia los análisis de la composición química [21, 29, 44]. El efecto más pronunciado se ha señalado en especies de peces donde el ciclo reproductivo está ligado a largas migraciones para desovar, ya que además del gasto de energía que representa la síntesis de material para el desarrollo de las gónadas se suma el gasto de energía que implica el gran esfuerzo del pez al desplazarse grandes distancias para alcanzar los lugares adecuados para desovar. Una marcada disminución en el contenido de grasa y proteínas, y un incremento de humedad han sido observados en el tejido muscular de salmones del Pacífico cuando suben a través de los ríos [4, 18, 24], lo que disminuye significativamente su valor comercial [37]. En especies como el bacalao del Atlántico Norte (*Gadus morhua*) también se han observado cambios en la composición química del músculo asociados al período de desarrollo gonadal y desove, pero no fueron tan pronunciados [20].

Las características funcionales del músculo dependen principalmente de las proteínas miofibrilares [8]. Esta dependencia es más notable en el músculo de pescado que en el músculo de mamíferos, por su bajo contenido de colágeno. Existe amplio conocimiento relativo a las propiedades bioquímicas y funcionales de la actomiosina [6, 9, 12, 18, 34]. Se ha evidenciado que cuando se compara la actomiosina extraída de merluza en el período de pre-desove y post-desove, la primera presenta una disminución porcentual significativa de miosina por la desnaturalización parcial de la cadena pesada [11, 30, 38]. Roura y col. [39], al analizar el patrón SDS-PAGE de actomiosina de merluza en pre-desove observaron una ausencia de la cadena pesada de miosina (205 kDa) y la aparición de un componente de 160 kDa, que no se encontró presente en los geles de actomiosina en post-desove. Pagano y col. [34] también demostraron la desnaturalización parcial de la cadena pesada de miosina y la disminución de la relación miosina/actina en la merluza en pre-desove. En salmón capturado en época de migración para el desove se han reportado cambios sustanciales en el perfil electroforético de las proteínas miofibrilares [2].

La actividad ATPasa ha sido ampliamente utilizada para medir la integridad de la actomiosina y de las proteínas miofibrilares en general [31, 35, 39]. En diversos trabajos se ha evidenciado que todas estas enzimas son afectadas por el ciclo reproductivo, observándose una pérdida significativa de su actividad con el desarrollo gonadal [34, 39, 40].

El propósito de este trabajo fue estudiar los cambios en la composición química y bioquímica en el músculo del coporo durante el período de reposo, desarrollo gonadal, y luego de la migración para el desove (post-desove).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Para cada período del ciclo reproductivo, diez muestras de coporo (*Prochilodus mariae*) hembras de 15 individuos cada una y tamaños homogéneos fueron obtenidas en el embalse "Cigarrón", afluente del río Unare, ubicado en el municipio Zaraza, estado Guárico-Venezuela. Las capturas se realizaron durante los meses de intensa alimentación del coporo o de reposo gonadal (enero, febrero y marzo), pre-desove o de máximo desarrollo gonadal (junio, julio) y luego de la migración para el desove o post-desove (julio, agosto, septiembre). Las muestras fueron analizadas como se detalla a continuación:

Índice gonadosomático y porcentaje de estómagos llenos

El Índice Gonadosomático (GSI) y el porcentaje de estómagos llenos se determinaron en todos los especímenes, según Crupkin y col. [11].

- Índice Gonadosomático (GSI) = $\frac{\text{Peso húmedo gónadas} \times 100}{\text{Peso húmedo (Pescado entero-gónadas)}}$
- Porcentaje de estómagos llenos = $\frac{\text{Peso (g) del tracto digestivo}}{\text{Peso pescado (g)}} \times 100$

Análisis proximal y valor energético de la carne del coporo

Análisis proximal según los métodos de la Association of Official Analytical Chemists [5] por triplicado en tres individuos diferentes tomados al azar. Valores de energía bruta: proteína cruda $\times 5,7$ Kcal/g de materia seca. Grasa cruda $\times 9,3$ Kcal/g materia seca, según lo reportado por Aello y Di Marco [1].

Extracción y purificación de proteínas miofibrilares

Según Crupkin y col. [12]. 15 g de músculo de pescado macerado en mortero se homogenizaron en omnimixer con 100 mL de buffer estándar (0,1M KCl, Tris-maleato 20 mM a pH 7,0) frío a $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Se centrifugó a $850 \times g$ por 15 min. a temperatura de refrigeración entre 3 y 4°C . El sobrenadante se descartó y el precipitado se resuspendió en 100 mL del buffer estándar. La operación de homogenización, centrifugación y resuspensión se repitió dos veces más, eliminando el sobrena-

dante. El precipitado final se resuspendió en 100 mL del mismo buffer estándar, obteniéndose las miofibrilares purificadas.

Extracción y purificación de actomiosina natural

Por el método de Tsuchiya y col. [45], con las modificaciones de Crupkin y col. [10], 15 g de músculo de pescado macerado en mortero se homogenizaron en omnimixer con 135 mL de buffer (KCl 0,6 M, 3 mM NaHCO₃, pH 6,8) frío a 4 ± 2°C. Se centrifugó a 7500 × g 15 min. a temperatura de refrigeración entre 3 y 4°C. Se descartó el precipitado y se tomó el sobrenadante (KCl 0,6 M, 3 mM NaHCO₃, pH 6,8) que fue diluido con agua fría a 4 ± 2°C hasta alcanzar una concentración de 0,2 M de KCl. Esta solución fue nuevamente centrifugada a 7500 × g 15 min, se descartó el sobrenadante y el precipitado fue solubilizado con 100 mL del buffer a 4 ± 2°C. Las operaciones de dilución con agua fría a 4 ± 2°C, centrifugación y posterior solubilización en el buffer a 4 ± 2°C fue repetida dos veces más, obteniéndose así la actomiosina natural. La concentración de proteínas miofibrilares y actomiosina se determinó sobre alícuotas de los extractos, por el método de Lowry y col. [28], utilizando seroalbúmina de bovino como estándar.

Actividad ATPasa miofibrilar

La actividad ATPásica fue determinada en las enzimas Ca²⁺-ATPasa, Mg²⁺-ATPasa, Mg²⁺-(EDTA)-ATPasa y Mg²⁺-Ca²⁺-ATPasa del extracto de proteínas miofibrilares, según el método y las condiciones propuestas por Seki y Narita [41] con las siguientes modificaciones: Ca²⁺-ATPasa: 0,12 mg.mL⁻¹ de proteína, 0,75 mM ATP, 10 mM CaCl₂, 5 min de incubación; Mg²⁺-ATPasa: 0,20 mg.mL⁻¹ de proteína, 1 mM ATP, 1 mM MgCl₂, 1 min de incubación; Mg²⁺-(EDTA)-ATPasa: 0,25 mg.mL⁻¹ de proteína, 0,75 mM ATP, 0,5 mM EDTA, 2 mM MgCl₂, 5 min de incubación; Mg²⁺-Ca²⁺-ATPasa: 0,12 mg.mL⁻¹ de proteína, 0,75 mM ATP, 2 mM MgCl₂, 0,1 mM CaCl₂, 4 min de incubación. Todas las enzimas fueron incubadas en un medio 60 mM KCl, buffer Tris-maleato 30 mM (pH 7,0) a 37°C. La reacción fue detenida con ácido tricloroacético (TCA) frío a 4 ± 2°C en una concentración final en el tubo de 10%. El fósforo liberado se determinó siguiendo el método de Chen y col. [13]. Los resultados de actividades enzimáticas se expresaron en µmoles Pi/min/mg de proteína.

Perfil electroforético de la actomiosina en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE)

Se realizaron corridas electroforéticas en la suspensión de actomiosina obtenida a partir del músculo, sobre geles de SDS-Poliacrilamida (SDS-PAGE) al 10% (acrilamida, bisacrilamida) de acuerdo al procedimiento de Laemmli [27]. Se usaron estándares BIO-RAD de proteínas (Broad Range, catálogo 161-0318) de peso molecular en el rango de 6.969 a 201.179 Da. El análisis densitométrico de las corridas se obtuvo mediante el programa GELPRO.

Análisis estadístico

El diseño experimental para el análisis de los datos correspondió a un diseño completamente aleatorizado:

$$y_{ij} = \mu + r_i + E_{ij}$$

donde:

y_{ij} : es la (ij)-ésima observación de cada variable dependiente

μ : es la media poblacional

r_i : son los períodos reproductivos del coporo $i = 3$

E_{ij} : es el componente aleatorio del error experimental.

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza simple (ANOVA) y Rango Múltiple de Duncan, con el programa estadístico Statgraphics plus versión 5,1 [43].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación en el índice gonadosomático (GSI) y en el contenido estomacal durante el ciclo reproductivo de coporos hembras se muestra en las FIGS. 1 y 2. El máximo desarrollo gonadal (20,75) se alcanzó durante el mes de julio, mientras que en agosto se registró el mayor número de ejemplares en desove, lo que se vio reflejado en una disminución brusca del GSI. En el pez marino japonés (*Siganus fuscescens*) se han señalado valores de GSI de 14,1 durante el período de máximo desarrollo gonadal y de 0,1 durante el reposo gonadal [33]. Para el pez lagarto (*Saurida elongata*) los valores de GSI fueron 14,6 y 0,2 en desarrollo y reposo gonadal respectivamente [42]. En salmones (*Oncorhynchus keta*) capturados en la época de migración para el desove el GSI fue de 18,1 [3]. El alto valor de GSI alcanzado por coporo refleja la potencialidad reproductiva de esta especie. Por otra parte, el análisis de las variaciones en el contenido estomacal del pescado permite sugerir que el reposo gonadal es un período de abundante ingestión de alimento que disminuye durante la maduración de las gónadas y luego alcanza un estado de inanición durante el desove. El índice gonadosomático GSI resultó ser un parámetro adecuado para el seguimiento de los procesos reproductivos del coporo.

La TABLA I muestra los cambios en los componentes químicos y en el contenido energético del pescado durante los diferentes períodos del ciclo reproductivo. Todos los componentes químicos del músculo del coporo, a excepción de las cenizas, presentaron cambios significativos ($P < 0,05$). El contenido de grasa cruda disminuyó significativamente ($P < 0,01$) y fue afectado tanto por el período de desarrollo de las gónadas, como por las migraciones para el desove, mientras que las proteínas solo fueron afectadas significativamente por el período migratorio para el desove. Estos resultados concuerdan con los cambios que sufre el salmón en la composición química durante el ciclo reproductivo. En el salmón los lípidos

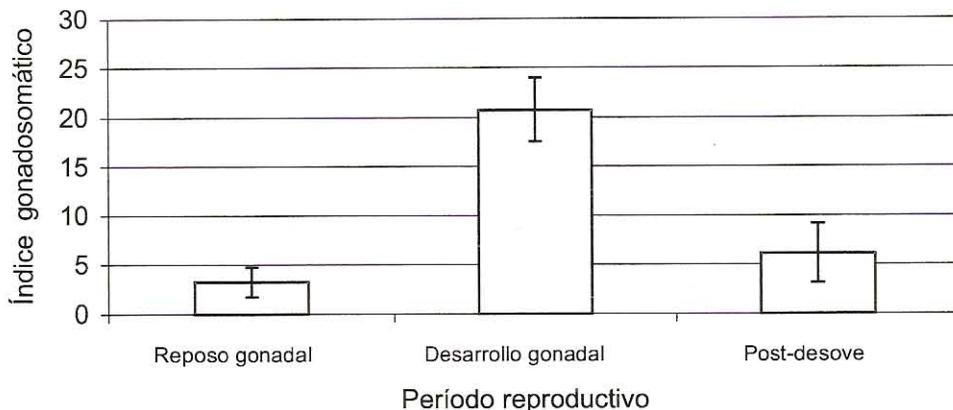


FIGURA 1. VARIACIONES EN EL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO DEL COPORO DURANTE EL CICLO REPRODUCTIVO (N=15 ± SD).

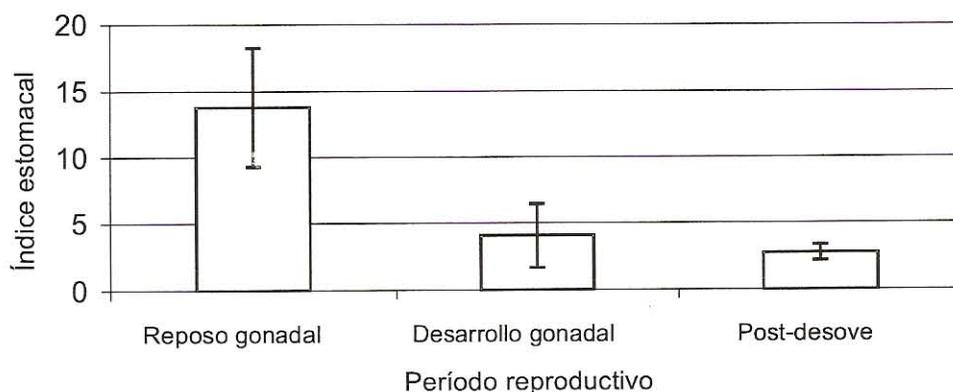


FIGURA 2. VARIACIONES EN EL ÍNDICE ESTOMACAL DEL COPORO DURANTE EL CICLO REPRODUCTIVO (N=15 ± SD).

TABLA I
VARIACIONES EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CONTENIDO ENERGÉTICO DEL MÚSCULO DE COPORO (*Prochilodus mariae*) DURANTE EL CICLO REPRODUCTIVO

Composición química	Período reproductivo		
	Reposo gonadal	Desarrollo gonadal	Post-desove
Humedad (%)	76,99 ± 1,06 ^a	79,04 ± 0,31 ^b	81,83 ± 0,38 ^c
Proteínas (%)	19,03 ± 0,89 ^a	18,99 ± 0,44 ^a	17,44 ± 0,53 ^b
Grasa (%)	3,67 ± 0,42 ^a	1,24 ± 0,54 ^b	0,18 ± 0,16 ^c
Cenizas (%)	1,09 ± 0,16 ^a	1,18 ± 0,14 ^a	1,24 ± 0,11 ^a
Contenido de energía (Kcal/g peso seco)	6,19 ± 0,08 ^a	5,71 ± 0,22 ^b	5,58 ± 0,10 ^b

Cada valor representa el promedio ± la desviación estándar de 3 determinaciones en 3 individuos. Filas con distinto superíndice denota diferencias significativas entre los promedios (P < 0,05) según ANOVA de una vía.

del músculo disminuyen desde un 4% en reposo gonadal hasta un 1% en desove y las proteínas disminuyen solo por efecto de la migración y desove [2, 23]. Beaulieu y Guderley [7] indicaron que las proteínas del músculo blanco eran movilizadas para cubrir los requerimientos energéticos del pez en el período de inanición durante el desove. El arenque de Noruega (*Clupea harengus*) disminuye su contenido de lípidos desde 175 a 75 g/kg de músculo debido a la migración para el desove

[17]. Adicionalmente, un alto grado de asociación inversa (P < 0,01) fue observada entre las variables humedad y grasa del músculo del coporo, coincidiendo con lo descrito por diversos investigadores en el sentido de que la grasa y humedad son inversamente proporcionales [16, 21]; sin embargo, en especies magras como el bacalao las proteínas y la humedad muestran una relación inversamente proporcional [20], a diferencia de lo observado en el pescado graso.

El contenido energético del músculo mostró cambios con el ciclo reproductivo ($P < 0,05$) y disminuyó significativamente con el desarrollo gonadal (TABLA I). Esto evidencia los altos requerimientos energéticos del pez durante este período. Adicionalmente, el contenido de grasa presentó una alta correlación con el contenido energético, lo que sugiere que la disminución en los valores de energía durante las etapas de desarrollo gonadal y desove está íntimamente ligada al consumo de las reservas grasas en el músculo. Este comportamiento también ha sido observado en salmónidos (*Oncorhynchus keta*) durante su ciclo reproductivo [4, 20, 37, 44] y en merluza (*Merluccius hubbsi*) donde el contenido de energía del músculo se redujo desde 6,0 Kcal/g de materia seca en el período de

reposo gonadal hasta 5,2 Kcal/g de materia seca durante el desove [30], lo que representa una disminución del 13,3% en el contenido de energía del músculo, que es un porcentaje muy aproximado al indicado para coporo. El examen exhaustivo del análisis proximal indica que el músculo del coporo experimenta un progresivo reemplazo de grasas y proteínas por agua a medida que se dan los cambios desde el reposo gonadal, pasando por el desarrollo gonadal, hasta el momento inmediatamente posterior a la migración y desove.

Los perfiles electroforéticos en SDS-PAGE al 10% de la actomiosina aislada de ejemplares en reposo gonadal, desarrollo gonadal y post-desove son presentados en la FIG. 3 y TABLA II. Las bandas polipeptídicas del complejo actomiosina

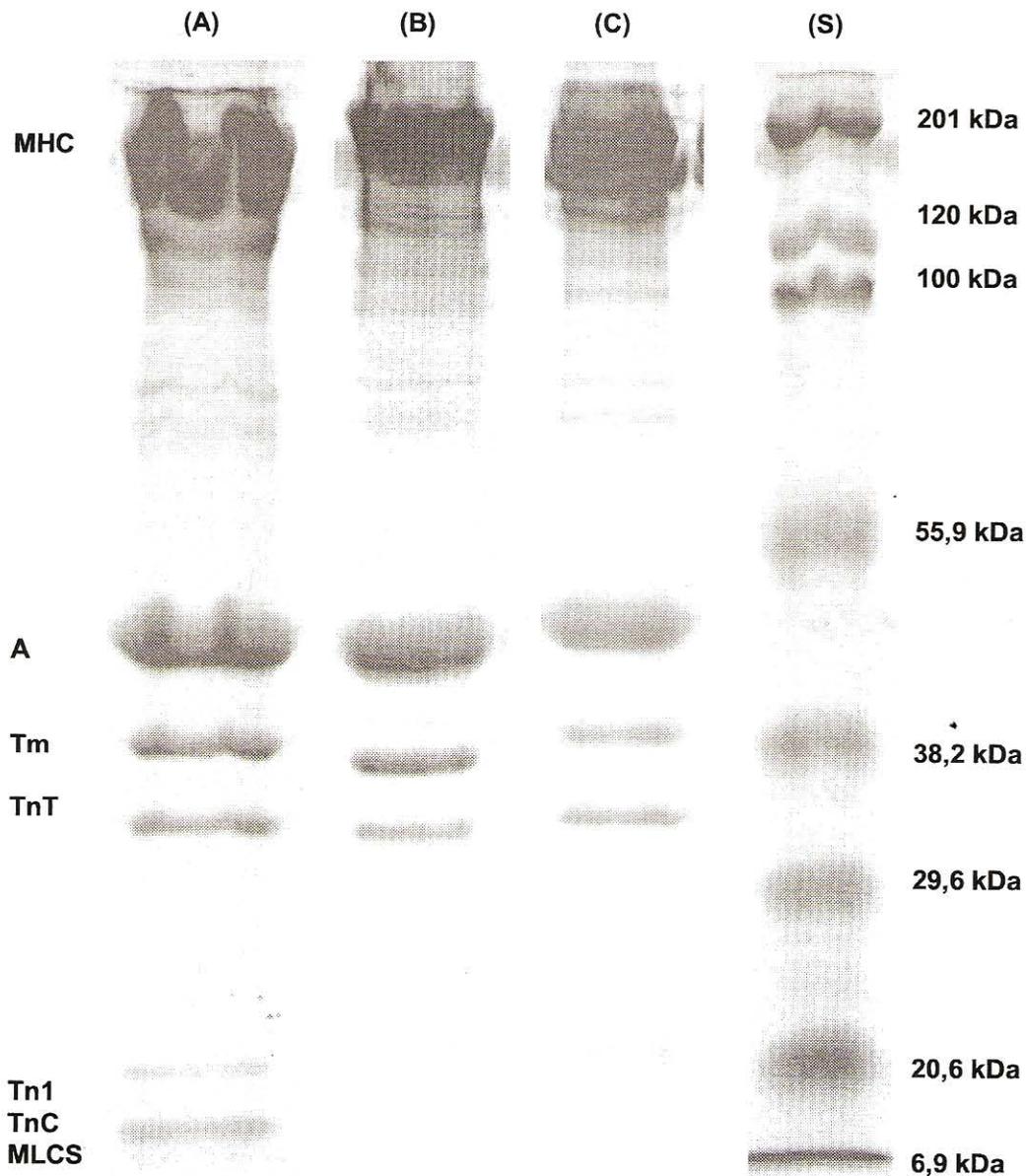


FIGURA 3. PERFILES ELECTROFORÉTICOS (10%) DE ACTOMIOSINA DE COPORO DURANTE EL CICLO REPRODUCTIVO. (A) REPOSO GONADAL. (B) DESARROLLO GONADAL. (C) POST-DESOVE. (S) ESTÁNDAR DE PROTEÍNAS. SE APLICARON 25 μ g DE PROTEÍNA POR CADA GEL (VER TABLA II Y EXPLICACIÓN EN EL TEXTO).

TABLA II
CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN RELATIVA DE LAS PROTEÍNAS DEL COMPLEJO ACTOMIOSINA DEL MÚSCULO DEL COPORO

Proteínas del complejo actomiosina	Período del ciclo reproductivo		
	Reposo gonadal*	Desarrollo gonadal*	Post-desove*
Cadenas pesadas de miosina (MHC)	39,77 ± 3,92 ^a	36,25 ± 1,63 ^b	36,90 ± 3,62 ^b
Actina (A)	15,32 ± 1,15 ^a	14,37 ± 0,17 ^a	13,3 ± 0,42 ^b
Tropomiosina (Tm)	5,73 ± 0,47 ^a	5,62 ± 0,29 ^a	4,47 ± 0,49 ^b
Troponina T (TnT)	3,50 ± 0,41 ^a	3,28 ± 0,21 ^a	3,57 ± 0,37 ^a
Troponina 1 (Tn 1)	0,96 ± 0,27	ND	ND
Troponina C (TnC)	0,50 ± 0,18	ND	ND
Cadenas livianas de miosina (MLCs)	2,20 ± 0,36 ^a	1,09 ± 0,82 ^a	2,75 ± 0,82 ^a
Miosina/Actina	2,59 ± 0,35 ^a	2,52 ± 0,18 ^a	2,77 ± 0,28 ^a

*Los resultados son expresados como el promedio ± SD de los porcentajes relativos de proteínas (n = 3). Filas con distinto superíndice denota diferencias significativas entre los promedios (P < 0,05) según ANOVA de una vía. ND no detectado.

natural del músculo en época de reposo gonadal fueron: cadena pesada de miosina (MHC), actina (A), tropomiosina (Tm), troponina T (TnT), troponina 1 (Tn1), troponina C (TnC) y cadenas livianas de miosina (MLCs). También se observó la existencia de otros polipéptidos menores bajo la banda de MHC que no fueron identificados. En proteínas miofibrilares de carpa (*Labeo rohita*) el análisis del SDS-PAGE reveló el patrón característico de distribución observado en el coporo durante el período de reposo gonadal, a excepción de la presencia de las proteínas m y α -actinina [22]. Estos hallazgos concuerdan con los señalados en el extracto de proteínas miofibrilares del músculo de merluza [36], y con el patrón polipeptídico observado en el músculo blanco y rojo de carpa (*Cyprinus carpio*) y del pez aleta amarilla (*Seriola quinqueradiata*) [14].

El patrón electroforético de la actomiosina purificada del músculo de coporo en desarrollo gonadal y post-desove mostró varios cambios significativos con relación al músculo en reposo gonadal, y fueron más acentuados en post-desove. El porcentaje relativo de la MHC fue afectado significativamente por el desarrollo gonadal y desove. La actina y el complejo tropomiosina-troponina disminuyeron drásticamente (P < 0,05). La fracción troponina Tn1 y TnC no fueron detectadas durante el período de máximo desarrollo gonadal y post-desove, lo que indica un deterioro sustancial en las proteínas del complejo actomiosina para el momento del desove. Sin embargo, la relación miosina/actina no cambió (TABLA II). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el salmón (*Oncorhynchus keta*) durante el período de desove donde se ha señalado que la degradación de las proteínas miofibrilares se origina por la autólisis del músculo debido a la actividad de enzimas proteolíticas [2, 3, 4] en especial de la catepsina L que se activa durante la migración del pez para el desove [24, 32, 46]. Recientemente, en el pez lovíno (*Dicentrarchus labrax*) se ha mostrado evidencia que indica, que tres catepsinas B, D y L pueden degradar independientemente la cadena pesada de miosina y α -actinina, mientras que la actina y tropomiosina son suscepti-

bles sólo a la acción de la catepsina L, y la troponina T es sensible a las catepsinas D y L [25], aunque la degradación de estas proteínas requiere que las catepsinas se encuentren mezcladas; esto sugiere que ellas funcionan sinérgicamente en la ruptura de las proteínas del músculo [26]. La degradación de MHC durante el desarrollo gonadal también ha sido demostrada en merluza [30, 34, 40], lo que concuerda con los resultados de la presente investigación. Las variaciones en la composición de las proteínas del complejo actomiosina pueden incidir en las propiedades funcionales de la carne [8, 38] y en el caso del músculo de coporo deben ser motivo de futuros estudios que permitan establecer cualquier relación entre el ciclo reproductivo y las características sensoriales de sus productos derivados.

La actividad de las enzimas ATPasa miofibrilares ha sido ampliamente utilizada para medir la integridad de la actomiosina, ya que en ella se producen cambios cuando hay modificaciones en la interacción actina-miosina del complejo actomiosina [19, 35, 39]. Los cambios en las actividades Ca^{+2} -ATPasa, Mg^{+2} -ATPasa, Mg^{+2} -(EDTA)-ATPasa y Mg^{+2} - Ca^{+2} -ATPasa del extracto de proteínas miofibrilares extraídas del músculo de coporo durante el ciclo reproductivo, son mostrados en la TABLA III. La actividad de las enzimas Ca^{+2} -ATPasa, Mg^{+2} -ATPasa y Mg^{+2} - Ca^{+2} -ATPasa durante el período de intensa ingesta de alimento o reposo gonadal fue significativamente mayor (P < 0,05) que la actividad de las enzimas en época de desarrollo gonadal. El efecto fue aun más elevado en comparación con los ejemplares capturados luego de la migración y desove. La actividad de la enzima Ca^{+2} -ATPasa es un buen indicador de la funcionalidad de la miosina en el complejo actomiosina [38, 39]. La actividad de esta enzima fue tres veces mayor en el músculo en reposo gonadal que en el período de desarrollo gonadal, y cuatro veces mayor que la enzima del pescado en post-desove, lo que refleja una pérdida en la funcionalidad de la miosina. En merluza, se ha señalado que la actividad Ca^{+2} -ATPasa de la actomiosina es tres veces menor en el pe-

TABLA III
VARIACIONES EN LAS ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DE LAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES DEL MÚSCULO DEL COPORO (*Prochilodus mariae*) DURANTE EL CICLO REPRODUCTIVO

Propiedad bioquímica	Período del ciclo reproductivo		
	Reposo gonadal*	Desarrollo gonadal*	Post-desove*
Ca ⁺² -ATPasa	0,3729 ± 0,02 ^a	0,1347 ± 0,02 ^b	0,0993 ^c ± 0,00 ^c
Mg ⁺² -ATPasa	1,0937 ± 0,07 ^a	0,4198 ± 0,05 ^b	0,2316 ± 0,03 ^c
Mg ⁺² -(EDTA)-ATPasa	0,1703 ± 0,002 ^a	0,0834 ± 0,020 ^a	0,0929 ± 0,002 ^a
Mg ⁺² -(Ca ⁺²)-ATPasa	0,4920 ± 0,01 ^a	0,0714 ± 0,01 ^b	0,0825 ± 0,00 ^b

Las actividades enzimáticas fueron expresadas en $\mu\text{Moles Pi/min} \times \text{mg}$ de proteína. Cada valor representa el promedio de 3 individuos \pm SD. Filas con igual superíndice no mostraron diferencias estadísticamente significativas a $P > 0,05$.

riodo de desarrollo gonadal que en el período de reposo gonadal [40]. De igual manera, la actividad de la Mg⁺²-Ca⁺²-ATPasa miofibrilar también disminuye significativamente ($P < 0,01$) [34]. Las diferencias observadas en las actividades ATPasa de las proteínas miofibrilares de coporo durante las diferentes etapas del ciclo reproductivo indican que la actomiosina en período de desarrollo gonadal y post-desove está parcialmente modificada, lo que puede afectar las características funcionales de las proteínas y la de sus productos derivados dependientes de estas propiedades [6, 30].

CONCLUSIONES

La composición química del músculo de coporo es característica de cada período del ciclo reproductivo. El contenido de grasa y proteínas disminuyó significativamente por efecto del desarrollo gonadal y desove; las variaciones en estos componentes fueron más acentuadas debido al desove.

Los cambios en el contenido energético sugieren que los lípidos del músculo son la primera fuente de energía que es utilizada por el pez para el desarrollo gonadal, y luego que estos se agotan, las proteínas constituyen la fuente principal de energía durante el período de migración y desove.

La MHC, la actina y el complejo tropomiosina-troponina de la actomiosina disminuyeron significativamente por efecto del desarrollo gonadal y desove, lo que indica que esta proteína se encuentra parcialmente modificada durante estos períodos del ciclo reproductivo.

La pérdida en la actividad de las enzimas ATPasa de las proteínas miofibrilares reflejó una disminución en las propiedades funcionales de las proteínas debido al desarrollo gonadal y desove.

RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones que permitan establecer si los cambios químicos y bioquímicos en el músculo del coporo durante los diferentes períodos del ciclo reproductivo están asociados a cambios sensoriales en sus productos derivados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AELLO, M.; DI MARCO, O. **Curso de Nutrición Animal**. Fac. Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata. 20-23 Septiembre. Argentina. 49 pp. 2000.
- [2] ANDO, S.; HATANO, M. Biochemical characteristics of chum salmon muscle during spawning migration. **Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.** 52(7): 1229-1235. 1986.
- [3] ANDO, S.; HATANO, M. Myofibrillar protein degradation in spawning-migrating chum salmon, as evaluated by extractive N¹-methylhistidine level. **Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.** 52(7): 1237-1241. 1986.
- [4] ANDO, S.; YAMAZAKI, F.; HATANO, M.; ZAMA, K. Deterioration of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) muscle during spawning migration- III. Changes in protein composition and protease activity of juvenile chum salmon muscle upon treatment with sex steroids. **Comp. Biochem. Physiol.** 83B: 325-329. 1986.
- [5] A.O.A.C. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists. 17th Ed. Mowists, W. (Ed)., Washington D.C.: 125, 132, 289, 858pp. 1997.
- [6] BEAS, V.; CRUPKIN, M.; TRUCCO, R. Gelling properties of actomyosin from pre- and post-spawning hake (*Merluccius hubbsi*). **J. Food Sci.** 53(5): 1322-1326. 1988.
- [7] BEAULIEU, M.; GUDERLEY, H. Changes in qualitative composition of white muscle with nutritional status of Atlantic cod, *Gadus morhua*. **Comp. Biochem. Physiol.** 121A(2): 135-141. 1998.
- [8] BROWN, W. Fish muscle as food. In: Bechtel P.J. (Ed). **Muscle as food**. Academic Press. Orlando, Fla.: 405-451 pp. 1986.
- [9] CRUPKIN, M. Cambios en las proteínas miofibrilares de merluza (*Merluccius hubbsi*) durante el almacenamiento en frío. Facultad de Bioquímica, Universidad Nacional de Tucuman, Argentina. (Tesis de Doctorado). 78 pp. 1981.

- [10] CRUPKIN, M.; BARASSI, C.; ARGUELLO, J.; TRUCCO, R. Effect of post-rigor fish storage on ice on physico-chemical properties of actomyosin. **J. Sci. Food Agric.** 33: 1129-1134. 1982.
- [11] CRUPKIN, M.; MONTECCHIA, C.; TRUCCO, R. Seasonal variations in gonadosomatic index, liversomatic index and myosin/actin ratio in actomyosin of mature hake. **Comp. Biochem. Physiol.** 89A(1): 7-10. 1988.
- [12] CRUPKIN, M.; BARASSI, C.; MARTONE, C.; TRUCCO, R. Effect of storing hake (*Merluccius hubbsi*) on ice on the viscosity of the extract of soluble muscle proteins. **J. Sci. Food Agric.** 30: 911-915. 1979.
- [13] CHEN, P.; TORIBARA, T.; WARNER, H. Microdetermination of phosphorus. **Anal. Chem.** 2B: 1758-1765. 1956.
- [14] CHUL-SHIN, W.; CHUL, J.; HONG, S.; HO, Y. Comparison of biochemical characteristics of myofibrillar protein from fresh water fish and sea water fish. **J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.** 28(2): 292-298. 1999.
- [15] FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad.. Editado por H.H. Huss Laboratorio Tecnológico, Ministerio de Pesca, Dinamarca. Documento técnico de pesca 348. 202 pp. 1998.
- [16] FERNÁNDEZ, A. Estudio de la composición química de la anchoveta (*Engraulis ringens*) procedente de Pisco durante el año 2001. Instituto de Tecnología Pesquero del Perú. <http://tarwi.lamolina.edu.pe/leojeri/composicion%20quimica.doc>. 1.989.
- [17] HAMRE, K.; LIE, O.; SANDNES, K. Seasonal development of nutrient composition, lipid oxidation and colour of fillets from Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus L.*). **Food Chemist**, 82(3): 441-446. 2003.
- [18] HATANO, M.; TAKAHASHI, K.; MATHISEN, O.; AMMA, G. Biochemical differences in sockeye salmon that are ocean feeding and on the spawning grounds. **J. Food Bioch.** 19(4): 269-284. 1996.
- [19] HERRING, H.; CASSENS, R.; FUKAZAWA, T.; BRISKEY, E. Studies on bovine natural actomyosin 2. Physico-chemical properties and tenderness of muscle. **J. Food Sci.** 34: 571-575. 1969.
- [20] INGÓLFSDÓTTIR, S.; STEFÁNSSON, G.; KRISTBERGSSON, K. Seasonal variations in physicochemical and textural properties of north atlantic cod (*Gadus morhua*) mince. **J. of Aquat. Food Product Technol.** 7(3): 39-61. 1998.
- [21] IZQUIERDO, P.; TORRES, G.; BARBOZA, Y.; MÁRQUEZ, S.; ALLARA, M. Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. **Archi. Latinoam. Nutr.** 50(2): 187-194. 2000.
- [22] JASRA, S.; JASRA, P.; TALESARA, C. Myofibrillar protein degradation of carp (*Labeo rohita* (Hamilton)) muscle after post-mortem unfrozen and frozen storage. **J. Sci. Food Agric.** 81: 519-524. 2001.
- [23] KAWAI, Y.; HIRAYAMA, H.; HATANO, M. Emulsifying ability and physicochemical properties of muscle proteins of fall chum salmon *Oncorhynchus keta* during spawning migration. **Nippon Suisan Gakkaishi**, 56(4): 625-632. 1990.
- [24] KONAGAYA, S. Enhanced protease activity in muscle of chum salmon *Oncorhynchus keta* during spawning migration. **Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.** 48(10): 1503-1507. 1982.
- [25] LADRAT, C.; VERREZ-BAGNIS, V.; NOEL, J.; FLEURENCE, J. In vitro proteolysis of myofibrillar and sarcoplasmic proteins of white muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*): effects of cathepsins B, D and L. **Food Chemis.** 81(4): 517-525. 2003.
- [26] LADRAT, C.; VERREZ-BAGNIS, V.; NOEL, J.; FLEURENCE, J. Relative contribution of calpain and cathepsins to protein degradation in muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*). **Food Chemis.** 88(3): 389-395. 2004.
- [27] LAEMMLI, U. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. **Nature**, 227: 680-685. 1970.
- [28] LOWRY, O.; ROSEBROUGH, N.; FARR, A.; RANDALL, R. Protein measurement with the folin phenol reagent. **J. Biol. Chem.** 193: 265-275. 1951.
- [29] MAIA, E.; OLIVEIRA, C.; SANTIAGO, A.; CUNHA, F.; HOLANDA, F.; SOUSA, J. Chemical composition and lipids classes of the freshwater fish "curimata comum", *Prochilodus cearensis*. **Cien. Tecnol. Alim.** 19(3): 433-437. 1999.
- [30] MONTECCHIA, C.; CRUPKIN, M.; TRUCCO, R. Seasonal variations in biochemical and physicochemical properties of actomyosin and energy content of the liver, gonads and muscle of mature Argentine hake, *Merluccius hubbsi* Marini. **J. of Fish Biol.** 37: 837-843. 1990.
- [31] MONTECCHIA, C.; ROURA, S.; ROLDÁN, H.; PÉREZ-BORLA, O.; CRUPKIN, M. Biochemical and physicochemical properties of actomyosin from frozen pre- and post-spawned hake. **J. Food Sci.** 62(3): 491-495. 1997.
- [32] OGATA, H.; ARANISHI, F.; HARA, K.; OSATOMI, K. Proteolytic degradation of myofibrillar components by carp cathepsin L. **J. Sci. Food Agric.** 76: 499-504. 1998.

- [33] OSAKO, K.; KUWAHARA, K.; NOZAKI, Y. Seasonal variations in gel-forming ability of rabbit fish. **Fish. Sci.** 69: 1281-1289. 2003.
- [34] PAGANO, M.; PAREDI, M.; CRUPKIN, M. Influence of gonadal stage of hake (*Merluccius hubbsi*) on biochemical properties of myofibrils stored at 2 to 4°C. **J. Food Sci.** 66(2): 252-256. 2001.
- [35] PAREDI, M.; CRUPKIN, M. Biochemical properties of actomyosin from frozen stored mantles of squid *Illex argentinus* at different sexual maturation stages. **J. Agric. Food Chem.** 45(5): 1629-1632. 1997.
- [36] PÉREZ-BORLA, O.; ROURA, S.; MONTECCHIA, C.; ROLDÁN, H.; CRUPKIN, M. Proteolytic activity of muscle in pre- and post-spawning hake (*Merluccius hubbsi Marini*) after frozen storage. **Lebensm.-Wiss. Technol.** 35(4): 325-330. 2002.
- [37] REID, R.; DURANCE, T.; WALKER, D.; REID, P. Structural and chemical changes in the muscle of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during spawning migration. **Food Res. Inter.** 26: 1-9. 1993.
- [38] ROURA, S.I. Propiedades bioquímicas y funcionales de las proteínas miofibrilares de la merluza (*Merluccius hubbsi*) de pre- y post-desove. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar de Plata, Argentina. (Tesis de Doctorado). 133 pp. 1992.
- [39] ROURA, S.; GOLDEMBERG, A.; TRUCCO, R.; CRUPKIN, M. Biochemical and physicochemical properties of actomyosin from pre and post-spawned hake (*M. hubbsi*) stored on ice. **J. Food Sci.** 55(3): 688-692. 1990.
- [40] ROURA, S.; CRUPKIN, M. Biochemical and functional properties of myofibrils from pre and post-spawned hake (*M. hubbsi* Marini) stored on ice. **J. Food Sci.** 60 (2): 269-272. 1995.
- [41] SEKI, N.; NARITA, N. Changes in ATPase and other properties of carp myofibrillar proteins during ice-storage. **Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.** 46 (2): 207-213. 1980.
- [42] SHIMIZU, Y.; NANDANIE-WENDAKOON, CH. Effects of maturation and spawning on the gel-forming ability of lizardfish (*Saurida elongata*) muscle tissues. **J. Sci. Food Agric.** 52: 331-338. 1990.
- [43] STATGRAPHICS Plus 5,1. Microsoft Corp. Copyright® 1994-2001.
- [44] TOUHATA, K.; TOYOHARA, H.; TANAKA, M.; TOKUDA, Y.; SAKAGUCHI, M.; TANAKA, H. Seasonal changes in muscle firmness and proximate composition of red seabream. **Fish. Sci.** 64(4): 513-516. 1998.
- [45] TSUCHIYA, T.; TSUCHIYA, Y.; NONOMURA, Y.; MATSUMOTO, J. Prevention of freeze denaturation of carp actomyosin by sodium glutamate. **J. Biochem.** 77: 853-856. 1975.
- [46] YAMASHITA, M.; KONAGAYA, S. Participation of cathepsin L into extensive softening of the muscle of chum salmon caught during spawning migration. **Nippon Suisan Gakkaishi**, 56(8): 1271-1277. 1990.