

COVER PAGE IN ENGLISH

(solo para artículos en español, portugués o francés)

Effect of functional ice formulation on the quality and shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored under refrigerated conditions

Genaro Christian Pesantes Arriola¹; Jacqueline Roxana Reaño Rivera²; Bertha Milagros Villalobos Meneses³; Víctor Alexis Higinio Rubio⁴; Guisella Magaly Orellana Berrocal⁵; Lucy Emilia Torres Carrera⁶; Jorge Anastacio Pedro Paucar Luna⁷

^{1,2,3,4,5,6}Universidad Nacional del Callao, Perú, gcpesantesa@unac.edu.pe, jrreanor@unac.edu.pe, bmvillalobosm@unac.edu.pe, vahiginior@unac.edu.pe, gmorellanab@unac.edu.pe, letorresc@unac.edu.pe,

⁷Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, jpaucarl@unmsm.edu.pe

Abstract– The aim of this study was to evaluate the effect of functional ice formulation on the quality and shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored under refrigerated conditions (1–4 °C). A completely randomized design was employed, considering the concentration of peracetic acid (PAA) incorporated into the functional ice as the main source of variability, in addition to experimental error. The response variables included sensory, physicochemical, and microbiological quality, as well as the shelf life of the trout fillets during refrigerated storage. The results indicated that there was no significant interaction between PAA concentration and storage time. Physicochemical quality was assessed through pH and water-holding capacity (WHC), while microbiological quality was evaluated by enumerating aerobic mesophilic bacteria at 30 °C and detecting *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae*, and *Vibrio vulnificus*. Sensory quality was determined using a trained panel of six judges and the Quality Index Method (QIM), in which values close to zero represent characteristics of a fresh product, whereas the maximum score of 40 indicates advanced deterioration. A total of 72 trout were eviscerated and placed in insulated containers with approximately 5 cm layers of functional ice formulated with PAA concentrations of 100, 125, and 150 ppm, maintaining a fish-to-ice ratio of 3:1. The samples were transported to the laboratory, stored under refrigerated conditions, and periodically evaluated on days 0, 4, 6, 8, and 10. The results showed that microbiological parameters remained below the maximum permissible limits established by NTS No. 071-MINSA/DIGESA (2008). Regarding physicochemical and sensory quality, the maximum values recorded after ten days of storage were 6.82 for pH, 7.11 for WHC, and 12 for the QIM score, with no significant differences observed among the different functional ice formulations ($p = 0.05$). However, shelf life was primarily determined by sensory quality, following zero-order reaction kinetics, with estimated shelf lives of 15, 21, and 24 days for the formulations containing 100, 125, and 150 ppm of PAA, respectively. Finally, it was concluded that a functional ice formulation containing 100 ppm of peracetic acid is sufficient to maintain the freshness of rainbow trout stored under refrigerated conditions (1–4 °C).

Keywords– Rainbow trout, QIM scale, shelf life, functional ice

Efecto de la formulación de hielo funcional en la calidad y vida útil de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) conservadas a temperaturas de refrigeración

Genaro Christian Pesantes Arriola¹; Jacqueline Roxana Reaño Rivera²; Bertha Milagros Villalobos Meneses³; Víctor Alexis Higinio Rubio⁴; Guisella Magaly Orellana Berrocal⁵; Lucy Emilia Torres Carrera⁶; Jorge Anastasio Pedro Paucar Luna⁷

^{1,2,3,4,5,6}Universidad Nacional del Callao, Perú, gcpesantesa@unac.edu.pe, jrreanor@unac.edu.pe, bmvillalobosm@unac.edu.pe, vahiginior@unac.edu.pe, gmorellanab@unac.edu.pe, letorresc@unac.edu.pe, ⁷Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, jpaucarl@unmsm.edu.pe

Resumen– El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la formulación de hielo funcional en la calidad y vida útil de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) almacenadas bajo condiciones de refrigeración (1–4 °C). Se empleó un diseño completamente al azar, considerando como fuente de variabilidad la concentración de ácido peroxiacético (APA) incorporado en el hielo funcional, además del error experimental. Como variables respuesta se analizaron la calidad sensorial, fisicoquímica y microbiológica, así como la vida útil de los filetes durante el almacenamiento refrigerado. Los resultados indicaron que no existió interacción significativa entre la concentración de APA y el tiempo de almacenamiento. La calidad fisicoquímica se evaluó mediante la medición del pH y la capacidad de retención de agua (CRA), mientras que la calidad microbiológica se determinó a través del recuento de aerobios mesófilos a 30 °C y la detección de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio cholerae* y *Vibrio vulnificus*. La calidad sensorial se evaluó mediante un panel entrenado de seis jueces, utilizando el Método del Índice de Calidad (QUIM), en el cual valores cercanos a cero indican características propias de un producto fresco y un valor máximo de 40 representa un deterioro avanzado. Para el estudio se utilizaron 72 truchas, las cuales fueron evisceradas y acondicionadas en cajas térmicas con capas aproximadas de 5 cm de hielo funcional, formulado con concentraciones de 100, 125 y 150 ppm de APA, manteniendo una proporción pescado:hielo de 3:1. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio y almacenadas bajo refrigeración, realizándose evaluaciones periódicas a los 0, 4, 6, 8 y 10 días. Los resultados mostraron que los parámetros microbiológicos se mantuvieron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la NTS N.º 071-MINSA/DIGESA (2008). En cuanto a la calidad fisicoquímica y sensorial, los valores máximos registrados tras diez días de almacenamiento fueron 6,82 para el pH, 7,11 para la CRA y 12 para el índice QUIM, sin observarse diferencias significativas ($p = 0,05$) entre las distintas formulaciones de hielo funcional. No obstante, la vida útil de los filetes estuvo determinada por la calidad sensorial, siguiendo una cinética de orden cero, con tiempos estimados de 15, 21 y 24 días para las formulaciones con 100, 125 y 150 ppm de APA, respectivamente. Finalmente, se concluye que una formulación de hielo funcional con 100 ppm de ácido peroxiacético resulta suficiente para mantener la frescura de las truchas arco iris almacenadas en condiciones de refrigeración (1–4 °C).

Palabras clave– Trucha arco iris, escala QUIM, vida útil, hielo funcional.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura peruana es una de las actividades productivas que más se viene desarrollando en las últimas décadas, pasando de las 10 mil toneladas en el año 2003 a un poco más de 143 mil toneladas en el 2020, con un pico en el 2019 de un poco más de 161 toneladas. Estos niveles de crecimiento que podrían llegar a posicionar a la acuicultura peruana como una de las más importantes de la región si es que se atiende su problemática desde un punto de vista tecnológico, de mercado, logístico, de desarrollo de capacidades, créditos, calidad, etc. [1].

Las condiciones del país son favorables en cuanto a clima y posibilidad de adaptarse ante eventos climáticos, las tecnologías de cultivo existentes a nivel mundial permitirían afianzar y consolidar las cadenas productivas de las principales especies acuícolas cultivadas, asimismo la diversidad biológica e identificación de nuevas especies nativas marinas y continentales pueden contribuir con la diversificación de la acuicultura considerando su potencial de acceso al mercado y convertirse en importantes industrias; además la acuicultura es una actividad que genera alrededor de ella diversos servicios como son provisión de insumos, investigación y desarrollo, frío y procesamiento post cosecha, infraestructura y equipos, mejora de vías de comunicación, servicios de saneamiento y energía, entre otros que permiten el desarrollo rural territorial [2]. Sin embargo, al igual que el pescado obtenido a través de la pesca extractiva, la acuicultura no está exenta del peligro que implica el consumo de dichos productos para la salud humana.

Entre las especies de pescados más producidas en nuestro país podemos citar a la trucha arco iris, la tilapia y en menor proporción algunos peces amazónicos como paiche, paco, gamitana, boquichico, entre otros [3]. El pescado al ser un alimento altamente perecible se deteriora con facilidad debe

ser transportado y comercializado bajo condiciones de congelación y/o refrigeración; sin embargo, muchas veces en esta etapa en donde rompe la cadena de frío y todo el esfuerzo realizado en el cultivo del recurso se pierde por el simple hecho de que el producto no llega al cliente en condiciones de frescura al consumidor [4].

Las prácticas existentes de almacenamiento y transporte de productos hidrobiológicos dependen en gran medida del hielo como medio más factible para evitar el deterioro. Generalmente, el hielo se aplica en capas alternas a los pescados en proporciones de 3:1 (pescado:hielo) y, a medida que se funde, el hielo reduce la temperatura del producto y produce un efecto de lavado superficial desplazando así los microorganismos superficiales [5].

El hielo funcional se define como aquel hielo elaborado a partir de agua que ha sido sometida a diferentes tratamientos para asegurar su calidad sanitaria y la de los productos con los que entra en contacto. Entre los tratamientos más usuales se tienen el tratamiento con ozono, la electrólisis del agua, la activación del agua por plasma y la adición de compuestos antimicrobianos, siendo este tipo de tratamientos el que se viene estudiando con la adición de ácidos orgánicos y aceites esenciales de algunas especies vegetales [6].

El aceite esencial de plantas es bien conocido por su efecto conservante y tiene una importante actividad antimicrobiana, lo que es de gran importancia para resolver el creciente número de bacterias resistentes a los medicamentos e infecciones fúngicas en los alimentos [7]. Los ingredientes activos antibacterianos del aceite esencial de plantas incluyen terpenoides, compuestos aromáticos, compuestos alifáticos, compuestos de nitrógeno y azufre, etc., que tienen un buen efecto inhibitorio sobre bacterias, levaduras y mohos. Generalmente, los mecanismos de esterilización del aceite esencial de plantas se pueden dividir en los siguientes puntos: (1) comprometer la función de la pared y membrana celular; (2) desestabilizar la capa lipídica; (3) inhibir la síntesis de proteínas y ADN; (4) interferir en el metabolismo energético y (5) oxidación celular [8].

Además del aceite esencial, en algunos estudios también se ha mencionado el empleo de otros compuestos antimicrobianos en la elaboración de hielo funcional. En un estudio anterior, prepararon hielo a partir de una mezcla de tripolifosfato de sodio (STPP) y lactato de sodio-diacetato de sodio (SL-SD) en diferentes proporciones y se aplicó para eliminar los microorganismos patógenos en la carne cruda de muslo de ave. Los resultados indicaron que el contenido de *S. Typhimurium* en la carne de muslo tratada con hielo con 5% STPP y 2,5% SL-SD fue significativamente menor que el del grupo control ($P < 0,05$) después de 48 h de almacenamiento [8]. Además, la carne de muslo tratada con hielo funcional presentó las ventajas de altos rendimientos, baja pérdida de cocción y una vida útil prolongada de 1 a 2 días, sin ningún

cambio de color. Por otro lado, se ha informado que el hielo elaborado con hielo de ácido peracético inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos y de deterioro, y se ha aplicado para la conservación de productos avícolas comerciales. Sin embargo, la calidad de los alimentos podría verse comprometida por el ácido peracético [9].

El concepto de calidad ha evolucionado en los últimos decenios y ha adquirido a los ojos de la sociedad un extraordinario protagonismo. En un contexto económico caracterizado por la saturación de los mercados de países desarrollados, la calidad es un elemento básico en la estrategia empresarial y un elemento determinante de la elección de los consumidores. Se pueden encontrar múltiples definiciones del término calidad, dependiendo del ámbito de aplicación. En el dominio de la producción, comercio y venta, se ha definido como conformidad con las especificaciones. La mayor objeción a esta propuesta se refiere a que las especificaciones no son siempre lo que el cliente demanda. Otra definición hace referencia al conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confiere una aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas (aptitud para el uso o consumo) o, expresado de otra manera, la calidad se basaría en la adecuación a unas especificaciones impuestas para un uso o consumo determinado [10]. La calidad del producto sería un concepto variable basado en atributos y vendría determinada por el grado de adecuación para usos o consumos concretos. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO) la calidad es la capacidad de un producto o servicio de satisfacer las necesidades declaradas o implícitas del consumidor a través de sus propiedades o características. De esta manera, la adecuación es definida por el usuario o consumidor.

Otro concepto incluye un modelo multidimensional de la calidad: ésta tiene varios componentes, que pueden ser medidos y clasificados jerárquicamente según su impacto sobre la satisfacción del cliente [11]. Un componente serían los aspectos básicos o ineludibles, sin los cuales el producto no es aceptado. Otro lo compondrían los aspectos de sorpresa, necesidades que el consumidor no espera o percibe a priori pero que finalmente aprecia. Otro componente, definido como “más es mejor”, incluye atributos lineales y escalables que satisfacen en mayor o menor grado necesidades conocidas. Este modelo incluye los aspectos (necesidades, usos) no esperados por el cliente, y además permite diferenciar y jerarquizar los tipos de calidad ya que, como veremos, las necesidades de los consumidores son distintas y varían según los grupos en que éstos pueden ser clasificados. Por otra parte, el alimento puede ser descrito mediante una serie de parámetros o variables (físicas, químicas, microbiológicas) que se transforman en atributos de calidad por la percepción y preferencias de un usuario (productor, industrial, inspector, consumidor). Los valores que deben alcanzar los atributos para que la adecuación sea positiva se denominan especificaciones de calidad. Para la industria alimentaria es de

gran importancia entender la relación existente entre las propiedades y los atributos de calidad percibidos. Un conocimiento adecuado de estas propiedades permitiría incorporar al producto final los atributos de calidad deseados mediante la gestión de los procesos a lo largo de la cadena alimentaria [12].

Entre los diferentes tipos de calidad en alimentos se encuentran la calidad higiénica y sanitaria, la bromatológica (que incluye sus propiedades nutritivas y de composición), la sensorial u organoléptica, la tecnológica, la ética (denominada también emocional), la calidad de uso (practicabilidad) y la relacionada con aspectos de salud. Cada uno de estos tipos puede a su vez descomponerse en una suma de atributos.

El pescado es un producto de origen animal muy susceptible al deterioro. Eso tiene lugar por la elevada actividad de agua en los tejidos, los altos tenores de nutrientes que son utilizados por los microorganismos, la rápida acción degradativas de las enzimas, el pH próximo a la neutralidad y la presencia de ácidos grasos insaturados fácilmente oxidables. Con el inicio de la degradación, el pescado se convierte en un medio de crecimiento para los microorganismos, alterando sus características fisicoquímicas y organolépticas [13]. Para asegurar la calidad del pescado es esencial considerar el trinomio tiempo – higiene – temperatura. El tiempo está directamente relacionado con la rapidez con que se inician las reacciones autolíticas y/o bacterianas. Esas reacciones están relacionadas con el grado de higiene de las instalaciones frigoríficas y de los manipuladores del pescado y a las bajas temperaturas, si son correctamente aplicadas, pueden evitar o desacelerar las reacciones de deterioro [2].

El comercio de productos hidrobiológicos se encuentra en una constante búsqueda de alternativas que le permitan ralentizar los cambios químicos o bioquímicos más comunes que conducen a la pérdida de frescura y descomposición de los productos. En ese sentido han empleado un sin número de compuestos naturales o sintéticos con la finalidad de alcanzar dicho objetivo, entre los más empleados se tienen los aceites esenciales y los desinfectantes [14]. El deterioro se produce por la formación de compuestos secundarios, algunos de ellos tóxicos, que afectan tanto las cualidades sensoriales, como nutricionales de los pescados y mariscos, este deterioro se puede percibir a través de la formación de olores y sabores rancios de los productos, y con ella la consiguiente disminución de la calidad nutricional y la seguridad alimentaria [15].

Entre los compuestos natural que más se están estudiando y empleando hoy en día son los aceites esenciales, los cuales gracias a sus propiedades como antibacterianos y antifúngicos permiten conservar la calidad e incrementar la vida útil de los alimentos. Además, al ser de origen natural, se considera que el empleo de los aceites esenciales y sus componentes encajan dentro de los nuevos patrones de consumo ya que son fáciles y

rápidos de usar, son de naturaleza biodegradable y están exentos de compuestos con efectos tóxicos [15].

En lo que respecta a los productos sintéticos, las mezclas de ácido peracético han sido aprobadas por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) como desinfectante en superficies de contacto con alimentos, para contacto directo con frutas, verduras, carnes, aves y mariscos. En la industria cárnica, se ha demostrado que los antimicrobianos como el cloro y el ácido peracético son muy eficaces para reducir a niveles aceptables de patógenos si es que se aplica directamente en la carne [16]. Existe una publicación (patente) sobre la aplicación de hielo con ácido peracético (PAA) para mejorar la inocuidad y la calidad de los mariscos y carnes. En dicha patente los investigadores usaron 25 ppm de hielo de PAA para almacenar camarones y proporcionaron cuatro puntos de datos y evaluaciones sensoriales de 10 personas para demostrar que el hielo de ácido peracético (PAA) es efectivo para mejorar la vida útil del camarón hasta 12 días [7]. En ese sentido, la presente investigación tuvo por objetivo determinar de qué manera la formulación de hielo funcional influye en la calidad y vida útil de truchas arco iris conservadas a temperaturas de refrigeración (1 – 4°C).

II. MATERIALES Y MÉTODO

A. Materias primas: las truchas arcoiris se obtuvieron de la piscigranja El Molino ubicada en el kilómetro 73 de la Carretera Huaral – Cerro de Pasco 20C, Atavillos Alto, Huaral. La población de truchas con la que se contaban en la piscigranja fue de 4000 unidades y para el cálculo del tamaño de la muestra se empleó la ecuación para poblaciones finitas [17], con lo que se obtuvo un total de 72 truchas, las mismas que fueron acondicionadas dentro de 3 cajas térmicas formando capas de aproximadamente 5 cm de hielo funcional con concentraciones de 100, 125 y 150 APA, en una proporción pescado:hielo de 3 a 1 para su traslado al laboratorio y posterior almacenamiento durante un período de 10 días, durante los cuales se realizó el monitoreo de su calidad.

B. Diseño de investigación: con el objetivo de determinar cambios significativos ($P=0,05$) en los parámetros y atributos de calidad de las truchas arcoiris durante su almacenamiento en hielo funcional con tres concentraciones de APA (100, 125 y 150 ppm) se empleó un diseño completo al azar (DCA) con tres repeticiones y se consideraron como fuentes de variabilidad la concentración del ácido peroxiacético en la formulación de hielo funcional, el tiempo de almacenamiento de las truchas en el hielo funcional y el error aleatorio (Tabla 1). Los resultados se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA), y la comparación de medias se realizó utilizando el P-valor del

modelo lineal $P < 0,05$. Para estos análisis se empleó el programa estadístico Minitab Statistical Software 21.1.

Tabla 1. Diseño Completo al Azar empleado en la investigación.

Concentración del ácido peroxiacético (APA)	Tiempo de almacenamiento (horas)			
	0	3	6	9
Control	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}
100	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}
125	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}
150	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}

C. *Calidad Sanitaria*: una vez llegadas las muestras de truchas al laboratorio se realizó la evaluación de la calidad de las truchas arcoíris utilizando métodos de ensayo internacionales específicos para cada parámetro o atributo de calidad. pH: método NMX-F-317-NORMEX-2013, Capacidad de Retención de Agua (CRA): método basado en la medida del agua expulsada por la muestra al aplicarle una presión elevada por medio de dos placas de vidrio o metacrilato [18]; frescura sensorial: método del índice de calidad (QUIM); Aerobios Mesófilos a 30°C: método ISO 4833-1:2013 / Amd. 1: 2022; *Escherichia coli*: método ISO 7251:2005/Amd 1:2023; *Staphylococcus aureus*: método ISO 6888-1:2021 Adm.1:2023; *Salmonella spp*: método ISO 6579-1:2017 /AMD 1:2020; *Vibrio cholerae*: método ISO 21872-1:2017 /AMD1:202; y *Vibrio parahaemolyticus*: método FDA /BAM Online 8th Ed. Rev. A / 1998. May 2004.

D. *Vida útil*: para la estimación de la vida útil se repitieron los mismos ensayos de evaluación de la calidad a los 4, 6, 8 y 10 días de almacenamiento de las truchas en hielo funcional. Para ello se empleó el modelo de degradación cinética de muestras almacenadas refrigeración en tiempo real, considerando como criterios de falla fisicoquímicos un pH = 7 y una CRA mínima = 45% [19], un valor de 18 en la escala QUIM para la frescura/calidad sensorial [20] y los valores máximos establecidos para los parámetros microbiológicos en la NTS N° 071-2008 DIGESA/MINSA. La evaluación de la calidad sensorial fue desarrollada por un panel sensorial conformado por 6 jueces entrenados de un laboratorio de ensayos con acreditación en la norma ISO 17025-2017.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. *Calidad sanitaria*: como se muestra en la figura 1, el pH muestra un incremento del pH desde un valor más bajo de 6.65, antes de la conservación con hielo funcional, hasta un valor más alto 6.81 obtenido a los 10 días de

almacenamiento con hielo funcional con una concentración de 100 ppm de hielo funcional.

Tabla 1:

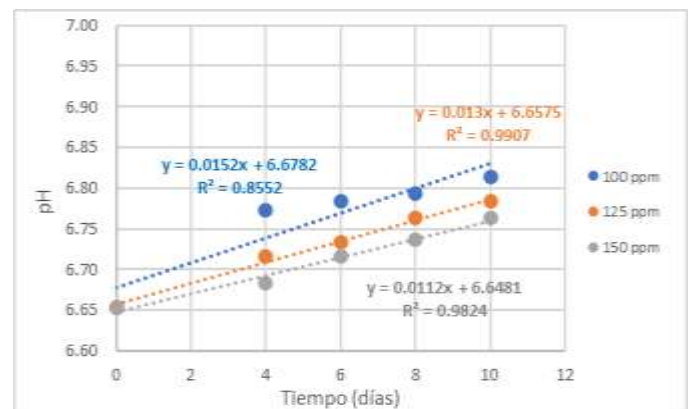
Calidad fisicoquímica de truchas conservadas durante 10 días en hielo funcional

Tiempo (días)	Parámetro de calidad	Calidad fisicoquímica de trucha arco iris conservados con hielo funcional al:								
		T ₁ : 100 ppm de APA			T ₂ : 125 ppm de APA			T ₃ : 150 ppm de APA		
0	pH	6.65	6.66	6.65	6.65	6.66	6.65	6.65	6.66	6.65
	CRA	54.81	54.52	55.11	54.81	54.52	55.11	54.81	54.52	55.11
4	pH	6.77	6.78	6.77	6.71	6.71	6.73	6.68	6.69	6.68
	CRA	55.65	55.62	55.70	55.45	55.42	55.50	55.35	55.22	55.40
6	pH	6.79	6.78	6.78	6.73	6.74	6.73	6.71	6.72	6.72
	CRA	56.28	56.36	56.32	56.10	56.15	56.20	55.47	55.36	55.55
8	pH	6.80	6.79	6.79	6.77	6.76	6.76	6.74	6.74	6.73
	CRA	56.59	56.58	56.65	56.43	56.38	56.45	55.59	55.58	56.15
10	pH	6.82	6.81	6.81	6.82	6.81	6.81	6.82	6.81	6.81
	CRA	57.04	57.11	57.09	56.96	56.85	56.88	55.72	55.80	55.79

El pH de los peces es un parámetro importante de calidad fisicoquímica, ya que los incrementos de pH del músculo de los peces durante el almacenamiento pueden atribuirse al crecimiento de bacterias en descomposición y a la acumulación de compuestos alcalinos debido a la descomposición de proteínas y la posterior descarboxilación de aminoácidos producidos, como los compuestos de amoníaco (como TMA) [21].

Figura 1

Evolución del pH de músculos de truchas arco iris conservadas con hielo funcional

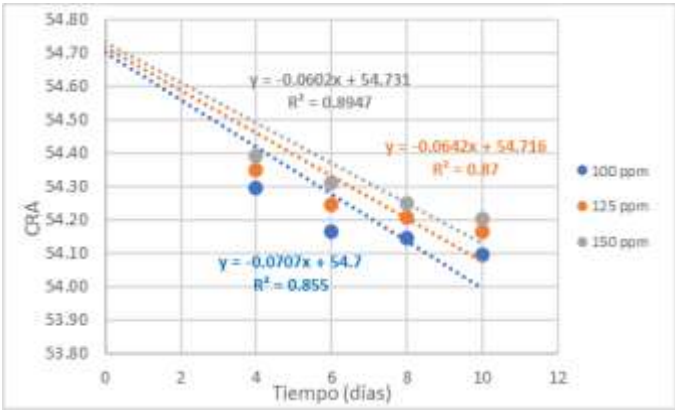


Aunque no se encontraron diferencias significativas (P -value = 0,05) en el pH durante 10 días de almacenamiento en refrigeración sobre camas de hielo funcional al 100, 125 y 150 ppm de APA, es normal que en el pescado se produzca un ligero incremento del valor

del pH durante el almacenamiento, esto como consecuencia de la acumulación de compuestos nitrogenados derivados de la autólisis y la degradación bacteriana (Garrido *et al.*, 2016). Los valores promedio de pH mínimo (6,65) y máximo (6,81) observados son muy similares a los reportados por Urch (1993), Jay (1994) quienes sostienen que el pH del músculo de todos los pescados inmediatamente después de su muerte varía entre 6,6 y 6,8; y a los 6,3 y 6,6 mencionados por Navarro (2020) y por Prieto (1998) en truchas arco iris provenientes de granjas con sistema de producción de corriente rápida.

En la figura 2 se observa que, en lo referente a la capacidad de retención de agua se observa un también un incremento desde un valor inicial promedio de 54.81% al antes de la conservación con hielo funcional hasta un valor final promedio de 57.08% a los 10 días de almacenamiento en hielo funcional a una concentración de 100 ppm. Estos resultados confirman que la pérdida de calidad de las truchas conservadas en refrigeración se debe principalmente a cambios sensoriales que limitan la aceptabilidad de las truchas que a cambios en el pH o a la pérdida de capacidad de retención de agua.

Figura 2
Evolución de la CRA de músculos de trucha arco iris conservadas con hielo funcional



La CRA se relaciona con los cambios autolíticos que tienen lugar en el músculo cárnica generan la hidrólisis del glucógeno y producen alteraciones en las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas, lo que da lugar a una disminución de la capacidad de ligar agua del músculo y tiene consecuencias sobre la textura y la apariencia (Navarro, 2020). Los valores de CRA promedio observada para las truchas conservadas con tres concentraciones de APA osciló entre 54,52 a 57,11, cifras muy similares a las reportados por García et al (2004) 53,79; 55,67 y 55,92 para truchas de rangos de

peso entre 69,21 a 479,50 g; y muy por encima al valor medio (47,77%) reportado por Prieto (1998) para truchas arco iris de más de 250 gramos, lo cual indica una mejor cualidad tecnológica dado el incremento en su CRA.

La tabla 3 muestra que los filetes de trucha arco iris presentaron una carga inicial baja $1,8 \times 10^3$ UFC/g de mesófilos aerobios y ausencia de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*, *Vibrio cholerae* y *Vibrio parahaemolyticus*.

Tabla 3:
Resultados microbiológicos de truchas arco iris conservados en hielo funcional

Concentración de 100 ppm de APA						
Parámetro	Unidad	Días de almacenamiento de las truchas en condiciones de refrigeración con hielo funcional				
		0	4	6	8	10
Mesófilos aerobios	UFC/g	$1,8 \times 10^3$	$1,2 \times 10^2$	<10	<10	<10
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/Ausencia en 25 g	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Concentración de 125 ppm de APA						
Parámetro	Unidad	Días de almacenamiento de las truchas en condiciones de refrigeración con hielo funcional				
		0	4	6	8	10
Mesófilos aerobios	UFC/g	$1,8 \times 10^3$	$9,0 \times 10$	<10	<10	<10
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/Ausencia en 25 g	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Concentración de 150 ppm de APA						
Parámetro	Unidad	Días de almacenamiento de las truchas en condiciones de refrigeración con hielo funcional				
		0	4	6	8	10
Mesófilos aerobios	UFC/g	$1,8 \times 10^3$	$4,2 \times 10$	<10	<10	<10
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/Ausencia en 25 g	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

En la calidad microbiológica, no se observó crecimiento de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y presencia de *Salmonella spp*, *Vibrio cholerae* y *Vibrio parahaemolyticus* en las truchas conservadas con hielo funcional con diferentes concentraciones de APA. Los mesófilos aerobios alcanzaron recuentos iniciales de 1800 UFC/g; sin embargo, después de 4 días de

almacenamiento estas experimentaron una reducción aproximada de un ciclo logarítmico, llegando a obtener valores <10 UFC/g a los 6 días. Esto presumiblemente se debería a la capacidad oxidante del APA sobre los grupos tiol de proteínas, enzimas y otros metabolitos, provocando la pérdida de funcionalidad de estas macromoléculas, lo cual trae como consecuencia la ruptura de las células microbianas por falla de la membrana citoplasmática [22].

La calidad sensorial alcanzó valores entre 7 y 12 en la escala QUIM para concentraciones de APA de 150 y 100 ppm de APA en el hielo funcional empleado para la conservación de las truchas. Los principales cambios sensoriales que tuvieron lugar en las truchas almacenadas en hielo estuvieron relacionados con su apariencia general, algunos pescados presentaron una piel integra con pigmentación gris e iridiscencia (tabla 4).

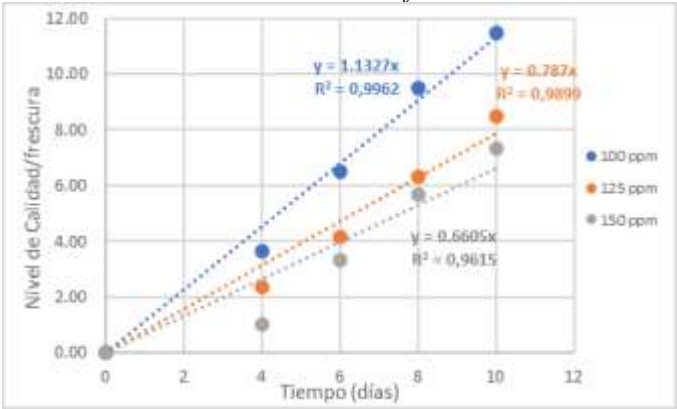
Tabla 4:
Resultados de la evaluación sensorial (frescura/calidad) de la trucha arco iris

Tiempo (días)	Calidad Sensorial de la trucha arco iris conservadas con hielo funcional al:					
	T1: 100 ppm de APA		T2: 125 ppm de APA		T3: 150 ppm de APA	
0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
4	3	4	2	3	1	1
	4	3	2	2	1	1
	4	4	3	2	1	1
6	6	6	4	4	3	3
	7	7	4	5	3	4
	6	7	4	4	4	3
8	9	9	6	6	6	5
	10	10	7	6	6	6
	10	9	7	6	5	6
10	11	11	8	9	7	8
	12	11	8	9	8	7
	12	12	9	8	8	7

En la figura 3 se observa que, a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento hacia el día 10, la piel se tornó grisácea con manchas rosadas en la zona dorsal, paralelamente se evidenció un cambio en la firmeza de la región dorsal y abdominal. Todas las truchas presentaron ojos convexos con córnea transparente y pupila circular negra brillante, indicativos de frescura al igual que branquias rojo oscuro con escaso mucus y olor a algas marinas. Esto concuerda con lo reportado por otros autores, quienes sostienen que para la merluza almacenada en hielo en escamas el índice de calidad (QI) aumenta linealmente con el tiempo siguiendo un modelo lineal $QI = 0,73X + 4,50$ ($R^2 = 0,91$) mientras que los modelos observados en este estudio para truchas almacenadas en hielo funcional con concentraciones de 100, 125 y 150 ppm de APA fueron $QI = 1,1327X$ ($R^2 = 0,9962$); $QI = 0,787X$ ($R^2 = 0,9899$) y $QI = 0,6605X$ ($R^2 = 0,9615$), respectivamente, observándose que las pendientes de estas ecuaciones fueron disminuyendo a medida que se incrementa la concentración de APA en el hielo funcional y que los coeficientes de correlación son

altos, lo cual sugiere que dichos índice podrían utilizarse como un sistema de valoración objetivo de calidad de la trucha [20].

Figura 3
Evolución de la calidad sensorial (calidad/frescura) de la trucha arco iris conservadas en hielo funcional



B. *Vida útil*: en la tabla 5, se observa que la vida útil de las truchas conservadas sobre camas de hielo funcional fueron 15, 21 y 24 días para truchas conservadas sobre hielo con concentraciones de APA de 100, 125 y 150 ppm, respectivamente. Estos valores se encuentra por encima a los 8 – 9 días reportados para truchas conservadas en condiciones de refrigeración [19] y, bastante cercanos a los 18 días señalados para merluza almacenada sobre escamas de hielo [20], 17 días indicados para truchas almacenadas enfriadas en hielo [23] y, a los 18 días para el abadejo, 15 días para el bacalao, 15 días para el eglefino, 18 días para la gallineta nórdica, 15 días para el lenguado, 14 días para el rémol, 15 días para el rodaballo, 20 días para el salmón del acuicultura y 13 días para la solla, conservadas sobre cama de hielo [24]. Además, se puede observar que los valores de vida útil estimados en el presente estudio para las truchas conservadas en hielo funcional con una concentración de 125 y 150 APA son mayores a los establecidos en las referencias, lo cual destaca la potencial actividad antimicrobiana para controlar los patógenos de los peces en la acuicultura a bajas temperaturas [25, 26, 27].

Tabla 5
Efecto del factor de la concentración del APA en la formulación del hielo funcional sobre la vida útil de truchas arco iris durante el almacenamiento a temperaturas de refrigeración (1 a 4°C)

Parámetro	Hielo funcional con concentraciones de APA de		
	100 ppm	125 ppm	150 ppm

IV. CONCLUSIONES

Este estudio demostró que existe diferencia significativa en la vida útil de las truchas arcoiris almacenadas en condiciones de refrigeración (1-4°C) empleando hielo funcional con adición de APA fue de 15, 21 y 24 días para las concentraciones de 100, 125 y 150 ppm, respectivamente. El monitoreo de los parámetros/atributos de calidad estableció que los parámetros que delimitan la vida útil de las mismas son el pH y CRA. Finalmente, se observó que, empleando concentraciones mayores a 125 ppm de APA, es posible extender significativamente (p-valor = 0,05) la vida útil de las truchas (hasta 6 días), en comparación con muestras similares almacenadas en hielo de fabricación convencional.

V. AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Queremos agradecer a la piscigranja El Molino por la información brindada y las facilidades para la toma de muestra de las truchas y su acondicionamiento; al Laboratorio Certificaciones Alimentarias, Hidrobiológicas y Medioambientales S.A.C. por facilitarnos sus instalaciones y a su panel sensorial entrenado para la ejecución de los ensayos y al Fondo Especial de Desarrollo Universitario de la UNAC por el apoyo económico.

VI. REFERENCES

- [1] Sociedad Nacional de Pesquería (SNP), (2024). Acuicultura. Lima. [Citado domingo 8 de septiembre de 2024]. <https://snp.org.pe/acuicultura/>.
- [2] Mendoza, D; Berger, C. y Berger, K. (2016). Acuicultura Peruana – una mirada al 2025. Lima. [Citado domingo 8 de septiembre de 2024]. https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/rediccan/docs/Acuicultura%20Peruana%20%20Una%20Mirada%20al%202025.pdf
- [3] Fundación para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (2024). Perú. Texto de Soto Cárdenas, GI. En: Pesca y acuicultura. Roma. [Citado domingo 8 de septiembre de 2024]. <https://www.fao.org/fishery/es/countrysector/pe/es>
- [4] Shawyer, M. y Medina, A. (2005). *El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca*. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- [5] Oetterer, M., Savay-da-Silva, L., & Galvão, J. (2012). Uso do gelo é peça chave na conservação do pescado. *Visão Agrícola*, 8 (11), 134-136.
- [6] Ning Wang, Yeru Wang, Li Bai, Xinyu Liao, Donghong Liu, Tian Ding. (2023). Advances in strategies to assure the microbial safety of food-associated ice, *Journal of Future Foods*, 3 (2), 115-126. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.12.003
- [7] Madrid, A. (2017). *Efecto del uso de hielo funcional en el crecimiento de microorganismos indicadores durante el almacenamiento de pechugas de pollo con piel*, [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano].
- [8] Kataria J, Garner LJ, Monu EA, Wang Y, Morey A (2020) Investigating the effects of Functional Ice (FICE) on Salmonella-food safety, microbial spoilage and quality of raw poultry thigh meat during refrigerated storage. *PLoS ONE* 15 (6):e0234781. DOI: 10.1371/journal.pone.0234781
- [9] Wú, B. (2020). *Application of Functional Ice (FICE) to Reduce the Incidence of Spoilage Microorganisms on the Surface of Shrimp, Tilapia, and Chicken*, [Tesis de Maestría, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano].
- [10] Wood, J. y Wood, M. (2005). *Joseph M. Juran: Evaluaciones críticas en los negocios y la gestión* (Vol. 1). Psychology Press.
- [11] Kano N, Seraku N, Takahashi F, Tsuji S (1996) *Attractive quality and must-be quality*. En *Hromi JD (Ed.) The Best on Quality*. Vol. 7. Book Series of the International Academy for Quality. ASQC Quality Press. Milwaukee, WI
- [12] Prieto, M.; Mouwen, J.; López, S., & Cerdeño, A. (2008). Concepto de calidad en la industria Agroalimentaria. *Interciencia*, 33(4), 258-264.
- [13] Tavares, J.; Martins, A.; Fidalgo, L.; Lima, V.; Amaral, R.; Pinto, C.; Silva, A. & Saraiva, J. (2021). Fresh fish degradation and advances in preservation using physical emerging technologies. *Foods* 10, 780
- [14] Kloucek, P., Smid, L., Frnakova, A. Kokoska, L, Valterova, I & Pavela, R. (2012). Fast screening method for assessment of antimicrobial activity of essential oils in vapor phase. *Food Research International*, 47 (2), pp. 161 – 165.
- [15] Alves, J., Dias, D., Pintado, M., Pérez, J. Fernández, J. & Viuda, M. (2013). Chemical composition and in vitro antimicrobial, antifungal and antioxidant properties of essential oils obtained from some herbs widely used in Portugal. *Food Control*, 32 (2), pp. 371 – 378. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.12.022
- [16] Bauermeister, L., Bowers, J., Townsend, J. & McKee, S. (2008). Validating the efficacy of peracetic acid mixture as an antimicrobial in poultry chillers. *Journal Food Protection* 71, pp. 119-122
- [17] Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7ma ed.). Editorial McGraw Hill
- [18] Hamm R. (1986). *Functional properties of the myofibrillar system and their measurements en Muscle as Food*. Ed. Academic Press, New York.
- [19] Navarro, L. (2020). *Optimización del envasado y conservación refrigerada de dorada (Sparus aurata) fresca de acuicultura, entera y fileteada*, [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena]. DOI: 10.31428/10317/9180
- [20] Escribano, E.; Massa, A.; Yeannes, M. (2015). Desarrollo del método del índice de calidad (QIM) para evaluar la frescura de la merluza común (*Merluccius hubbsi*) almacenada en hielo; *Publítec; La industria cárnica latinoamericana*; 197 (3), 48-54
- [21] Özyurt, G., Kuley, E., Balıkçı, E., Kaçar, C., Gökdogan, S., Etyemez, M. and Özogul, F. (2012). Effect of the icing with rosemary extract on the oxidative stability and biogenic amine formation in sardine (*Sardinella Aurita*) during chilled storage. *Food and Bioprocess Technology*. 5(7): 2777-2786. DOI: 10.1007/s11947-011-0586-7
- [22] Gómez, D. (2018). *Evaluación del ácido peracético y una mezcla de ácidos orgánicos como alternativas al hipoclorito de sodio en el proceso de sanitización de cilantro y cebolla*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional Unidad Querétaro].
- [23] Cyprian, O.; Sveinsdóttir, M.; Martinsdóttir, E. (2008). Application of Quality Index Method (QIM) scheme and effects of short-time temperatura abuse in shelf life study of fresh water artich char (*Salvelinus alpinus*). *J Food Prod. Technology*, 17, 303 - 321.
- [24] Martinsdóttir, E., Sveinsdóttir, K., Luten, J., Schelvis-Smit, R., Hyldig, G. (2004). La evaluación sensorial de la frescura del pescado, Manual de referencia para el sector pesquero. Pescado europeo QIM. <http://webs.ucm.es/BUCM/vet/doc/20700.pdf>
- [25] Kitis M. (2004). Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. *Environment International*. 30(1), 47–55. DOI: 10.1016/S0160-4120(03)00147-8.
- [26] Pedersen, L.; Pedersen, P.; Nielsen, J. & Nielsen. P. (2009). Peracetic acid degradation and effects on nitrification in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*. 296(3-4):246–254.
- [27] Sharma, N.; Bhardwaj, N. & Singh, R. (2020). Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A review. *Journal of Cleaner Production*. 256:120338.