

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE FILETES SAJADOS DE HÍBRIDO DE CACHAMA *Piaractus braquypomus* x *Colossoma macropomum* UTILIZANDO BACTERIOCINAS PRODUCIDAS POR *Lactobacillus plantarum* LPBM10 EMPACADO AL VACÍO**

**STRUCTURAL ANALYSES OF CUT CACHAMA HYBRID FILLETS *Piaractus branchyomus* x *Colossoma macropomum* USING BACTERIOCINS PRODUCED BY *Lactobacillus plantarum* LPBM10 VACUUM PACKED**

Héctor Suárez M,<sup>\*1</sup> Ph.D, Sandra Pardo C,<sup>2</sup> Ph.D, Misael Cortes R.<sup>1</sup> Ph.D.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Medellín, Colombia. <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Producción Animal, Medellín, Colombia. \*Correspondencia: [hsuarezm@unal.edu.co](mailto:hsuarezm@unal.edu.co)

Recibido: Marzo 10 de 2008; Aceptado: Julio 30 de 2008

## RESUMEN

**Objetivo.** Determinar los cambios microestructurales, texturales y sensoriales de filetes sajados de híbrido de cachama. **Materiales y métodos.** Filetes empacados al vacío y sometidos a refrigeración durante 30 días a 3°C fueron analizados bajo tres tratamientos de preservación; extracto crudo de bacteriocinas, ácido láctico y control por medio de microscopía de luz. **Resultados.** El espacio entre las fibras musculares fue aumentando gradualmente y el arreglo arquitectónico fue alterado a lo largo del periodo de almacenamiento en los tres tratamientos. La menor alteración en la degradación del tejido conectivo y el menor incremento del espacio entre las fibras musculares fue observado en el tratamiento con extracto crudo de bacteriocinas. El análisis instrumental de textura mostró pérdida de firmeza de los filetes sin diferencia estadística entre los tratamientos. El análisis sensorial demostró que el tratamiento de sajado es efectivo para disminuir el efecto negativo de las espinas intramusculares. Los mejores puntajes fueron asignados para los filetes sajados tratados con extracto crudo de bacteriocinas. **Conclusiones.** Los filetes fueron afectados durante el periodo de almacenamiento, incidiendo en la textura de la carne. El efecto del sajado es un procedimiento que permite utilizar filetes sin percibir el problema de las espinas intramusculares. La utilización del extracto crudo de bacteriocinas prolongó la vida útil de los filetes.

**Palabras clave:** Pescado, tejido conectivo, sajado, microestructura, músculo.

## ABSTRACT

**Objective.** To determine microstructure, texture and sensory changes in cut cachama hybrid fillets. **Materials and methods.** Hybrid fillets that were vacuum packed for 30 days at 3°C were analyzed after preservative treatments by crude bacteriocins extract, lactic acid, and control by light microscopy. **Results.** Space among the muscle fibers increased gradually and the architectural arrangement was altered in all treatments throughout the entire storage period. The lowest alteration in connective tissue degradation and lowest increment in spaces between the muscular fibers was observed with the crude bacteriocin extract treatment. The instrumental textural analysis showed no statistical difference in the stability loss of tissues from fillets among treatments. Sensory analysis indicated that the lancing treatment was effective in diminishing the negative effect of intramuscular bones. The best scores were for cutting fillets with the bacteriocin treatment. **Conclusions.** The meat texture of fillets was affected during the storage period. Lancing is a procedure that enables the use of fillets without encountering the intramuscular bone problem. The use of crude bacteriocins extract prolongs the shelf-life of fillets.

**Key words:** Fish, connective tissue, gaping, microstructure, muscle.

## INTRODUCCIÓN

Las cachamas blanca y negra son especies nativas de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, consideradas como especies de alto potencial productivo y comercial en la piscicultura extensiva, semi intensiva e intensiva de aguas cálidas continentales de América tropical. Además son especies resistentes al manejo en cautiverio, presentando alta docilidad, rusticidad y resistencia a enfermedades (1). A pesar de la importancia económica de estas especies, son pocos los estudios realizados sobre la pérdida de textura por efecto del almacenamiento bajo refrigeración y las alternativas tecnológicas que mitiguen el efecto de las espinas intramusculares para los consumidores.

En cuanto a los factores de calidad en la carne de pescado son considerados la textura, color, gusto y sabor, en este sentido, la estructura muscular puede afectar algunos de estos parámetros de calidad por efecto del almacenamiento.

La textura es una característica sensorial para el consumidor y un importante atributo para el procesamiento mecánico de los filetes. La textura muy blanda es frecuentemente reportada y la industria exige métodos que preserven la textura de los

filetes y respuestas a la causa del ablandamiento de los filetes.

Las propiedades texturales dependen de la composición química y de las propiedades estructurales, en particular de las miofibrillas y proteínas del tejido conectivo. El tejido conectivo forma una red que proporciona soporte corporal a través de la musculatura de los peces. Además, el contenido del tejido conectivo es bajo y mejor distribuido en el músculo de peces, comparado con animales de sangre caliente, y a través de este se incrementa la firmeza a lo largo del eje antero-posterior del filete (2).

También es necesario considerar que los efectos sobre la textura, pueden considerarse como una manifestación de las propiedades funcionales y reológicas, donde la carne de pescado difiere de la carne de bovino porque contiene menos tejido conectivo y los enlaces cruzados formados entre las moléculas de colágeno son más débiles, resultando en una estructura más blanda (3).

La carne de pescado está organizada en segmentos concéntricos musculares (miótomos) rodeados por tejido conectivo intramuscular (TCIM). Los mayores

constituyentes identificados en el TCIM incluyen colágeno y fibras elásticas, células (fibroblastos, adipositos, macrófagos), glicoproteínas y proteoglicanos. Los miótomos están separados por el miocomata, donde grupos de fibras de colágeno corren paralelamente en forma adyacente colocados en ángulo que forma capas entrelazadas que proporcionan una fuerza mecánica considerable (4). Una capa de tejido conectivo delgado (endomisio) rodea cada célula muscular (miofibra) y a menudo el endomisio conecta con el perimisio, el cual es contiguo con el miocomata.

El colágeno es el componente fibrilar del tejido conectivo, las clases de colágeno están designadas por tipo y un numeral romano. Los colágenos tipo I y tipo V están presentes en el TCIM de los peces, siendo el colágeno I el mayor constituyente del miocomata (5).

La contribución del contenido de colágeno a las propiedades de textura en la carne de pescado ha sido estudiada por varios autores (6). En este sentido la carne de algunas especies de peces pierde textura después de algunos días de almacenamiento bajo refrigeración y estudios histológicos muestran que el rápido ablandamiento de la carne de los peces es causado por la degradación de las fibras delgadas de colágeno (7, 8).

Sato (9) demostró en músculo de trucha arco iris que la solubilidad del colágeno tipo V disminuyó durante el almacenamiento en hielo, mientras el tipo I permanecía sin cambios, lo cual puede sugerir que el tipo V está envuelto en el rápido ablandamiento de la carne de pescado. Los cambios estructurales que muestran pérdida de firmeza en la carne de pescado han sido relacionados al debilitamiento del tejido conectivo pericelular, debido a la fragmentación o desorden arquitectónico de la fibra de colágeno en la red estructural, pero sin observar cambios estructurales en el miocomata (10). La degradación *post mortem* del tejido conectivo pericelular también ha sido reportado por Suárez (11) en matrinxã (*Brycon cephalus*) cuando fue sometido a

súper refrigeración durante 12 horas de almacenamiento a  $-3^{\circ}\text{C}$  mostrando, a través de microscopia electrónica de transmisión, que la pérdida de textura en la carne de pescado es uno de los principales factores de calidad afectado por la refrigeración.

Sobre la base de estos resultados, es aceptado que los cambios en los tipos específicos de colágeno juega un significativo rol en el debilitamiento pericelular del tejido conectivo, resultando en el ablandamiento de la carne de pescado durante el almacenamiento (13).

Ando (12) y Sato (14) han demostrado a través de microscopia de luz y técnicas de compresión que simulan la pérdida de textura de la carne de pescado, que la pérdida de textura, es causada por el debilitamiento del tejido conectivo pericelular. Las alteraciones intramusculares en especies nativas bajo un sistema de biopreservación aun no han sido estudiadas, por lo tanto el propósito de este trabajo fue evaluar los cambios estructurales y sensoriales de filetes sajados de híbrido de cachama a lo largo del periodo de almacenamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Muestras y tratamientos.** Los peces híbridos de cachamas *Piaractus brachypomus* x *Colossoma macropomum* fueron obtenidos del Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba - CINPIC, Montería, Colombia. Los peces capturados del estanque, fueron inmediatamente sacrificados por medio de punción en el cerebro y transportados al laboratorio. El peso medio y la longitud media de los peces fue de  $590 \pm 87$  g y  $32 \pm 1.7$  cm respectivamente. Los filetes con piel fueron obtenidos manualmente usando un cuchillo aséptico. El peso medio de los filetes fue  $92 \pm 32$  g. En cada filete en presentación lateral interna fueron realizados cortes profundos, paralelos y perpendiculares a la espina dorsal, a una distancia de 3 mm entre cada corte, en sentido antero-caudal. La piel fue conservada intacta para proporcionar estabilidad al filete (Figura 1).



**Figura 1.** Cortes paralelos y perpendiculares a la espina dorsal en filetes de híbrido de cachama *Piaractus brachypomus* x *Colossoma macropomum* para el control de espinas intramusculares.

El extracto concentrado de bacteriocinas producida por *Lactobacillus plantarum* LPBM10 fue suministrado por el laboratorio de Microbiología Industrial del grupo de investigación en Biotecnología Microbiana de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, este extracto, conteniendo 40mg de proteína bacteriocinas, fue adicionado a la superficie de cada filete en cantidad de 1 mL utilizando una micropipeta.

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Extracto concentrado de bacteriocina: 1mL conteniendo 40mg de extracto concentrado de bacteriocina producidas por *L. plantarum* LPBM10.

T2: Ácido láctico: 1mL de ácido láctico ajustado a pH 6.32, estimado previamente durante el empaque al vacío del filete.

T3: Control: 1mL de agua destilada.

Cada filete sajado fue empacado al vacío en bolsas de polietileno de baja densidad con barrera de transmisión de oxígeno de 29-45 ml/O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/ 24h/atm medido a 23° C y barrera de permeabilidad a gases de 10-15 g /m<sup>2</sup> / 24h /medido a 38° C marca CRYOVAC, utilizando una empacadora de vacío WEBOMATIC 82246 (West Germany), y almacenado bajo refrigeración (3 ± 0.5° C) por un periodo de 30 días. Los análisis fueron realizados a los 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días de almacenamiento. Los filetes por triplicado fueron sometidos a análisis con microscopio de luz y sensorial mediante panel de evaluadores y análisis instrumental.

**Observaciones histológicas.** Las observaciones histológicas fueron realizadas con microscopio de luz. Las muestras fueron fijadas en solución de Bouin y embebidas en parafina. Cortes de 5µm fueron realizados usando un Micrótopo (PR-50, Yamato Kohki, Urawa, Japan) a secciones de músculo embebido en bloque de parafina. Los cortes fueron montados en láminas portaobjetos y teñidos durante 5 min con naranja G (0.5 g de naranja G, 1 mL ácido acético disuelto en 99 mL de agua destilada y filtrada). Las secciones fueron lavadas con agua destilada y teñidas durante 5 min con azul de metileno (0.07g de azul de metileno, 1 mL ácido acético disuelto en 99 mL de agua destilada y filtrada). Las muestra coloreadas fueron lavadas durante 5 min con agua buferada destilada (12).

Se tomaron fotografías de las fibras musculares con la ayuda de un microscopio (Carl Zeiss, Axioestar, Germany) con cámara fotográfica digital incorporada (Canon Power Shot G5, Japan), se realizaron mediciones con la ayuda de un analizador de imagen (Carl Zeiss AxioVisión 4, Germany) y se caracterizaron teniendo en cuenta el área entre las fibras musculares.

**Análisis instrumental.** La firmeza de la carne fue determinada a nivel del músculo dorsal, siguiendo la metodología descrita por

Ando (6). Un émbolo cilíndrico de 3mm de diámetro fue forzado a entrar en la muestra de músculo de 10mm de espesor, paralelo a la orientación de las fibras musculares, a una velocidad de 60mm/min, registrando la máxima fuerza de penetración. Los resultados fueron expresados como fuerza a la ruptura, con un promedio de 10 a 15 mediciones por muestra. El texturómetro empleado fue el Texture Analyser TAXT2, (Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, UK). Las mediciones fueron realizadas a lo largo del periodo de almacenamiento.

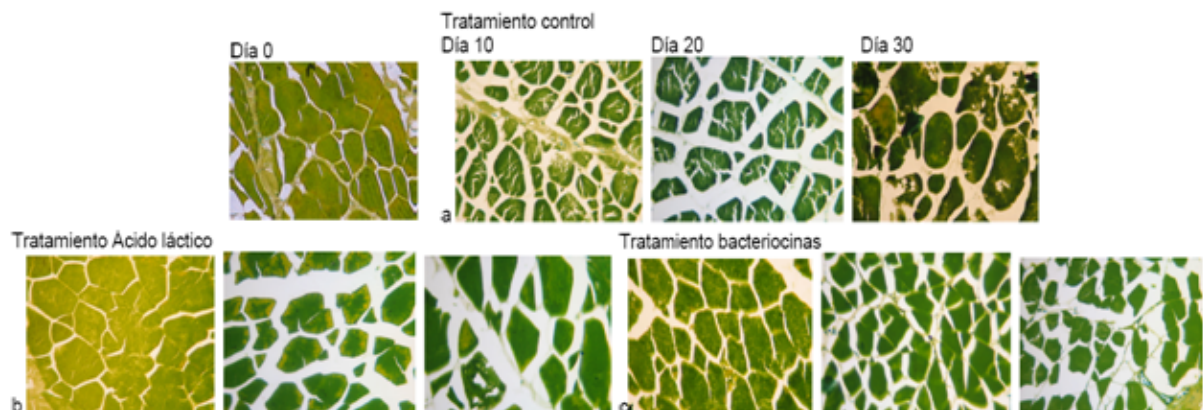
**Análisis sensorial.** El análisis sensorial fue realizado por el método tradicional de juzgar la calidad de filetes de pescado en muestras de 90g por cinco panelistas entrenados. En filetes frescos fueron evaluados los atributos sensoriales apariencia, color y aroma. En filetes cocinados fue evaluado el atributo sabor, donde la muestra fue cocinada individualmente en un micro ondas a máxima potencia durante 3 minutos. El puntaje fue basado sobre una escala hedónica de nueve puntos así: Gusté extremadamente 9, Gusté mucho 8, Gusté moderadamente 7, Gusté ligeramente 6, Me es indiferente (ni me gustó ni me disgustó) 5, Disgusté ligeramente 4, Disgusté moderadamente 3, Disgusté mucho 2, Disgusté extremadamente 1, descrita por Amerine et al (16). El valor sensorial de 4 fue tomado como el rango mínimo de aceptabilidad.

### Diseño experimental y análisis de datos.

Para el estudio del efecto de tres tratamientos de conservación: ácido láctico, bacteriocinas, control y el tiempo de almacenamiento sobre atributos de calidad de los filetes de híbrido de cachama, se realizó un diseño factorial con dos factores (tiempo y conservación). Fueron empleados tres niveles de conservación y siete niveles de tiempo de almacenamiento (0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días). Fueron utilizadas tres réplicas para cada experimento para un total de 63 muestras. Fue utilizado ANOVA sobre los resultados para evaluar el efecto de conservación (A), tiempo (B) y la interacción entre efecto (A x B) sobre los atributos de calidad. La diferencia entre la media de los valores de los diferentes tratamientos y el periodo de almacenamiento fue determinado por el test de mínima diferencia significativa (LSD), y la significancia estadística fue definida como ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS

El efecto de los tratamientos de conservación: ácido láctico, bacteriocinas y control durante el período de almacenamiento a 3°C sobre la microestructura de filetes sajados de cachama es mostrado en los cortes transversales de las fibras musculares en la Figura 2.

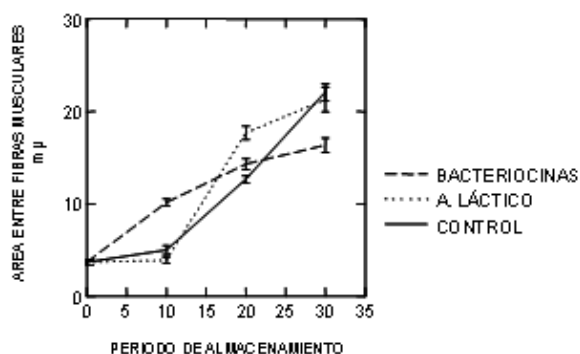


**Figura 2.** Microscopía óptica de cortes transversales de músculo de filetes de híbrido de cachama *Piaractus brachipomus* x *Colossoma macropomum* durante el almacenamiento a 3°C. a. Tratamiento control, b. Tratamiento ácido láctico, c. tratamiento con bacteriocinas tratamiento. Tinción con Naranja G y Azul de metileno.

Las fibras de los filetes sometidos a los tres tratamientos durante el periodo de almacenamiento, comparados con los filetes frescos, mostraron un mayor espacio entre fibras y el tejido apareció fraccionado con pérdida del arreglo arquitectónico inicial.

A lo largo del periodo de almacenamiento se observó un mayor efecto sobre el tratamiento control, seguido del tratamiento con ácido láctico, donde las áreas entre fibras presentaron un mayor distanciamiento con pérdida del tejido conectivo. El tratamiento con bacteriocinas mostro menor pérdida arquitectónica y el área de separación presentó diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ ) frente a los otros tratamientos (Figura 3).

La relación del área entre fibras y la fibra muscular fue aumentando para los tres tratamientos a medida que avanzó el periodo de almacenamiento. Sin embargo, el área entre las fibras musculares de los filetes tratados con el extracto crudo de bacteriocinas fue menor y en consecuencia



**Figura 3.** Alteración del área entre fibras musculares de filetes sajados de híbrido de cachama durante el almacenamiento a 3°C.

menor la degradación del tejido conectivo (Figura 2 a, b, c).

Algunos autores consideran que la carne de peces de cultivo tiende a ser blanda y perder textura en comparación con peces de vida libre (17). Los filetes de híbrido de cachama sajados usados en este estudio muestran una significativa pérdida de textura a lo largo del periodo de almacenamiento, cuando fueron sometidos a la prueba instrumental de fuerza de ruptura (Tabla 1). Sin embargo, no se presentó diferencia estadística entre tratamientos (datos no mostrados).

Los resultados del análisis sensorial de filetes sajados de híbrido de cachama son mostrados en la tabla 2. Con el incremento del periodo de almacenamiento, disminuyó la vida útil de los filetes de cachama. Los atributos sensoriales evaluados por los panelistas durante el periodo analizado para los filetes frescos fueron: apariencia, color y aroma y para los filetes cocinados fue sabor. Los menores puntajes fueron obtenidos para los atributos de apariencia y color al final del periodo de almacenamiento, siendo superiores al límite de aceptabilidad estimado en 4. No obstante, el tratamiento con extracto crudo de bacteriocinas consiguió el mejor puntaje al final del periodo de almacenamiento ( $p < 0.05$ ). Para el atributo aroma, el tratamiento con ácido láctico y control estuvieron por fuera del rango de aceptabilidad, sin embargo el tratamiento con extracto crudo de bacteriocinas registró un alto grado de aceptabilidad por parte de los panelistas ( $p < 0.05$ ) al final del periodo de almacenamiento. Para los atributos de apariencia y color el puntaje obtenido fue superior al límite establecido para el final del periodo. Fue superior el tratamiento con extracto crudo de bacteriocinas ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 1.** Valores de textura medidos como fuerza a la ruptura ( $p < 0.0001$ ) para filetes sajados de híbrido de cachama *Piaractus brachyomus x Colossoma macropomum* durante el almacenamiento a 3°C.

Fuerza de Ruptura (g)	Día 0	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	Día 30
Promedio	106.4	93.6	80.4	72.6	63.4	69.2	67.2
Desviación estándar	16.5 <sup>a</sup>	28.7 <sup>ab</sup>	30.1 <sup>ab</sup>	23.6 <sup>b</sup>	20.4 <sup>b</sup>	14.5 <sup>b</sup>	15.6 <sup>b</sup>

Letras diferentes significa diferencia estadística entre columnas.

**Tabla 2.** Atributos sensoriales para filetes sajados de híbrido de cachama empacados al vacío y almacenados a  $3 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  durante 30 días.

		TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (Días)						
ATRIBUTO	TRATAMIENTO	0	5	10	15	20	25	30
Apariencia	Control	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	6.8±0.8 <sup>c</sup>	6.0±0.7 <sup>d</sup>	4.6±1.1 <sup>e</sup>	4.4±0.5 <sup>f</sup>
	Bacteriocina	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.6±0.5 <sup>a</sup>	7.8±0.4 <sup>b</sup>	7.4±0.5 <sup>b</sup>	7.2±0.8 <sup>b</sup>	5.2±0.8 <sup>c</sup>
	A. láctico	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	6.0±1 <sup>c</sup>	5.2±0.4 <sup>d</sup>	4.6±0.5 <sup>e</sup>
Color	Control	8.6±0.5 <sup>a</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	6.2±0.8 <sup>c</sup>	6.4±0.5 <sup>cd</sup>	4.4±0.5 <sup>e</sup>	4.6±0.5 <sup>e</sup>
	Bacteriocina	9.0±0.0 <sup>a</sup>	8.6±0.5 <sup>a</sup>	8.2±0.4 <sup>b</sup>	7.8±0.4 <sup>b</sup>	7.4±0.5 <sup>bc</sup>	7.2±0.4 <sup>c</sup>	5.8±0.4 <sup>d</sup>
	A. láctico	8.4±0.5 <sup>a</sup>	8.6±0.5 <sup>a</sup>	8±0.7 <sup>ab</sup>	7.2±0.8 <sup>b</sup>	6.2±0.8 <sup>c</sup>	5.6±0.5 <sup>d</sup>	4.4±0.5 <sup>d</sup>
Aroma	Control	9.0±0.0 <sup>a</sup>	8.6±0.5 <sup>a</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	5±0.7 <sup>c</sup>	4.4±0.5 <sup>d</sup>	4.2±0.8 <sup>d</sup>	2.2±0.4 <sup>e</sup>
	Bacteriocina	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	7.6±0.5 <sup>b</sup>	5.4±0.5 <sup>c</sup>	6.6±0.5 <sup>d</sup>	5.2±0.4 <sup>c</sup>
	A. láctico	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	7.8±0.4 <sup>b</sup>	5.6±0.5 <sup>c</sup>	4.8±0.8 <sup>d</sup>	3.2±0.8 <sup>e</sup>	2.8±0.4 <sup>e</sup>
Sabor	Control	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.6±0.5 <sup>a</sup>	7.4±0.5 <sup>b</sup>	6.2±0.4 <sup>c</sup>	5.2±0.8 <sup>d</sup>	4.6±0.5 <sup>e</sup>	2.6±1.1 <sup>f</sup>
	Bacteriocina	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.6±0.5 <sup>a</sup>	7.8±0.4 <sup>b</sup>	7.4±0.5 <sup>b</sup>	5.8±0.4 <sup>c</sup>	6.4±0.5 <sup>c</sup>	4.4±0.5 <sup>d</sup>
	A. láctico	8.8±0.4 <sup>a</sup>	8.4±0.5 <sup>a</sup>	7.4±0.5 <sup>c</sup>	6.2±0.4 <sup>d</sup>	5.4±0.5 <sup>e</sup>	4.2±0.4 <sup>f</sup>	3.2±0.8 <sup>f</sup>

a-f Valores en la misma línea seguidos de letras diferentes tienen diferencia estadística ( $p < 0.05$ )

## DISCUSIÓN

La distribución de la fibra muscular ha sido relacionada por varios autores por afectar la textura en la carne de pescado. La comparación entre los cortes histológicos a lo largo del periodo de almacenamiento, muestra incremento del área entre las fibras musculares mientras disminuye la firmeza en la prueba instrumental. Similares resultados también fueron reportados para carne cocinada de pescado (18, 19). Diversos estudios muestran una disminución en la firmeza de la carne al incrementar el tamaño aparente de las fibras o la disminución óptica de la fibra (20-22). De otra parte, algunos estudios realizados en salmón del atlántico y bacalao no concuerdan con estas observaciones, posiblemente esta discrepancia podría estar relacionada al hecho que la textura varía como un factor sobre la localización rostro-caudal del filete (23).

La fibra muscular sólo podría explicar parcialmente la variación de la resistencia mecánica en la carne de pescado (22). La estructura muscular es más compleja que una estructura física basada sobre la fibra

muscular, de forma que otros factores podrían explicar las características de la textura de la carne. Un incremento en el colágeno soluble con incremento en la firmeza de la textura podría estar indicando que el tejido conectivo también contribuye con la firmeza de la carne de pescado (24).

Masniyom et al (25), estudiando los cambios del colágeno en músculo refrigerado de *Sea bass* (*Dicentrarchus labrax*) tratado con pirofosfato y almacenado en empaque de atmósferas modificadas, encontraron que el  $\text{CO}_2$  a una concentración de 80%, en combinación con el tratamiento de pirofosfato, inhibió la degradación del colágeno causado por enzimas endógenas así como de otros microorganismos. Esta combinación induce a mantener la firmeza con menos separación del músculo del *sea bass* durante el periodo de almacenamiento. El empaque al vacío utilizado en el presente trabajo representaría una atmósfera final de 20-30% de  $\text{CO}_2$ , el cual según Stiles y Hastings (26), correspondería al  $\text{CO}_2$  generado por efecto de la respiración metabólica del filete, producto de la

respiración anaeróbica al ser consumido el oxígeno residual inicial del empaque al vacío. Bajo estas circunstancias no sería suficiente la producción de CO<sub>2</sub> para disminuir la degradación del tejido conectivo en el presente trabajo.

Los resultados del presente estudio concuerdan con el postulado de Sato et al (14), el cual sugiere que las fibras de colágeno del tejido conectivo pericelular contienen una mayor porción de colágeno tipo V que las fibras del miocomata. Además la solubilización del colágeno V durante el periodo de almacenamiento refrigerado puede ser debido a la degradación de las fibras delgadas del colágeno, debilitando el tejido conectivo pericelular resultando en el ablandamiento del músculo.

La apariencia del color de la carne de pescado es una propiedad muy importante en la industria de alimentos. En salmónidos, el color rojo de la carne es de particular importancia y para peces de carne blanca este color debe estar suavemente manifiesto. Es aceptado que percibir cambios en el color de la carne puede ser causado por una reflexión alterada, debido a cambios en las propiedades de la superficie por alteración de las fibras. Resultados de diferentes estudios difieren y no es posible verificar esta hipótesis. Johnston et al (20) reportan una posible relación entre la puntuación de color y la densidad de la fibra muscular en salmón del atlántico, mientras que ninguna relación fue encontrada para otros peces (27,31). Los resultados del presente estudio mostraron que para este atributo las puntuaciones fueron aceptables para los tratamientos control y ácido láctico, mientras que para bacteriocinas la calificación fue superior al final del periodo de almacenamiento ( $p < 0.05$ ).

En los filetes cocinados, el atributo sabor fue rechazado por el panel sensorial al finalizar el periodo de almacenamiento para los tratamientos ácido láctico y control. Los jueces no detectaron la presencia de espinas intramusculares durante la valoración. Los cortes paralelos a lo largo del filete permiten cortar la espina intermuscular en varias secciones y facilitar posteriormente, la

degradación del colágeno constituyente de la espina intramuscular por acción de la temperatura. Estos resultados podrían validar el método del sajado, para ser utilizada como alternativa tecnológica al problema de las espinas intramusculares en filetes de especies nativas. Según Mesa y Botero (28), aunque la cachama ha demostrado su potencial productivo, esta posee alto número de espinas intramusculares (EIMT), que se distribuyen como una malla en su musculatura y dificultan el fileteado de la canal a pesos bajos (300 – 500 g). Se ha planteado como solución cosecharla por encima de los 1000 g o más, pero esta condición hace que presente sabor a aceite de bacalao por su proporción de grasa, lo que limita su mercado; además, producir las a este peso representa un mayor costo en la producción y pérdidas en la eficiencia alimenticia.

De otra parte, según Ayala et al (29) en *Sea bass*, (*Dicentrarchus labrax*) el cocinado de la carne descongelada causó masiva coagulación de la proteína y desintegración de miofibrillas, cuando fue observada en microscopia electrónica de transmisión. El evento más significativo fue la presencia de cavidades (huecos) entre las fibras musculares, las cuales fueron ocupadas por líquido, material amorfo y agregado granular. Se determinó correlación entre los cambios estructurales, textura y características organolépticas, donde la pérdida de textura fue determinada y relacionada con la degradación del colágeno.

El colágeno es un grupo de moléculas similares, sin embargo sus componentes aún no han sido completamente identificados (6, 18). En algunos casos, las cadenas de péptidos que constituyen el colágeno están unidas mediante enlaces covalentes cruzados. En los mamíferos, con el pasar de los años, los enlaces cruzados de colágeno cambian de una forma reducible a otra no reducible más estable. La naturaleza de este enlace cruzado no reducible es desconocida, aunque existen diversas hipótesis. Ese aumento de enlaces cruzados de colágeno que aumenta con la edad, puede explicar parcialmente por qué la carne de animales viejos (mamíferos) es más dura que la carne



de animales jóvenes, aunque los músculos de los animales jóvenes generalmente contienen más colágeno. En peces esta situación es muy diferente. El colágeno de los miocomata de los peces más viejos es más débil y tiene menos enlaces cruzados que aquel de peces jóvenes. Por otro lado, peces más viejos tienen más colágeno (presencia de miocomata más espeso) que peces más jóvenes (30).

A medida que los enlaces cruzados de colágeno se van formando, la solubilidad, en diversos solventes, como soluciones salinas y ácidas, va disminuyendo, mientras la cantidad de colágeno insoluble aumenta en los mamíferos, con el pasar de la edad. En peces, como por ejemplo el bacalao, permanece casi inalterado. En tanto el colágeno soluble, aumenta claramente en peces (31). La solubilidad del colágeno disminuye a medida que aumentan los enlaces cruzados intermoleculares. El colágeno presente en el músculo de los peces está formado por los tipos I y V, y además, contiene fibras heterotípicas (32). Estudios realizados a partir de fracciones obtenidas de colágeno crudo de varias partes del cuerpo; músculo, hígado, piel, espinas, branquias y tracto digestivo en *tiger puffer* (*Takifugu rubripes*), por determinación bioquímica e inmunoquímica, encontraron colágeno tipo I y V que muestran patrones muy similares (6). Los resultados sugieren que estos dos tipos de colágeno están principalmente distribuidos en los diferentes tejidos analizados.

De otra parte el color opaco, la opacidad, la decoloración de la piel y la presencia de "off

odour" fueron las principales causas atribuidas a los puntajes obtenidos en los tratamientos, al final del periodo de almacenamiento. Según los resultados de la prueba sensorial, podría considerarse a las enzimas proteolíticas como responsables de tener un impacto sobre la pérdida de calidad de los filetes de pescado, pero no siempre son responsables por los característicos "off flavor" y "off odour" que son típicos de la actividad microbiana (33). Sin embargo, los resultados del presente estudio no concuerdan con los reportados por Brillet et al (34) cuando utilizaron extracto crudo de bacteriocinas producidas por *C. divergens* V41 en salmón ahumado mantenido bajo refrigeración, donde fuertes "off flavor" y "off odour" fueron detectados por el panel sensorial. En los filetes frescos utilizados en el presente trabajo, solamente se presentó rechazo sensorial para el atributo aroma para el tratamiento con ácido láctico, a partir del día 25 de almacenamiento. Es importante observar que los efectos preservativos no influyeron negativamente sobre las características sensoriales.

### Agradecimientos

A la profesora Olga Inés Montoya, directora del grupo de investigación en Biotecnología Microbiana de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, por el aporte de la cepa de *Lactobacillus plantarum* LPMB10 y al profesor Víctor Julio Atencio García, director del Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba- CINPIC, por el aporte de los peces requeridos para el presente estudio.

## REFERENCIAS

1. Hernández A. Estado actual del cultivo de *Colossoma e Piaractus* en Brasil, Colombia, Panamá, Perú y Venezuela. En: Memorias del VIII congreso Latinoamericano de Acuicultura y V Seminario Nacional de Acuicultura, Acuicultura y Desarrollo Sostenible. Santafé de Bogotá. 1994; 9-23.
2. Kiessling A, Ruohonen K, Bjørnevik M. Muscle fibre growth and quality in fish Arch Tierz 2006; 49: 137-146.
3. Ashie N, Smith P, Simpson K. Spoilage and shelf life extension of fresh fish and shell fish. Food Sci Technol Res 1996; 36: 87-121.

4. Bremner A. Gaping in fish flesh. In Sato K, Sakaguchi M, Bremner A. (eds). Extracellular matrix of fish and shellfish. Trivandrum, India: Research Signpost; 1999.
5. Sato K, Yoshinaka R, Itoh Y, Sato M. Molecular species of collagen in the intramuscular connective tissue in fish. *Comp Biochem Physiol* 1989; 92(b): 87-91.
6. Ando M, Nishiyabu A, Tsukamasa Y, Makinodan Y. Postmortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. *J Food Sci* 1999; 64(3): 423-428.
7. Ando M. Softening Mechanism of Fish Meat. *Suisangaku Series*. Tokyo, Japan: Kouseisha Kouseikaku; 1997.
8. Suarez H, de Francisco A, Beirão H, Pardo S, Cortés M. Pérdida de textura post mortem de la carne de pescado durante el almacenamiento en frío. *Acta Biol Colomb* 2007; 12(1): 3-8.
9. Sato K, Ohashi C, Ohtsuki K, Kawabata M. Type V collagen in trout (*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle. *J Agric Food Chem* 1991; 39:1221-1225.
10. Ando M, Toyohara H, Sakaguchi M. Post-mortem tenderization of rainbow trout muscle caused by the disintegration of collagen fibres in the pericellular connective tissue. *Nipp Suis Gakkaishi* 1992; 58 (3): 567-570.
11. Suárez H, Pardo S, Beirão H, de Francisco A, Okada L. Efecto de la súper refrigeración sobre la textura de la carne de matrinxã (*Brycon cephalus*). *Rev Colomb Cienc Pecu* 2006; 19(2). 221-227.
12. Ando M, Toyohara H, Sakaguchi M. Post-mortem tenderization of fish muscle due to weakening of pericellular connective tissue. *Nipp Suis Gakkaishi* 1993; 59:1073-1076.
13. Ando M, Yoshimoto Y, Inabu K, Nakagawa T, Makinodan Y. Post-mortem change of three-dimensional structure of collagen fibrillar network in fish muscle pericellular connective tissue corresponding to post-mortem tenderization. *Fish Sci* 1995; 61: 327-330.
14. Sato K, Ando M, Kubota S, Origasa K, Kawase H.; Toyohara H, Sakaguchi M, Nakagawa T, Makinodan Y, Ohtsuki K, Kawabata M. Involvement of Type V Collagen in Softening of Fish Muscle during Short-Term Chilled Storage. *J Agri Food Chem* 1997;45: 343-348.
15. Sigurgisladottir S, Sigurdardottir S, Torrissen O, Vallet L, Hafsteinsson H. Effects of different salting and smoking processes on the microstructure, the texture and yield of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Food Res Intern* 2000; 33: 847-855.
16. Amerine A, Pongborn H, Roescler B. Principles of sensory evaluation of food. New York: Academic Press; 1965.
17. Haard F. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Res Intern* 1992; 25: 1-19.
18. Hatae K, Yoshimatsu F, Matsumoto J. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish. *J Food Sci* 1990; 55: 693-696.
19. Hurling R, Rodell B, Hunt D. Fiber diameter and fish texture. *J Texture Stud* 1996; 27: 679-685.
20. Johnston A, Alderson R, Sandham C, Dingwall A, Mitchell D, Selkirk C, Nickell D, Baker R, Robertson B, Whyte D, Springate J. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 2000; 189: 335-349.
21. Johnston I, Manthri S, Bickerdike R, Dingwall R, Campbell P, Nickell D, Alderson R. Growth performance, muscle structure and flesh quality in

- out-of-season Atlantic (*salmo salar*) smolt reared under two different photoperiod regimes. *Aquaculture* 2004; 237: 281-300.
22. Bugeon J, Jefeve F, Fauconneau B. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. *Aquaculture Res* 2003; 34: 1287-1295.
  23. Bjørnevik M, Karlsen Ø, Johnston A, Kiessling A. Effect of sustained exercise on white muscle structure and flesh quality in farmed cod. *Aquaculture* 2003; 34: 55-64.
  24. Espe M, Ruohonen K, Bjørnevik M, Frøyland I, Nortvedt R, Kiessling A. Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in farmed salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture* 2004; 204: 489-504.
  25. Masniyom P, Benjakul S, Visessanguan W. Collagen changes in refrigerated sea bass muscle treated with pyrophosphate and stored in modified atmosphere packaging. *Eur Food Res Technol* 2005; 220: 322-325.
  26. Stiles E, Hastings W. Bacteriocin production by lactic acid bacteria: potential for use in meat preservation. *Food Sci Technol Res* 1991; 2: 247-251.
  27. Bjørnevik M, Espe M, Beattie C, Nortvedt R, Kiessling A. Temporal variation in muscle fibre area, gaping, texture, colour and collagen in triploid and diploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J Sci Food Agric* 2004; 84: 530-540.
  28. Mesa M, Botero A. Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2007; 20 (1): 79-86.
  29. Ayala D, López O, Blanco A, García A, Abellán E, Ramírez G, Gil F. Structural and Ultrastructural Changes on Muscle Tissue of Sea Bass, *Dicentrarchus labrax* L. After Cooking and Freezing. *Aquaculture*, 2005; 250 (1-2): 215-231.
  30. Love M. Biochemical dynamics and the quality of fresh and frozen fish, In: *Fish Processing Technology*, G. M. HALL. (Ed). Glasgow (UK): Blache Academic G. Prossional; 1992.
  31. Fenema R. *Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Ed. Acribia S.A.1993
  32. Mizuta S, Fujisawa S, Nishimoto M, Yoshinaka R. Biochemical and immunochemical detection of types I and V collagens in *tiger puffer* *Takifugu rubripes*. *Food Chem* 2005; 89 (1): 373-377.
  33. Truelstrup L, Gill T, Drewes S, Huss H. Importance of autolysis and microbiological activity on quality of cold-smoked salmon. *Food Res Intern* 1996; 29: 181-188.
  34. Brillet A, Pilet M, Prevost H, Cardinal M, Leroi F. Effect of inoculation of *Carnobacterium divergens* V41, a biopreservative strain against *Listeria monocytogenes* risk, on the microbiological, chemical and sensory quality of cold-smoked salmon. *Int J Food Microbiol* 2005; 104: 309-324.