

CALIDAD DE LA CARNE POR CAMBIOS *post mortem* EN CINCO ESPECIES DE PECES AMAZÓNICOS

MEAT QUALITY BY *post mortem* CHANGES IN FIVE SPECIES OF AMAZONIAN FISH

Miguel Ángel Enríquez Estrella

¹Universidad Estatal Amazónica. Facultad de Ciencias de la Tierra. Km. 2½, vía Puyo a Tena (Paso Lateral). Tel. (+593) 32-888-118 / 32-889-118. Código Postal: 160150. Puyo, Ecuador.

Email: menriquez@uea.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo de revisión

Recibido:
20/08/2021

Aceptado:
12/12/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
13(1):13-26

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.266

Resumen

La investigación se realizó con base en una revisión bibliográfica, sobre la influencia de los cambios *post mortem* de cinco especies de peces amazónicos (*Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer*, *Colossoma macropomun*) enfocados en la calidad de la carne. El objetivo del trabajo fue identificar los cambios físicos, químicos y microbiológicos que ocurren en la carne de las especies y que métodos de conservación se pueden aplicar. Como resultados obtenidos destacan la importancia del frío en la conservación de las especies, así como el manejo de atmósferas modificadas que regulan la degradación que se genera por el cambio *post mortem*, en conclusión, el sacrificio, el manejo y la conservación tienen mucho efecto en la calidad del producto.

Palabras clave: métodos de conservación, salado, ahumado, especies amazónicas.

Abstract

The research was carried out based on a bibliographic review, on the influence of postmortem changes of five species of Amazonian fish (*Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer*, *Colossoma macropomun*) focused on meat quality. The objective of the work was to identify the physical, chemical and microbiological changes that occur in the meat of the species and what conservation methods can be applied. The results obtained highlight the importance of cold in the conservation of the species, as well as the management of modified atmospheres that regulate the degradation that is generated by the post mortem change, in conclusion, the sacrifice, management and conservation have a great effect on the product quality.

Keywords: conservation methods, salty, smoked, Amazonian species.

INTRODUCCIÓN

El caudal del Amazonas proviene de tres unidades básicas: La cordillera de Los Andes, el Escudo Brasileiro y el Escudo Guayanés. Las aguas que drenan cada una de estas unidades poseen características físicas y químicas muy distintivas y han sido clasificadas en tres categorías por (Sioli, 1975) blancas, claras, negras y mixtas. Las blancas nacen en la cordillera de Los Andes y se caracterizan por un color marrón amarillento, pues arrastran gran cantidad de sedimentos inorgánicos y arcilla, las negras nacen en los bosques amazónicos, su nombre se debe a la cantidad de sedimentos que arrastran en su recorrido y que hace ver

el agua de un color oscuro. Sin embargo, si pusiéramos un poco de agua de alguno de estos ríos en un recipiente se vería de color transparente. Se caracterizan también por tener una baja cantidad de nutrientes. Algunos ejemplos son los ríos que se originan en la planicie amazónica o en los llanos orientales, como el río Inírida, el Bitá, el Vaupes y el Guainía, las claras son consideradas las más transparentes y de los cuatro tipos mencionados, son las que contienen menores nutrientes y las mixtas es la mezcla de las aguas entre los ríos andinos y amazónicos, su color tiende a ser entre marrón y amarillo. Los ríos de aguas mixtas se caracterizan por tener gran cantidad de nutrientes debido a su lugar de origen. En esta categoría se

encuentran los ríos Atacurí o Loreto Yacu, de la Amazonía colombiana. Algunos de los ríos de la altillanura de la Orinoquía entran en esta clasificación. Este tipo de ríos son ricos en nutrientes. Algunos ejemplos son el Magdalena, el cauce principal del Amazonas en su parte media y baja, y los ríos Meta y Casanare. La cuenca amazónica es mucho más que el río Amazonas: es un complejo mosaico de aguas de diferentes características que recorren ríos, quebradas, várzeas y bosques inundados y están en íntima relación con el sistema terrestre, definida por (Junk, 1997), como Zona de Transición Acuática – Terrestre (ATTZ). En este sentido, las planicies de inundación del Amazonas pueden considerarse como una extensión geoquímica de Los Andes y de su piedemonte dentro de un medio de características muy diferentes: la tierra firme (Sioli, 1984). La cantidad de especies de peces de la cuenca amazónica es aún desconocida. Un cálculo conservador estima su número en unas 1200 ± 200 especies (Fenema, 1993), y otro demasiado optimista en 7000 especies (Val y Almeida, 1995). Las especies de la cuenca no se distribuyen de manera homogénea como tiende a pensarse, sino que lo hacen de acuerdo con los tipos de aguas descritos. De esta manera, puede hablarse de una ictiofauna típica de aguas negras (Goulding, 1980), otra de claras y otra de blancas (Lowe-McConnell, 1987). En la Amazonía existe una marcada preferencia a estudiar los grandes cauces y las especies de gran tamaño (Rodríguez, 1992; Barthem y Goulding, 1997; Araujo-Lima y Goulding, 1997), pero muy poco se conoce de los cauces pequeños selváticos y sus especies. En el río Amazonas como sus lagunas asociadas y los ríos y arroyos selváticos que vierten directamente al propio Amazonas o indirectamente a través de lagunas adyacentes, conforman un mosaico de ecosistemas acuáticos muy variado, intercomunicados entre sí y con al menos tres tipos diferentes de aguas: blancas en el propio río y sus lagunas, negras y mixtas en los arroyos selváticos (Duque *et al.* 1997). La distribución espacial de los peces responde en esencia a las características limnológicas regionales y a la disponibilidad de alimento. Se ha encontrado una alta riqueza de especies en los arroyos selváticos, pero con una marcada tendencia hacia el predominio de especies de tamaños menores a 10 cm de longitud y que a su vez parecen depender del abastecimiento de alimento alóctono (Arbeláez, 2004; Castellanos, 2003). Por el contrario, aunque también el río Amazonas y su plano de inundación mantienen una elevada riqueza de especies, parece existir allí un predominio de las especies con tallas superiores a los 15 cm de longitud y con una alta dependencia de alimento de origen autóctono (Santos *et al.*, 1988; Arce y Sánchez, 2002) los siguientes autores determinan los diferentes resultados de investigaciones de peces de agua dulce amazónicos: (Arbeláez, 2004); (Prieto, 2000); (Castellanos, 2003). En menor proporción corresponde a las colecciones depositadas por (Ramírez, 1986) y (Prada, 1987) provenientes del Parque Nacional Natural

Amacayacu, y por (Jiménez, 1994) de gramalotes flotantes del río Amazonas en Leticia.

La enozoología como rama de la etnobiología estudia el conocimiento local que las comunidades humanas tienen sobre la fauna de su entorno, incluyendo sus sistemas de nomenclatura y clasificación (Santos-Fita *et al.*, 2009). Actualmente, las clasificaciones etnotaxonómicas han cobrado mayor relevancia para la conservación biológica al revelar el conocimiento mediante el cual las sociedades indígenas organizan y manejan la biodiversidad (Retana, 2004). Además, estas clasificaciones etnobiológicas son una rica fuente de información pormenorizada sobre la biología, ecología y etología de la fauna silvestre (Mourão *et al.*, 2006). Particularmente, han sido los pueblos indígenas asentados a orillas de los grandes tributarios amazónicos, por su marcada dependencia hacia los recursos hidrobiológicos, quienes han generado a través del tiempo un amplio conocimiento sobre estos aspectos.

Este conocimiento etnobiológico de clasificación de la ictiofauna se transforma entonces en un recurso importante equivalente al conocimiento académico de sistemática, que incluye familias, géneros, especie morfológica entendida como un conjunto de individuos morfológicamente similares asociados entre sí por una distribución geográfica definida y separados de otros conjuntos por discontinuidades morfológicas (Llorente y Michán, 2000) y especie biológica como la unidad básica de clasificación de individuos que pueden reproducirse entre sí y dar una descendencia fértil. Este conocimiento local es usado y enriquecido a diario por los pescadores en sus actividades de pesca y debería ser más incorporado en la planificación, manejo y la conservación de la ictiofauna y de las pesquerías (Costa-Neto y Marques, 2000; Seixas y Begossi, 2001; Silvano y Begossi, 2002). Este es el caso del Pueblo Ancestral kichwa de Pastaza, ubicado en la Amazonía central ecuatoriana, cuya vida está estrechamente ligada hacia la fauna lacustre, siendo los peces la principal fuente para su subsistencia familiar y economía (Siren, 2015) para las familias kichwa, especialmente las lagunas remanentes, adquieren trascendental importancia por su alta riqueza hidrobiológica como soporte de la subsistencia familiar y por su condición de santuarios ancestrales sagrados, desde la concepción local (Jácome, 2005).

Los ríos tropicales de Sudamérica albergan peces, que se constituyen como una oportunidad comercial para los pueblos amazónicos, que se caracterizan por su selva tropical húmeda y densa, con sus sistemas hídricos afluentes al río Amazonas el más largo y caudaloso del planeta, posee los bosques más ricos en biodiversidad conocidos por la humanidad. La región está conformada por un gran número de (quebradas, ríos, pantanos y cochas) que son arterias que alimentan de vida al ecosistema, convirtiéndose en el sustento de las especies

(peces) que existen en la región. Se estima que a nivel amazónico existen entre 2500 a 3000 especies de peces. Salas y Barriga (2004), Barriga (1991). La región Oriental incluye la Alta Amazonía, con cuatro zonas y 125 especies. La Baja Amazonía se divide en dos zonas, con 680 especies. La primera lista de peces del Ecuador se debe a Ovchynnyk (1967), quien publicó registros de 295 especies. La segunda lista publicada por el mismo autor en 1971 reúne 306 especies. Estos listados se basaron en las colecciones de la EPN (Escuela Politécnica Nacional) y el autor contó con la orientación del Prof. Gustavo Orcés, la tercera lista de peces del Ecuador fue elaborada por Barriga (1991) y se basó en los estudios de la sistemática y ecología distribucional de los peces de las principales cuencas hidrográficas del Ecuador, registrándose 706 especies. Este trabajo incrementó 400 especies al listado de la ictiofauna conocida para el Ecuador; incluye principalmente los resultados de los estudios del nororiente y noroccidente del país, En los últimos años se han realizado descripciones de especies nuevas y revisiones de varios géneros de los peces neotropicales, en los que se incluyen especies que habitan en el Ecuador (Vari, 1989, Vari *et al.*, 2005, Albert y Crampton, 2003, Armbruster 2003a, Armbruster 2003b, Lasso *et al.*, 2003, Reis *et al.* 2003, Bockmann y Guazzelli 2003, Maldonado-Ocampo *et al.*, 2008, Lujan *et al.*, 2010 y Ortega *et al.*, 2011). El recurso pesquero del río Cuyabeno, destaca una altísima biodiversidad íctica con 273 registros en el río Aguarico y 307 en el Lagartococha, ambos dentro de la cuenca del Napo, siendo la mayor riqueza acuática del corredor Trinacional La Paya – Cuyabeno – Güeppi (Burgos, 2018). Así, entre estos dos lugares está aproximadamente el 48% de la diversidad de piscícola del Ecuador; documentando para el 2012. Con 951 especies continentales a nivel nacional; estos datos sustentan el incremento de esfuerzos de investigación, para el uso, manejo y conservación; de esta concentración inusual de ictiofauna. Entre la información recabada, se reporta capturas de *Arapaima gigas* (paiche o pirarucú) especie de gran importancia en la cuenca amazónica.

La Amazonía se destaca primero en la producción extractiva de agua dulce, con el 28,0% del total producido en Brasil, pero la contribución a la acuicultura es pequeña, habiendo producido 837 toneladas en el año 2000. La participación del tambaqui (*Colossoma macropomum*) en la producción total de pescado ha ido disminuyendo a lo largo de los años, del 10,8% en 1994 al 6,3% en 1997, a pesar de ser una especie autóctona, lo que despierta la preferencia de los consumidores y alcanza un excelente valor de mercado. El tambaqui es una de las especies que más despierta el interés para la piscicultura en Brasil (Graef, 2005).

La frescura es un atributo importante de la calidad de los peces, la calidad de los productos pesqueros depende prácticamente de la frescura inicial de las materias primas.

Especialmente, muy fresco el pescado es muy importante para las personas que están acostumbradas al consumo de carne de pescado en estado crudo. Como los peces son alimentos excepcionalmente frágiles, la ultra congelación es crucial para mantener la calidad de este sensible alimento acuático producto durante el procesamiento y la distribución (Burgaard & Jørgensen, 2011). La degradación *post-mortem* en los peces inicia con cambios químicos y enzimáticos después de la muerte y estos se supone que son las principales causas de la degradación temprana de la frescura *post-mortem* la misma que no se activa durante un período de almacenamiento corto (Ghaly *et al.*, 2010). En la etapa temprana del metabolismo *post-mortem*, la degradación de la adenosina 5-trifosfato (ATP) está adecuadamente correlacionada con la pérdida percibida de la condición de la frescura inicial (Olafsdóttir, 1997). La ruta principal de degradación de ATP en peces músculos involucra la desfosforilación gradual y por pasos de ATP a adenosina 5'-difosfato (ADP) y luego a adenosina mono 5'-fosfato (AMP), y cambio a inosina mono 5'-fosfato (IMP). Este último se degrada a inosina (HxR) y eventualmente a hipoxantina (Hx). Además, el ATP se sintetiza a partir de sustratos de ADP y AMP, y la relativa proporción de estos nucleótidos de adenosina (ATP, ADP y AMP) es un indicador importante de la posición metabólica, que se conoce como carga de energía de adenilato (AEC) (Atkinson, 1968). Además, las formas oxidada y reducida del dinucleótido de nicotinamida y adenina (NAD y NADH, respectivamente) son coenzimas vitales que se correlacionan con el proceso metabólico *post-mortem*. Tras el sacrificio de los peces, se presenta la glucólisis anaeróbica rápida además de la transformación de NAD a NADH o viceversa se inicia, los niveles de NAD y NADH pueden influir en la textura muscular y el mantenimiento del color en el tejido de los peces (Imamura *et al.*, 2008). Como la degradación del ATP y se producen cambios en la textura y apariencia del músculo, simultáneamente en el cuerpo del pez (Seideman *et al.*, 1984), combinado con el seguimiento del índice de frescura (valores AEC) y el contenido de NAD/NADH que pueden confirmar posibles cambios en la calidad *post-mortem* en las primeras etapas después muerte.

El deterioro de la carne de pescado tiene 4 etapas: rigor mortis, resolución de rigor, autólisis (pérdida de frescura) y el deterioro bacteriano, estas etapas dependen de la conservación de la especie después del faenamiento de acuerdo algunos factores como el estado fisiológico, la contaminación microbiana y la temperatura. Los procesos autóctonos se llevan a cabo mediante enzimas endógenas presentes en el músculo mientras se deteriora, este es causado por el crecimiento bacteriano, otro factor predominante son las condiciones de manipulación y procesamiento (Ocaño *et al.*, 2006). Para extender la vida útil de estas especies se utilizan métodos de conservación como el (ahumado, salado y congelación) que permiten

mantener la calidad del producto y darle un valor agregado (Enríquez, 2018).

Con base en los antecedentes se tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica de los cambios *post-mortem* en la calidad de los peces amazónicos de cinco especies (*Piaractus brachipomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer*, *Colossoma macropomun*)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica que tiene un enfoque documental no experimental, ajustándose a la recopilación de información a través de la lectura analítica de documentos y materiales bibliográficos relacionados a los cambios *post-mortem* de la calidad de carne de peces amazónicos, con el objetivo de adquirir antecedentes para adentrarse en teorías. La investigación es cualitativa con un alcance descriptivo, ya que detalla los parámetros requeridos por la carne de los peces.

El método empleado es de tipo exploratorio de orden secundario, ya que se realizó una búsqueda minuciosa de información bibliográfica de documentos obtenidos en bases científicas como: Scopus, Springer, Scielo, Google Scholar, Researchgate, tesis de pre grado, maestría y doctorado. Para cumplir con el objetivo de la investigación se desarrolló una lectura crítica de los principales documentos bibliográficos seleccionados, los cuales posteriormente se clasificaron y separaron de acuerdo a la información que sustente el trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La firmeza es un factor muy importante para evaluar la calidad de la carne de pescado y fundamental al momento de comercializarla. Algunos estudios demuestran que, con cierta frecuencia, la carne de pescado ablanda después de 24 horas de almacenamiento en frío a 4 °C (Toyohara y Shimizu, 1988; Mochizuki y Sato, 1996). Diversos estudios demuestran que los cambios ocurridos en relación con las propiedades físicas de la carne de los peces, conocidos generalmente como ablandamiento de la carne durante el almacenamiento, son mayormente causados por cambios en las estructuras del tejido muscular que por cambios en los componentes de las proteínas (Hatae *et al.*, 1985). El deterioro del pescado es un proceso complejo que involucra mecanismos tanto químicos, físicos, como microbiológicos (Hong *et al.*, 2012), de manera que es necesario evaluar el impacto de cada uno de estos mecanismos en el filete de pescado durante su refrigeración mediante hielo.

Una vez que el organismo muere, se presentan las siguientes fases: pre-rigor, *rigor mortis*, finalización del rigor, autólisis y desarrollo bacteriano.

Cambios bioquímicos del músculo

Cambios fosfatos orgánicos. – Se observaron los procesos del ciclo de Krebs.

- El ATP proporciona energía química a diversos procesos celulares.
- Se genera la síntesis de ATP: glucolisis y fosforilación oxidativa (solo si hay aporte de O₂)
- Se genera el consumo de ATP, contrayendo el músculo (ATPasa Miosina) y la caATPasa de la membrana responsable de la relajación muscular.

Cambios carbohidratos y fosfágenos. – Podemos observar lo siguiente:

- Glucolisis anaerobio, degradación del glucógeno muscular, degradación de fosfágenos y la producción de ATP mediante la actividad creatin kinasa, según se detalla en la figura 1.

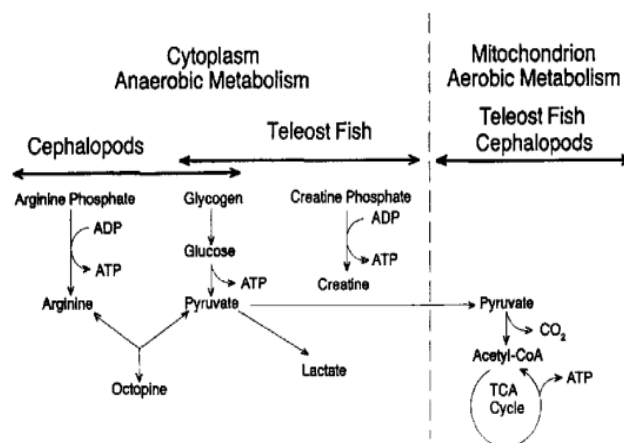


Figura 1. Metabolismo anaeróbico-aeróbico. Haard 1992.

Descenso del pH.- se pueden observar lo siguiente:

- Degradación del glucógeno
- Por el factor del estado nutricional del recurso (pez), la baja del pH afecta de manera negativa a las cualidades del pescado e influye en la rapidez con la que se alcanza el rigor, una vez ocurrido el sacrificio del animal, se lleva a cabo el proceso de transformación del músculo en carne, tomando en cuenta que esta es el resultado de dos cambios bioquímicos que ocurren en el periodo *post-mortem*. El establecimiento del *rigor mortis* y la maduración. El principal proceso que se lleva a cabo durante el establecimiento del *rigor mortis* es la acidificación muscular. El descenso del pH depende del tipo de fibras que predominan en el músculo y de la actividad muscular antes del sacrificio. Así, los músculos con predominio de fibras de contracción rápida (blancas) alcanzan valores

finales de 5,5 mientras que en los músculos en donde predominan las fibras de contracción lenta (rojas) el pH no baja de 6,3. Los cambios se detallan en la figura 2.

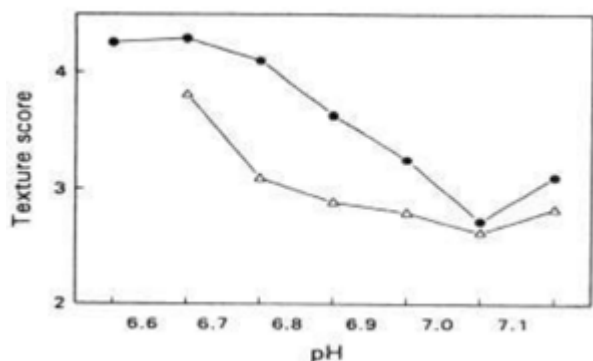


Figura 2. Cambio de pH en los cambios *post-mortem*. Haard 1992.

Instauración del rigor (Stres). - En esta fase se determina lo siguiente:

El stress previo a la muerte determina la rapidez con la que se alcanza el rigor o los tratamientos que prolonguen el estado pre-rigor retardan la pérdida de calidad e incrementan la vida útil del producto.

Duración del rigor.- Es importante en la conservación del pescado, durante esta fase se bloquea la permeabilidad de las membranas; procesos enzimáticos o bacterianos ralentizados.

Piaractus brachyomus

Entre las especies destacadas, en la región, se encuentra la Pirapitinga (*Piaractus brachyomus*), teleósteos de agua dulce, de la familia Characidae, originaria de la Amazonía y de gran importancia para la piscicultura brasileña. Es una especie rústica de rápido crecimiento, además de lograr un excelente valor de mercado, despertar el interés nacional (Ribeiro *et al.*, 2016). Las branquias, se encuentran en la cavidad orofaríngea, en estos se observan las denominadas laminillas primarias, las laminillas secundarias se ubicaron por encima y por debajo del eje longitudinal, de las laminillas primarias.



Imagen 1. *Piaractus brachyomus*

Índice de rigor y degradación del ATP

Inmediatamente después de su muerte y durante su transporte a los puntos de comercialización, se suceden una serie de procesos autolíticos en el músculo, entre los que destacan la hidrólisis de los nucleótidos. El efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el índice de rigor, las tasas más aceleradas de contracción muscular se presentaron en los pescados almacenados a 0°C, los cuales alcanzaron el estado de máximo rigor (100% de IR) dos horas después del almacenamiento a esta temperatura. Por el contrario, a 10°C, el estado de máximo rigor se alcanzó después de 10 horas de almacenamiento, mientras que a 27± 3°C, el *rigor mortis* se desarrolló lentamente y el valor máximo fue de 82,7%, alcanzado después de 10 horas de almacenamiento. El pH del músculo inmediatamente después de la captura es cercano a la neutralidad (pH 7). Los cambios autolíticos comienzan inmediatamente después de la muerte del pez. La interrupción de la circulación sanguínea priva al músculo del aporte de oxígeno y otros nutrientes celulares, el sistema mitocondrial deja de funcionar y tiene lugar la glucólisis anaerobia, acumulándose ácido láctico como producto final con la concomitante disminución del pH muscular hasta valores de 6,5 o inferiores (Love y Haq 1970; Kramer y Peters 1981; Haard, 1992; Izquierdo-Pulido *et al.*, 1992; Huss, 1998; Massa, 2006). Distintos estudios indican que el contenido de glucógeno, su velocidad de degradación y consecuentemente el descenso del pH del músculo varían según la especie, el tipo de músculo, el estado nutricional del pez, el grado de agotamiento al momento de la muerte y las condiciones de almacenamiento (Love y Haq 1970; De Vido de Mattio *et al.* 2001; Huss 1998; Contreras-Guzmán 2002; Ocaño-Higuera, 2003; Massa, 2006). Esta disminución del pH tiene un efecto determinante en la calidad de la carne (Tomlinson y Geiger 1962; Love y Haq 1970; Izquierdo-Pulido *et al.* 1992; Faergemand *et al.* 1995; Olafsdóttir *et al.* 1997), ya que se reduce la carga neta de la superficie de las proteínas musculares, causando su desnaturalización parcial y disminuyendo su capacidad de retener agua. El desarrollo bacteriano posterior produce los mayores efectos de alteración del pescado durante el almacenamiento, siendo la acumulación de los productos del metabolismo microbiano la causa principal de la aparición de olores y sabores desagradables (“off-odour”; “off-flavour”). El músculo de un pez sano es estéril; luego de la muerte fallan los sistemas de defensa y comienza la invasión y el desarrollo microbiano (Gram, 1989; Ababouch *et al.* 1996). Estos microorganismos son responsables de la formación de una serie de compuestos básicos nitrogenados, entre ellos el amoníaco, la trimetilamina (TMA), la dimetilamina (DMA), monometilamina y propilamina. Debido a la acumulación de estas sustancias, conocidas en su conjunto como Nitrógeno Básico Volátil Total (NBVT), aumenta el pH muscular que puede llegar a superar el valor de 7,5.

Los estudios morfológicos de la cachama blanca se han centrado en la descripción macro y microscópica del bazo (Herrera *et al.*, 1996), la descripción del tejido sanguíneo (Eslava *et al.*, 1995) y la organización general del sistema circulatorio (Pardo *et al.*, 1995). En la evaluación genética aún no se ha puesto particular interés para aplicar mejoramiento genético, a pesar de que la especie ha demostrado tener condiciones zootécnicas importantes, como también limitaciones en el fileteado. La contribución del contenido de colágeno a las propiedades de textura en la carne de pescado ha sido estudiada por varios autores (Ando *et al.*, 1999). 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 (Ando 1997, Suarez *et al.*, 2009). En el tejido muscular de *P. brachypomus* el mineral más importante fue el potasio, seguido del sodio y el calcio, el magnesio y el hierro; los cuales son importantes en el metabolismo de la especie en concentraciones normales.

Arapaima gigas

Arapaima gigas, llamado en Brasil pirarucu y paiche en Perú, es considerado uno de los peces más grandes de agua dulce. Goulding (1980) ha citado que es común la existencia de ejemplares de 125 kg de peso, llega alcanzar un peso máximo cercano a 200 kg y 2-3 metros de longitud (Saint-Paul, 1986). En el Amazonas, son plebeyo capturado por la pesca comercial, individuos con peso que van de 30 a 40 kg, cuya carne tiene un ingreso promedio en alrededor del 57%. El pirarucu (*Arapaima gigas*), por su gran tamaño, es el pez más famoso y emblemático de la ictiofauna amazónica, representando un papel histórico en la pesca y el desarrollo situación socioeconómica de la región. Es un pez endémico, único en la región, que se encuentra en las aguas. Zonas tranquilas del río Amazonas y afluentes, así como en la vasta llanura aluvial e igapó vinculado a ella (Bard e Imiriba, 1986). Es la especie más prometedora para el desarrollo de la piscicultura intensiva en la región amazónica, ya que tiene una alta tasa de crecimiento, alcanzando de 7 a 10 kg en el primer año de vida (Pereira-Filho *et al.*, 2002; Ono *et al.*, 2004). El paiche se encuentra en toda la cuenca del Amazonas y también otros ríos comprendidos desde Guyana hasta Bahía en el Brasil. En el Perú se encuentra en las cuencas bajas de los ríos Napo, Putumayo, Marañón, Pastaza y Ucayali, con abundancia en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria (Rebaza *et al.*, 1999).



Imagen 2. Paiche

Salas y Barriga (2004) realizaron un estudio sobre los aspectos bioquímicos y cambios *post-mortem* en el filete de paiche almacenado en hielo, al evaluar la vida útil de la especie en filetes almacenados en hielo se encontraron rangos de valor K que pueden utilizarse como índices de calidad a diferencia de las pruebas BVN y pH que no demuestran ser indicadores adecuados. Según Oliveira *et al.* (2014) midió los cambios sensoriales, físico-químicos y microbiológicos que ocurrieron en muestras almacenadas a $(2 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C})$, Los resultados mostraron que la vida útil para el consumo, según la evaluación sensorial, fue de $27 \pm 0,5$ días en hielo. a 10 (UFC / g) y los índices de pH y N-BVT no presentaron valores altos durante todo el período de almacenamiento de hielo. El rendimiento promedio obtenido para el filete de paiche, sin piel y sin escamas, fue del 41,41%, este puede ser considerado tecnológicamente idóneo.

Brycon amazonicus

Brycon amazonicus pertenece al género Brycon, género conformado por especies dulce acuícolas y que posee más de 40 especies (Howes, 1982). Esta especie nativa es la que más se ha investigado (Cruz *et al.*, 2000). Sin embargo, si la industria piscícola desea desarrollar una producción intensiva de este pez, debe afrontar varios desafíos. Sin duda alguna el reto más grande que tiene que superar la industria acuícola de esta especie es la del rápido ablandamiento de la carne cuando esta es sometida a congelación. No se sabe con certeza, cuáles son los factores, ni cómo se dan los mecanismos (Ladrat *et al.*, 2003). Se cree que este cambio en la carne, puede ser producto tanto de la degradación de las proteínas miofibrilares, como del tejido conectivo intramuscular (Ofstad *et al.*, 2006), debido a la acción enzimática que se presenta durante el periodo *post-mortem* (Verrez *et al.*, 1999; Caballero *et al.*, 2009) y que este puede variar su intensidad según la especie y según origen de los peces (Haard, 1992), manejo presacrificio (Fletcher *et al.*, 1997), así como del sistema de sacrificio. Ramírez (1986) evaluó la adición de sorbitol al músculo del yamu, a temperaturas entre 2 y -18°C , como resultado las propiedades fisicoquímicas evaluadas en la carne de yamú se vieron afectadas principalmente por la interacción entre la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Las proteínas miofibrilares sufrieron una degradación parcial y se evidenciaron cambios en el tejido conectivo, relacionados con la pérdida de textura, especialmente cuando la carne

no fue tratada con sorbitol a temperatura de congelación (-18 ± 2 °C). Viana *et al.* (2018) en un estudio de atmósferas modificadas para alargar el tiempo de vida útil y la calidad de la especie por debajo de 2 ± 1 °C, determina que las muestras envasadas al vacío mostraron un mayor crecimiento microbiano, pero mantuvieron una buena calidad durante aproximadamente 17 días de almacenamiento. Las muestras tratadas con AMI CO₂ / N₂ (60/40%) CO₂ (100%) mostraron buena calidad durante unos 35 días. La carne del pez Yamú, una vez sacrificado y sometido a congelación, presenta un problema al que deben enfrentarse los productores y comercializadores de esta especie. Este radica en el rápido ablandamiento que sufre la carne de esta especie al conservarse a bajas temperaturas. No se sabe con certeza cuáles son los factores, ni cómo se dan los mecanismos que la afectan. No obstante, algunos autores sugieren que la pérdida de textura es ocasionada por la acción de proteasas sobre proteínas miofibrilares (Verrez *et al.*, 1999), en especial catepsinas, calpaínas y enzimas hidrolíticas como elastasas y colagenasas. Aunque ha sido reconocido que el efecto de las proteasas es posterior e independiente a la pérdida inicial de textura en algunos peces sometidos a refrigeración (Ladrat *et al.*, 2003; Shigemura *et al.*, 2003). Muchas proteasas han sido aisladas del músculo de pescado y el efecto de la descomposición proteolítica está generalmente relacionada con un extenso ablandamiento del tejido. Los péptidos de bajo peso molecular y los aminoácidos libres producidos por la autólisis de las proteínas no solo disminuyen la aceptación comercial de los pelágicos. También se ha demostrado, en capelán almacenado, que la autólisis acelera el crecimiento de las bacterias del deterioro, proporcionando un medio de crecimiento superior para este tipo de organismos (Howes, 1982). En relación a las catepsinas si bien han sido aisladas varias enzimas proteolíticas en el tejido del pescado, han sido las catepsinas las que quizás se han descrito con mayor frecuencia. Las catepsinas son proteasas "ácidas" que usualmente se encuentran empacadas en diminutos organelos submicroscópicos llamados lisosomas. En el tejido vivo, las proteasas lisosomales se cree son responsables de la degradación proteica en las áreas de daño. De esta forma, las catepsinas están generalmente inactivas dentro del tejido vivo, pero son liberadas dentro de los fluidos celulares luego de abuso físico o congelación y descongelación *post-mortem* del músculo. Las colagenasas están implicadas en los cambios autolíticos *post-mortem*, involucran cambios dentro de la célula muscular. 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 (Kiessling *et al.*, 2006). 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 (Hurling y Hunt 1996). 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 (Johnston, 2000; Bugeon *et al.*, 2003). 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 (Bjørnevik *et al.*, 2003). 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.*, (2000) y Espe *et al.* (2004) 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 (Fenema, 1993). El colágeno es un grupo de moléculas similares, sin embargo, sus componentes aún no han sido completamente identificados (Masniyom *et al.*, 2005). 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.



Imagen 3. *Brycon amazonicus*

Pseudoplatystoma punctifer

Una de las especies más conocidas de bagres gigantes es la doncella *Pseudoplatystoma punctifer*, la cual se encuentra ampliamente distribuida en la cuenca

amazónica (Goulding *et al*, 1980). Es un bagre de hábitos piscívoros (Barbarino y Winemiller, 2003), de carne muy apreciada en los mercados locales de la Amazonía peruana debido a la ausencia de espinas intramusculares y por el tamaño que alcanza. A temperatura ambiente los cambios de composición de los gases en la atmósfera de almacenamiento del bagre afectan fuertemente a los procesos biológicos y los cambios bioquímicos, químicos y microbiológicos. El O₂ desciende consumiendo totalmente los microorganismos de la actividad metabólica microbiana, esto sucede cuando se crea ambientes donde el acceso de oxígeno es restringido. Este resultado identificado coincide con los estudios realizados por Reddy *et al*, (1994) en filetes de tilapia y por Fletcher *et al*, (2002) en filetes de Salmón Rey, donde los niveles de O₂ descendieron hasta valores cercanos a cero (0%). En el espacio de cabeza de los empaques contentivos de las mezclas de gases CO₂/N₂ se observó un comportamiento similar de decrecimiento lineal en la concentración de CO₂.



Imagen 4. Bagre

Colossoma macropomum

Los peces dulceacuícolas, tanto en condiciones naturales como de cultivo, son susceptibles al ataque e invasión de agentes virales, bacterianos, micóticos y parasitarios, conocidos como patógenos facultativos, que ingresan a las instalaciones de cultivo, conviviendo con los peces sin ocasionarles daño, ya que son reducidos por las defensas del organismo sin presentar manifestaciones clínicas de la enfermedad; sin embargo, si las condiciones se tornan desfavorables para los peces, pueden bajar sus defensas naturales y el organismo atacante invade desmedidamente al hospedero, comportándose como un patógeno y ocasionando altas tasas de mortalidades en las piscifactorías. En Venezuela se han realizado estudios sobre enfermedades y sus agentes etiológicos en varias especies de peces dulceacuícolas de importancia comercial, tanto en el ámbito silvestre como de cultivo (Aragort, 1994; Ravelo y Conroy, 1994; Torres *et al.*, 2002). En ambientes naturales, los peces de forma periódica son afectados por patógenos; por su parte, en estanques de cultivo, se pueden presentar condiciones desfavorables que incrementan su incidencia, tales como disminución en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, temperaturas fuera del intervalo óptimo de la especie o variaciones drásticas de las mismas; hacinamiento producido por las altas densidades de los ejemplares en los estanques y presencia de elementos tóxicos en el agua.



Imagen 5. Cachama

De manera general, se conoce que los pescados continentales tropicales poseen un comportamiento diferente a la mayor parte de las especies marinas, principalmente por alcanzar una rápida rigidez a temperaturas de refrigeración, fenómeno conocido como cold shock (Curran *et al*, 1986; Almeida *et al*, 2005; Batista *et al*, 2004). Evaluaron la influencia de la temperatura sobre los cambios *post-mortem* de la cachama, evaluando el desarrollo de *rigor mortis* (IR), concentración de adenosina trifosfato (ATP), adenosina difosfato (ADP), adenosina monofosfato (AMP), inosina monofosfato (IMP), inosina (HxR), hipoxantina (Hx) por HPLC e índice de frescura (valor K). En los pescados almacenados a 0°C se presentó una contracción violenta, con valores de IR máximo de 100% en 2 horas, mientras que a 10°C la máxima contracción se presentó después de 10 horas y a 27,3°C, el máximo valor de IR fue de 82,97% después de 24 horas. La tasa de hidrólisis de ATP fue mayor durante las primeras 24 horas en los pescados almacenados a 10°C. El bajo contenido de grasa presentado por híbridos de cachama cultivados, al contrario de lo observado por Ng C (1983). Lo cual pudo estar relacionado con su edad, ya que los ejemplares utilizados en la investigación fueron pequeños, aun cuando su talla y peso estaban dentro del tamaño comercial (300 g – 500 g de peso corporal). El alto contenido en proteína y bajo contenido en grasa puede clasificar a estos ejemplares como pescado de grado A, de acuerdo a la clasificación propuesta por Mendes *et al*, (2017) realiza un estudio sobre la comparación de la calidad de los tambiquis (*Colossoma macropomum*) sacrificados por asfixia, el método tradicional y la hipotermia, donde contenido de bases nitrogenadas volátiles totales (TVB-N) y el pH eran más altos en los peces muertos por asfixia. El análisis sensorial indicó que la calidad del pescado sacrificado inmediatamente después del transporte fue menor que la del pescado al que se le permitió recuperarse del estrés previo al sacrificio. Los peces sacrificados inmediatamente después del transporte muestran menor calidad (Viegas *et al*, 2012), y deben ser sometidos inmediatamente a una temperatura entre 2 a- 18 °C para mantener su frescura, esto se relaciona con lo indicado por Enríquez (2022) donde menciona la importancia de utilizar temperaturas de refrigeración de 5°C a los peces en la provincia de Pastaza, Ecuador, para evitar la proliferación de microorganismos por efectos de

la humedad de la zona amazónica de esta región del Ecuador.

Método (QIM), es un método basado en la evaluación de atributos característicos (piel, ojos, branquias, etc.) seleccionados para cada especie o producto en particular. La pérdida de la frescura ocurre, en una primera etapa, por la acción de enzimas endógenas presentes en las vísceras y músculos (autólisis) y posteriormente por el desarrollo de microorganismos deteriorantes (Haard, 1992, Huss 1998). La velocidad en que proceden ambas etapas depende de la especie, del método de captura, de la manipulación y particularmente de la conservación post-captura. Numerosos métodos han sido propuestos para evaluar la frescura de las especies pesqueras. Dentro de estos métodos, la evaluación sensorial es el procedimiento más utilizado en las inspecciones diarias de puertos y mercados, durante el procesamiento y por los consumidores. El Índice de Calidad (QI) genera un incremento lineal, que van desde 0 (máxima frescura) a 34 (pérdida total de frescura), con una fuerte correlación con el tiempo de almacenamiento.

CONCLUSIONES

El rigor es un proceso no del todo comprendido, pero siempre ocasiona el reblandecimiento (relajación) posterior del tejido muscular y se cree que está relacionado con la activación de una o más enzimas musculares presentes en el pescado, las cuales digieren ciertos componentes del complejo rigor mortis. El reblandecimiento del músculo durante la resolución del rigor (eventualmente el proceso de deterioro) coincidieron con los cambios autolíticos. De estos cambios, el primero en ser reconocido en las 5 especies estudiadas se forma más o menos después de la muerte fue la degradación de los compuestos relacionados con el ATP. Asimismo, la degradación de nucleótidos es solo coincidental con los cambios percibidos en la frescura y no está necesariamente relacionada con su deterioro, considerándose que solo la hipoxantina tiene un efecto directo en el sabor amargo percibido en el pescado deteriorado.

Uno de los factores en el manejo de la calidad de la carne de pescado es el método de conservación que se aplica a la especie. En las 5 especies se utiliza la refrigeración y congelación en un rango de temperatura que oscila entre los 2° hasta los -18°C. Los cambios *post-mortem* también tienen mucho que ver con la forma de sacrificar a las especies.

En la actualidad la innovación en los métodos de conservación en los recursos hidrobiológicos brinda la posibilidad de ofertar al consumidor un producto fresco y sin alteraciones en sus estructuras físico-químicas y microbiológicas, el manejo de atmósferas modificadas y

la selección de envases son una oportunidad de manejo de la cadena de producción de las especies y almacenamiento por más tiempo de las especies permitiéndole tener un valor agregado.

LITERATURA CITADA

- Ababouch L.H., Souibri L., Rhaliby K., Ouahdi O., Battal M., Busta F.F. 1996. Quality changes in sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice and at ambient temperature. *Food Microbiology* 13:123-132. <https://doi.org/10.1006/fmic.1996.0016>
- Albert, J.S., W.G.R. Crampton. 2003. Seven new species of the Neotropical electric fish *Gymnotus* (Telesostei, Gymnotiformes) with a redescription of *G. carapo* (Linnaeus). *Zootaxa* 287:1-54.
- Almeida M, Batista G, Kodaira M, Val L, Lessi E. 2005. Determinação do índice de rigor-mortis esua relação com a degradação dos nucleotídeos em tambaqui (*Colossoma macropomum*), de piscicultura e conservados em gelo. *Ciência Rural*, 35(3): 698-704.
- Ando M, Nishiyabu A, Tsukamasa Y, Makinodan Y. 1999. Postmortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. *J Food Sci* 64(3): 423-428.
- Ando M. 1997. Softening Mechanism of Fish Meat. *Suisangaku Series*. Tokyo, Japan:Kouseisha Kouseikaku.
- Ang JF, Haard NF. 1985. Chemical composition and postmortem changes in soft textured muscle from intensely feeding atlantic cod (*Gadus morhua*, L). *Journal of Food Biochemistry*. 9(1):49-64
- Arce, M. Y P. Sánchez. 2002. Estudio ecológico de la fauna íctica del río Amazonas en los alrededores de Leticia, Amazonía Colombiana. Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- Aragort, W. 1994. Parasitismo por tremátodos monogénicos branquiales en cachama, *Colossoma macropomum*, bajo condiciones de cultivo: El caso de la sub-Estación Experimental Papelón, Estado Portuguesa. Tesis. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay, Venezuela. 107 p.
- Araujo-Lima, C. Y M. Goulding. 1997. So fruitful a fish. Ecology, conservation and aquaculture of the Amazon's tambaqui. Columbia University Press, New York, 191 pp.
- Araújo, Marleide Guimarães de Oliveira. Características físico-químicas, bacteriológicas e sensoriais de filés de pintado amazónico (*Fêmea de Pseudoplatystoma spp e*

- X Macho *Leiarius marmoratus*), estocado em atmoófera modificada / Marleide Guimarães de Oliveira Araújo. – 2012.
- Arbeláez, F. 2004. Estudio de la ecología de los peces de un caño de aguas negras amazónicas en los alrededores de Leticia. Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 71 pp.
- Arce M., P. Sánchez 2002 Estudio ecológico de la faunaíctica del río Amazonas en los alrededores de Leticia, Amazonia Colombiana. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
- Armbruster, J.W. 2003^a. The species of the *Hypostomus cochliodon* group (Siluriformes: Loricariidae). *Zootaxa*, 249: 1-60.
- Armbruster, J.W. 2003^b. *Peckoltia sabaji*, a new species from the Guyana Shield (Siluriformes: Loricariidae). *Zootaxa*, 344: 1-12.
- Atkinson DE. 1968. The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with feedback modifiers. *Bio-Chemistry*, 7:4030– 4034
- Barbarino, A. y Winemiller, K. O. 2003. Dietary segregation among large catfishes of the Apure and Arauca Rivers, Venezuela. *Journal of Fish Biology*. 63: 410-427
- Bard. J.; Imbiriba, E. P. 1986 *Piscicultura do pirarucu, Arapaima gigas*, Belém: Embrapa - CPATU, 17p.
- Barriga, R. 1991. Los Peces de Agua dulce del Ecuador. *Rev. Politécnica, Biología*, XVI (3): 7-88.
- Barthem, R. Y M. Goulding. 1997. *The Catfish Connection. Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators*. Columbia University Press, New York.
- Batista G, Lessi E, Kodaira M, Falcao P, 2004. Alteracoes bioquímicas post-mortem de matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) procedente da piscicultura, mantido em gelo. *Cien. Tecnol. Aliment., Campinas*, 24 (4): 573-581.
- Bockmann, F. A. y G.M. Guazzelli. 2003. Heptapteridae. Pp. 406-431. en: Reis, R.E., S.O. Kullander y C.J. Ferraris Jr. (organizadores), *Check list of the fresh water fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brasil.
- Bjørnevik M, Karlsen Ø, Johnston A, Kiessling A. 2003. Effect of sustained exercise on white muscle structure and flesh quality in farmed cod. *Aquaculture* 34: 55-64.
- Bugeon J, Jefeve F, Fauconneau B. 2003. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to longterm exercise. *Aquaculture Res* 34: 1287-1295.
- Burgaard & Bo M. Jørgensen. 2011. Effect of Frozen Storage Temperature on Quality-Related Changes in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20:1, 53-63, DOI: 10.1080/10498850.2010.538894
- Burgos, R. 2018. Lineamientos a nivel comunitario para el uso y manejo sostenible de peces con énfasis en *Arapaima gigas* para la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno. Proyecto IAPA – Visión Amazónica. Unión Europea, Redparques, WWF, FAO, UICN, ONU Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Caballero MJ, Betancor M, Escrig JC, Montero D, Espinosa de los Monteros A, Castro P. (2009) Post mortem changes produced in the muscle of sea bream (*Sparus aurata*) during ice storage. *Aquaculture*.
- Castellanos, C. 2003. Distribución especial de la comunidad de peces en una quebrada de aguas negras amazónicas, Leticia, Colombia. Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 184 pp
- Contreras-Guzmán E. 2002. *Bioquímica de pescados e invertebrados*, Santiago, Chile.
- Costa-Neto, E. y J. G. W. Marques. 2000. Etnoictiología dos pescadores artesanais de Siribinha, municipio de Conde (Bahía): aspectos relacionados con a etología dos peixes. *Acta Scientiarum* 22 (2): 553-560.
- Curran C, Poulten R, Brueton A, Jones N. 1986. Cold shock reactions in iced tropical fish. *J. Food Tech.*, 21: 288-299
- Cruz C, Arias C, Vásquez T, Eslava M. 2000. Cultivo de la cachama y el yamú en los Llanos Orientales de Colombia *Revista Colombiana de ciencia y tecnología*. 18:10.
- De Vido De Mattio N., Paredi M., Crupkin M. 2001. Influence of the gonadal cycle and food availability on postmortem changes in glycogen, adenosine triphosphate, hypoxanthine, and the 260/250 absorbance ratio in adductor muscles from scallop *Aequipecten tehuelchus* (D'Orbigny, 1846). *Journal of Shellfish Research* 20:111-115.
- Duque, S. R., J. E. Ruiz, J. Gómez y E. Roessler. 1997. *Limnología*. 71-134. En IGAC (Ed.). *Zonificación ambiental para el plan modelo Colombo – Brasileiro*

- (Eje Apaporis – Tabatinga: PAT). Editorial Linotipia. Santafé de Bogotá.
- Enríquez, M. Á. 2018. Atmósfera modificada en la conservación de carne de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). NOVASINERGIA. Revista Digital de Ciencia, Ingeniería y Tecnología, 1(1).
- Enríquez, M. A. 2022. Postmortem changes in the meat quality of Amazonian fish of the species (*Piaractus brachyomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer*, *Colossoma macropomum*). Bibliographic review. Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales, 9(1), 89–108. <https://doi.org/10.23850/24220582.4635>
- Eslava PR, Hernández CP, Gómez LA. 1995 Hematología básica de la cachama blanca (*Piaractus brachyomus*). Rev MVZ Unillanos, 1:3-5.
- Espe M, Ruohonen K, Bjørnevik M, Frøyland I, Nortvedt R, Kiessling A. 2004. Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in farmed salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 204: 489-504.
- Faergemand J., Rønsholdt B., Alsted N., Borresen T. 1995. Fillet texture of rainbow trout as affected by feeding strategy, slaughtering procedure and storage post mortem. *Water Science and Technology* 31:225-231. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00443-Q](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00443-Q)
- Fenema R. 1993. Química de los alimentos. Zaragoza, España: Ed. Acribia S.A.
- Fletcher GC, Hallett IC, Jerrett AR, Holland AJ 2002 Changes in the Fine Structure of the Myocommata–Muscle Fibre Junction Related to Gaping in Rested and Exercised Muscle from King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *LWT - Food Science and Technology*.
- Garrido, M.D.; Bañón, S.; Álvarez, D. 2005. Medida del pH. En: "Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes". Cañeque, V.; Sañudo, C.
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S. & Brooks, M. S. 2010. Fish Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859-877. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.859.877>
- Guarderas, Lida e I. Jácome-Negrete. 2013. Curaray Causac Yacu Conocimiento y gestión territorial de los humedales del Pueblo Kichwa de la cuenca media y baja del río Curaray desde la visión del Sumac Allpa y del Sumac Causai. Instituto Quichua de Biotecnología Sacha Supai. Dimensión Alternativa, Quito.
- Graef, E.W. As 2005 Espécies de peixes com potencial para criação no Amazonas. In: VAL. A.L.; HONCZARY, A. Criando peixe na Amazônia 19.ed. Manaus: INPA,. p.29-43.
- Gram L. 1989. Identification, characterization, and inhibition of bacteria isolated from tropical fish. PhD. The technological Laboratory of the Danish Ministry of Fisheries and The Royal Veterinary and Agricultural University.
- Géry, J. 1990. The fishes of Amazonia. En: Sioli, H. (Ed.). The Amazon: Limnology and landscape ecology of mighty tropical river and its basin. - Monographiae Biologicae. 56:763.
- Géry, J. Y V. Mahnert. 1992. Notes sur quelques Brycon des bassins de l'Amazone, du Parana-Paraguay et du Sud-Est brésilien (Pises, Characiformes, Characidae). *Revue suisse Zool.*, 99 (4): 793-819.
- Goulding M., R. Barthem, E. Ferreira. 2003 *Smithsonian Atlas of the Amazon*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 254 pp.
- Goulding, M. 1980 *The Fishes and the Forest: explorations in Amazonian natural history*. Berkeley, University of California. 280p.
- Hatae, K.; Tamari, S.; Miyayaga, K. and Matsumoto, J. 1985. Species difference and changes in the physical properties of fish muscle as freshness decreases. *B Jpn Soc Sci Fish*, 51: 1155-1161
- Haard N.F. 1992. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International* 25:289-307. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(92\)90126-P](https://doi.org/10.1016/0963-9969(92)90126-P)
- Herrera DC, Eslava PE, Iegui CA. 1996 Aspectos de anatomía macro y microscópica del bazo de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*). *Rev ACOVEZ*, 21:16-21.
- Hong, H., Luo, Y., Zhou, Z. & Shen, H. 2012. Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4°C. *Food Chemistry*, 133(1): 102-107
- Howes G. Review of genus brycon. 1982 *Bulletin of the British Museum (Natural History)*. 43:336.
- Hurling, R., Rodell, J. B., & Hunt, H. D. 1996. Fiber diameter and fish texture. *Journal of Texture Studies*, 27(6), 679-685.

- Huss H.H. 1998. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, pp 202. <http://www.fao.org/3/v7180s/v7180s00.htm>
- Imamura S, Uchiyama J, Koshimizu E, Hanai J, Raftopoulou C, Murphey RD, Bayliss PE, Imai Y, Burns CE, Masutomi K, Gagos S, Zon LI, Roberts TM, Kishi S. 2008. A non-canonical function of zebrafish telomerase reverse transcriptase is required for developmental hematopoiesis. PLoS One 3, e3364
- Izquierdo-Pulido M.L., Hatae K., Haard N.F. 1992. Nucleotide catabolism and changes in texture indices during ice storage of cultured sturgeon, *Acipenser transmontanus*. Journal of Biochemistry 16:173-192. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1992.tb00444.x>
- Jácome, I. 2005. Sumac Yacu – Introducción al conocimiento de los ecosistemas acuáticos y la diversidad, ecología, aprovechamiento y conservación de los peces de los territorios quichuas de Yana Yacu, Nina Amaran y Lorocachi, Pastaza. Instituto Quichua de Biotecnología Sacha Supai. Ediciones AbyaYala, Quito.
- Jácome, I. y L. Guarderas. 2005. Sumac Jita – Introducción al conocimiento de la diversidad, ecología y uso de los principales recursos biológicos de tres ecosistemas de lagunas del Territorio quichua de Yana Yacu, Pastaza. Instituto Quichua de Biotecnología Sacha Supai. Ediciones AbyaYala, Quito.
- Jiménez L. F. 1994 La comunidad íctica presente en la zona de los gramalotes ubicados sobre el margen colombiano del río Amazonas. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. (PDF) Peces de la Cuenca del Río Amazonas en Colombia: Región de Leticia.
- Johnston A, Alderson R, Sandham C, Dingwall A, Mitchell D, Selkirk C, Nickell D, Baker R, Robertson B, Whyte D, Springate J. 2000. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). Aquaculture 189: 335-349.
- Junk, W. 1997. The central amazon floodplain. Ecology of a pulsing system. Springer, Germany.
- Kiessling A, Ruohonen K, Bjørnevik M. 2006. Muscle fibre growth and quality in fish Arch Tierz 49: 137-146.
- Kramer D.E., Peters M.D. 1981. Effect of pH and pre-freezing treatment on the texture of yellowtail rockfish (*Sebastes flavidus*) as measured by the Ottawa Texture Measuring System 16:493-504. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb01842.x>
- Lasso, C.A, D. Lew., D.C. Taphorn, C. Do Nascimento, O. Lasso-Alcala, F. Provenzano, A. Machado. 2003. Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales No.43: 105-195.
- Ladrat C, Verrez-Bagnis V, Noël J, Fleurence J. 2003 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 Chemistry, 81(4):517-25.
- Lowe-McConnell, R. 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press, Cambridge.
- Love R.M., Haq M.A. 1970. The connective tissues of fish III. The effect of pH on gaping in cod entering rigor mortis at different temperatures Journal of Food Technology 5:241-248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb01563.x>
- Lujan, N.K., M. Hidalgo y D.J. Stewart 2010 Revision of Panaque with descriptions of three new species from the Amazon Basin (Siluriformes, Loricariidae). Copeia (4):676-704.
- Llorente, J. y L. Michán. 2000. El concepto de especie y sus implicaciones para el desarrollo de inventarios y estimaciones en biodiversidad. En: Piera, F., Morrone, J. y A. Melic (eds.). Hacia un proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica. Monografías Tercer Milenio Vol.1. SEA, Zaragoza
- Maldonado-Ocampo, J.A, R.P. Vari y J.S. Usma. 2008 Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia. Biota Colombiana 9 (2):143 -237.
- Massa A. 2006. Cambios bioquímicos post-mortem en músculo de diferentes especies pesqueras. Determinación de la vida útil de las mismas en frío. PhD. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata, 236 pp.
- Masniyom, P., Benjakul, S., & Visessanguan, W. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life of refrigerated seabass slices. LWT-Food Science and Technology, 38, 745-756.
- Mendes, Joana Maia, Dairiki, Jony Koji, Inoue, Luis Antonio Kioshi Aoki, & JESUS, Rogério Souza de. 2017. Advantages of recovery from pre-slaughter stress in tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) agroindustry in the Amazon. Food Science and Technology, 37(3), 383-388. Epub March 09, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.14316>

- Mochizuki S, Sato A. 1996 Effects of Various Killing Procedures on Post mortem Changes in the Muscle of Horse Mackerel. Bull Japan Soc Sci Fish. 64:276-279
- Mourão, J., H. Araujo y F. Almeida. 2006. Ethnotaxonomy of mastofauna as practiced by hunters of Municipality of Paulista, state of Paraíba-Brasil. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 2(19): 1-7
- Olafsdóttir; G. Martinsdóttir; J. Oehlenschläger; P. Dalgaard; B. Jensen; I. Undeland; I.M. Mackie; G. Henehan; J. Nielsen; H. Nilsen 1997. *Methods to evaluate fish freshness in research and industry.* , 8(8), 0–265. doi:10.1016/s0924-2244(97)01049-2
- Oliveira, Pedro Roberto de, Jesus, Rogério Souza de, Batista, Gilvan Machado, & Lessi, Edson. 2014. Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. Brazilian Journal of Food Technology, 17(1), 67-74. <https://doi.org/10.1590/bjft.2014.010>
- Ortega, H., M. Hidalgo, E. Correa, J. Espino, L. Chocano, G. Trevejo, A.M. Cortijo y R. Quishpe. 2011. Lista anotada de los Peces de Aguas Continentales del Perú. Estado Actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación. Universidad Mayor San Marcos de Lima- Ministerio del Ambiente. 37 pp.
- Ocaño-Higuera, V. M., Maeda-Martínez, A. N., Lugo-Sánchez, M. E., & Pacheco Aguilar, R. 2006. Postmortem biochemical and textural changes in the adductor muscle of catarina scallop stored at 0 C. Journal of Food Biochemistry, 30(4): 373–389
- Ono, E. A.; Halverson, M. R.; Kubitza. 2004. F. Pirarucu, o gigante esquecido. Revista Panorama de Acuicultura. 14(81):14-25.
- Ofstad R, Olsen RL, Taylor R, Hannesson KO. 2006 Breakdown of intramuscular connective tissue in cod (*Gadus morhua* L.) and spotted wolffish (*Anarhichas minor* O.) related to gaping. LWT - Food Science and Technology.
- Ovchynnyk, M. 1967. Freshwater fishes of Ecuador. Latin American Studies Center. Michigan State University Monograph. Series 1:1-44.
- Pardo-Carrasco S, Atencio V, Arias A. 1995 Contribución al conocimiento del aparato circulatorio de la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). Rev Asoc Col Ict;3:63-68.
- Pereira-Filho, M.; Caveiro, B. A. S.; Roubach, R.; Ituassu, D. R.; Gandra, A. L.; Crecêncio, R. 2002 Resultados preliminares da engorda do pirarucu (*Arapaima gigas*) em viveiro escavado. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Aquicultura, Goiânia. 18p.
- Prada S. 1987. Acercamientos etnopiscícolas con los indios Ticuna del Parque Nacional Natural Amacayacu. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. (PDF) Peces de la Cuenca del Río Amazonas en Colombia: Región de Leticia.
- Prieto, E. 2000. Estudio ictiológico de un caño de aguas negras de la Amazonia Colombiana, Leticia. Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 98 pp.
- Ramírez, A. 1986. Estudio sobre las capturas realizadas en la época seca de 1984 en la desembocadura de la quebrada Mata-Mata al río Amazonas, contemplando algunos aspectos ecológicos y taxonómicos. Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ravelo, C. U. y D. A. Conroy. 1994. Estudio sobre la enfermedad columnaris en cultivo de cachama, *Colossoma macropomum*, en jaulas flotantes. I. Caracterización de la enfermedad y su agente etiológico. Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Acuicultura. Santa Fe de Bogotá, Colombia. pp. 336-346.
- Rebaza, M; Alcántara, F; Valdiviezo, M. 1999. Manual de piscicultura del paiche. Caracas, Venezuela: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), FAO, Secretaria Pro Tempore Venezuela. 35 p.
- Reddy N, Schreiber C, Buzard K, Skinner G, Armstrong D. 1994. Shelf Life of Fresh Tilapia Packaged in High Barrier Film with Modified Atmospheres. J. Food Sci. 59(2):260-264.
- Reis, R.E., Kullander, S.O. & Ferraris, C.J. 2003. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Edipucrs, Porto Alegre
- Retana, O. 2004. Principios de Taxonomía Zoológica Chinanteca: Aves. Etnobiología 4: 29-40.
- Ribeiro, Marco Tulio, Singh, Sameer, and Guestrin, Carlos. “why should I trust you?”: Explaining the predictions of any classifier. In Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), 2016.
- Rodríguez, F. 1992. Estudio de procesamiento de Liza (*Mugil cephalus*) en forma de Ahumado en Frio. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. UNALM
- Salas, A. y Barriga, M. 2004. Aspectos Bioquímicos y cambios post mortem del filete de paiche (*Arapaima gigas*) almacenado en hielo.

- Saint-Paul, U. 1986 Potencial for aquaculture of south American freshwater fishes; a review. *Aquaculture Amsterdam*, 54:205-240.
- Santos M. 2000 Aspectos ecológicos de la fauna ícticadominante en la laguna Yahuaraca (Amazonía colombiana). Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá
- Sato, K., Ando, M., Kubota, S., Origasa, K., Kawase, H., Toyohara, H., Sakaguchi, M., Nakagawa, T., Makinodan, Y., Ohtsuki, K., and Kawabata, M. 1997 Involvement of type V collagen in softening of fish muscle during short-term chilled storage. *J. Agric. Food Chem.* 45: 343-348.
- Seixas, C. y A. Begossi. 2001. Ethnozoology of fishing communities from Ilha Grande (Atlantic Forest Coast, Brazil). *Journal of Ethnobiology* 21(1): 107-135.
- Silvano, R. A. y A. Begossi. 2002. Ethnoichthyology and fish conservation in the Piracicaba River (Brasil). *Journal of Ethnobiology* 22(2): 285-306
- Siren. 2015. *amazonía ecuatoriana. COPESCAL Documento Ocasional* (FAO). (Issue January 2011). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1011.7287>
- Shigemura, Y., M. Ando, Y. Tsukamasa, Y. Makinodan y T. Kawai. 2003. Correlation of type V collagen content with post-mortem softening of fish meat during chilled storage. *Fisheries Sci.* 69(4), 842-848. Doi: 10.1046/j.1444-2906.2003.00696
- Suarez H, Pardo C, Cortés M, Ricaurte C, Rojano, B. 2009. Evaluación de nueva tecnología para mitigar las espinas intramusculares en filetes de cachama *piaractus brachypomus* (pisces: characidae).
- San Román, J.V. 1994. Perfiles Históricos de la Amazonía Peruana. Rodríguez, M. ; García, J. (editores). Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía/Centro Amazónico de Antropología y Aplicación Práctica/Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 281pp.
- Santos U. DE M. Y M. DE G. Ribeiro. 1988. A Hidroquímica do rio Solimões - Amazonas. *Acta Amazonica*, 18 (3-4): 145-172.
- Santos, M. 2000. Aspectos ecológicos de la fauna íctica dominante en la laguna de Yaguaraca, Leticia, Amazonia Colombiana. Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 99 pp.
- Santos-Fita, D., E. Costa-Neto y E. Cano-Contreras. 2009. El quehacer de la Etnozoología. Manual de Etnozoología. Tundra Ediciones, Valencia.
- Seideman, S. C., Cross, H. R., Smith, G. C., & Durland, P. R. 1984. Factors Associated With Fresh Meat Color: a Review. *Journal of Food Quality*, 6(3), 211-237. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1984.tb00826.x>
- Sioli, H 1975. Amazon tributaries and drainage basins. *Ecol. Stud.*, 10: 199-213.
- Sioli, H. 1984. The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin, Dr. W.Junk Pub. Dordrecht, 763 pp.
- Tomlinson N., Geiger S.E. 1962. Glycogen concentration and post mortem loss of adenosine triphosphate in fish and mammalian skeletal muscle. A review. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 19:997-1003. <https://doi.org/10.1139/f62-064> USFDA Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. <http://www.fda.gov/seafood>
- Torres, J., O. Castillo, G. Cortéz, J. Bravo y M. Fontaine. 2002. Prevalencia de tremátodos monogénicos branquiales en cachamas *Colossoma macropomum* de la Estación Piscícola Papelón. VI Congreso Venezolano de Acuicultura. San Cristóbal, Venezuela. Resúmenes. p. 51.
- Toyohara, H. and Shimizu, Y. 1988 Relation of the rigor mortis of fish body and the texture of the muscle. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 54: 1795-1798
- Vari, R.P. 1989. Systematics of the neotropical characiform genus *Pseudocurimata* Fernández-Yépez (Pisces: Ostariophysi) *Smithsonian Contributions to Zoology* 490: 1-28.
- Val, A. Y V. Almeida-Val. 1995. Fishes of the Amazon and their environment. Physiological and biochemical aspect. Springer-Verlag, Berlin, 223 pp.
- Vari, R.P., C.J. Ferraris Jr. y M.C.C. de Pinna, 2005. The neotropical whale catfishes (Siluriformes: Cetopsidae: Cetopsinae), a revisionary study. *Neotrop. Ichthyol.* 3(2):127-238.
- Verrez-Bagnis V, Noel J, Sautereau C, Fleurence J. Desmin. 1999. Degradation in Postmortem Fish Muscle. *Journal of Food Science*.
- Viana, A. P. ; Inhamuns, A. J. ; Oliveira, P. R. de ; Souza, L. C. 2018 Effect of modified atmosphere packaging on *Brycon amazonicus* conservation. *Boletim do Instituto de Pesca, [S.l.]*, v. 42(1):17-28.
- Viegas, O., et al. 2012 Inhibitory Effect of Antioxidant-Rich Marinades on the Formation of Heterocyclic Aromatic Amines in Pan-Fried Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 6235-6240. <http://dx.doi.org/10.1021/jf302227b>