



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“Efecto de la Aplicación de Hielo Fluido en Textura, Color y Retención de Agua Durante la Refrigeración de Trucha Arcoiris”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA

MARIO ROGELIO MARTÍNEZ HEREDIA

ASESORES:

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza

I.A Ricardo Moisés González Reza

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto de la aplicación de hielo fluido en textura, color y retención de agua durante la refrigeración de trucha arcoiris.

Que presenta el pasante: **Mario Rogelio Martínez Heredia**  
Con número de cuenta: **406019556** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Septiembre de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. María Guadalupe López Franco	
<b>VOCAL</b>	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
<b>SECRETARIO</b>	I.A. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.Q. Guillermo Martínez Morua	
<b>2do. SUPLENTE</b>	I.A. Arturo Munguia Sánchez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga

Este trabajo fue desarrollado gracias al apoyo financiero de los proyectos:

El proyecto PAPIIT, IT200814: “Desarrollo de sistemas nanopartículados alimenticios para incrementar la vida útil y nutraceútica de frutas frescas cortadas y bebidas de frutas” de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA–UNAM).

El proyecto PAPIME: PE206614 “Implementación y métodos de enseñanza para la aplicación de nanotecnología en la conservación de alimentos a bajas temperaturas sometidas a procesos térmicos y de transferencia de masa”, de la DGAPA–UNAM.

Doy gracias a Dios y a la vida por permitirme estar aquí, darme salud, inteligencia y fuerza para poder llamar a lo que vivo día a día una vida, una muy buena vida.

A mi Mamá por ser mi apoyo incondicional, mi motivación, la persona con la que platico, expreso mis frustraciones, alegrías, miedos y mis más grandes anhelos.

A mi papá por siempre apoyarme, motivarme e impulsarme a no conformarme, por sus grandes consejos que me han llenado de experiencia.

A mi hermana por estar siempre para mí, ser esa persona que me ayuda a dar más, ser la persona que veo y que como niño chiquito es la persona que admiro.

A Tona, Eder, Omar, Carlitos, Toto, Bobby (el muñe), que en todo momento han estado a su manera apoyándome, alentándome a que no hay límite, que cada fiesta, cada reunión decían alguna tontería para volverla una idea millonaria, que me decían que chef u otra cosa pero al final me volví ingeniero así que si se pudo.

A Raquel y Oscar que me han brindado su tiempo, su amistad, platicas en el café de horas o idas al bar donde me escucharon y aconsejaron durante tantos años en todas las buenas y malas

decisiones que tome, estuvieron brindándome su apoyo y sobre todo un oído donde desahogarme.

A la doctora Zambrano y Ricardo sin su apoyo paciencia este trabajo nunca hubiera podido llegar a la conclusión de esta etapa, solo me quedan palabras de agradecimiento por su apoyo y demostrarme que siempre que uno quiere todo se puede, pero lo que hicieron ustedes dos fue demostrarme lo magnifico que es un maestro gracias por todas sus enseñanzas.

A Vale que me ha dado su apoyo y distintas formas de ver las cosas, siempre dándome palabras de aliento y una sonrisa para enfrentar todo, siendo mi amiga, mi novia, compañera de vida, la pareja con la cual creceré y sobre todo una persona por la cual luchar y siempre querer ser la mejor versión, te amo mi vida!  
**SIEMPRE JUNTOS!!!!**

## Contenido

I. ANTECEDENTES .....	4
1.1 Trucha Arco iris .....	4
1.1.1 Técnicas de Conservación de Pescado .....	6
1.2 Hielo Fluido.....	9
1.2.1 Mezclas binarias.....	11
1.3 Emulsiones .....	12
1.3.1 Nanoemulsiones.....	14
1.3.2 Métodos de preparación de nanoemulsiones .....	15
1.4 Nanotecnología .....	16
II. METODOLOGIA.....	21
2.1 Objetivos.....	21
2.2 Justificación de Variables.....	22
2.3 Desarrollo Experimental.....	23
2.4 Análisis Experimental.....	28
III. Resultados.....	29
Conclusiones.....	48
Bibliografía.....	49

## Índice Tablas

<b>Tabla 1.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 2.....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 3.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 4.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 5.....</b>	<b>31</b>



## Índice de Figuras

<b>Figura 1.....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 2.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 7.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 8.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 10.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 11.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 12.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 13.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 14.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 15.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 16.....</b>	<b>47</b>

## I. ANTECEDENTES

### 1.1 Trucha Arco iris

La trucha arcoíris es un pez de agua dulce, que tiene gran importancia comercial: es nativa de norte América, es un pez de crecimiento rápido, resistente y tolerante a distintos ambientes y manipulación, también puede soportar variaciones de temperatura, aunque grandes variaciones de temperatura influyen considerablemente en el crecimiento y etapas de desarrollo hasta alcanzar la madurez de la misma, Es un alimento con alto contenido graso y proteico, en donde se hace énfasis en los ácidos grasos que son una fuente importante de Omegas, esto ha llevado a que se eleve el interés que se tiene por este pez. (FAO, 2005)

El cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en México se ha incrementado considerablemente en la última década ya que ha pasado de 97 toneladas en 1983 a 4 698 toneladas en 2008 (CONAPESCA, 2012; SAGARPA, 2012). La producción de trucha arcoíris se ha asociado principalmente a las regiones donde las condiciones climáticas y de los ecosistemas contribuyen al desarrollo del sector (FAO, 2005), principalmente en el Estado de México donde la producción anual promedio ha sido de 1,880 toneladas durante los últimos 12 años, convirtiéndolo en el principal productor nacional de trucha arcoíris con una participación del 52 % de la producción nacional. (SAGARPA, 2012)

En la Tabla 1, se muestra el nivel de producción en México de trucha donde los estados de mayor producción son el estado de México y Tamaulipas, también se ha vuelto a elevar la producción, la cual se redujo en el año 2007 y para el año 2010 se vuelve a incrementar a nivel nacional, en esta parte el estado de México tiene un 33.06% de la producción total.

**Tabla 1. SERIE HISTÓRICA DE LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA (PESO VIVO EN TONELADAS 2001-2010)**

Entidad	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Total</b>	6,332	7,099	7,727	9,289	7,963	6,829	6,137	6,878	7,969	9,212
<b>México</b>	1,745	2,014	2,177	3,119	2,289	2,580	2,827	3,003	3,713	3,046
<b>Tamaulipas</b>	1,222	1,496	1,894	2,189	2,065	1,035	1,053	1,197	1,186	1,407
<b>Durango</b>	240	202	168	152	160	232	160	213	758	1,182
<b>Puebla</b>	757	747	861	831	866	864	793	902	919	1,094
<b>Veracruz</b>	57	66	34	2	5	13	6	686	640	905
<b>Hidalgo</b>	226	218	186	104	84	121	118	141	272	737
<b>Michoacán</b>	107	104	192	249	285	342	248	450	337	473
<b>Chihuahua</b>	127	87	95	99	124	61	166	176	41	230
<b>Tabasco</b>	-	-	277	139	130	122	118	87	71	62
<b>Otras*</b>	1,850	2,167	1,843	2,405	1,954	1,460	647	24	32	75

CONAPESCA. Anuario Estadístico de Pesca 2003. Mazatlán, México. 2011

SAGARPA. Anuario Estadístico de Pesca. México. 2011. D.F.



Figura 1. Trucha arcoíris (FDA, 2015) La imagen muestra una trucha arcoíris, el tipo de pescado que fue usado durante la experimentación

Los pescados son conocidos por su alto contenido en componentes de la dieta diaria como proteína de alta calidad, vitaminas liposolubles así como omega 3 y ácidos grasos poliinsaturados que se ha asociado a diferentes efectos positivos sobre la salud (Ehsani,2012). La trucha arcoiris se vuelve de interés ya que tiene un aporte alto de todos esos contenidos y una tendencia creciente en su consumo, es por ello que la industria pesquera ha puesto interés en esta parte. La tabla 2 muestra el contenido en cada sección del pescado, es donde podemos observar los altos índices en proteína y contenido lipídico, debido a ello es un pescado de alto consumo, los ácidos grasos que incluye son de buena calidad, la tabla 2 también muestra los distintos tipos de criaderos usados flotantes y de cemento, donde las proporciones de la composición química que tienen una variación de 5%, en el caso de la experimentación las que fueron usadas son las de tanques de cemento.

Sistema Productivo	Coproducto	Humedad (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Ca (g/100g)	P (g/100g)	Energía bruta (kcal/kg)
Trucha en jaulas flotantes	Cabeza	64.60±0.67	15.62±.02	15.40±.57	4.22±.11	1.12±.02	.59±.01	2328±51
	Esqueleto <sup>1</sup>	62.20±2.03	18.03±.05	13.14±.03	6.18±.06	1.72±.08	.84±.03	2229±44
	Recortes	61.94±0.5	16.89±.10	17.51±.51	3.09±.12	.048±.02	.40±.01	2612±29
	CMS <sup>2</sup>	72.94±0.3	18.40±.04	7.62±.14	1.42±.01	.09±.00	.15±.00	1619±1
Trucha en tanques de cemento	Cabeza	64.54±0.27	13.29±.02	17.10±.17	4.68±.17	1.12±.01	1.26±.06	2344±8
	Esqueleto <sup>1</sup>	62.33±0.01	17.41±.00	14.35±.28	5.58±.23	1.73±.08	.80±.03	2325±4
	Recortes	65.58±.52	15.66±.04	14.67±.13	4.22±.07	1.25±.06	.56±.02	2195±25
	CMS <sup>2</sup>	72.14±.11	18.88±.05	8.10±.04	1.27±.03	.06±.00	.14±.00	1829±9

Tabla 2. Composición química de la trucha (Osorio et al, 2013)

### 1.1.1 Técnicas de Conservación de Pescado

Desde tiempo atrás, el consumo ha sido de vital importancia para todas las culturas, pero tiempo atrás no se tenían los medios de enfriamiento con los que se cuentan hoy en día, esto causo que se desarrollaran métodos de conservación de distintas formas, para así poder hacer uso en distintos tiempos del pescado alargando su tiempo de vida útil, tratando de evitar cambios indeseables en el pescado, así como degradaciones que no se conocían pero eran atribuidas.

En la conservación de pescado se pueden tener muchas técnicas, salado, congelado, refrigerado donde lleven un proceso de transformación pero antes de llegar a ese punto pasa por un proceso de pre enfriamiento: es de suma importancia en la industria pesquera, debido a las alteraciones que presentan los peces después de la captura, sufre cambios de rigor mortis y en este punto ya no es capaz de resistir el ataque microbiano, cambios enzimáticos o químicos. Debido a que los pescados frescos el caso de la trucha arcoíris son más susceptibles que la carne roja y pollo, esto se debe a la gran cantidad de aminoácidos y bases nitrogenadas volátiles y un pH final alto limitando el tiempo de vida de anaquel del producto, los cambios enzimáticos y químicos son usualmente responsables de la pérdida de frescura mientras que la actividad microbiológica es responsable de la descomposición subsecuente (Mexis et al, 2009). Esto conlleva a hacer un tratamiento para reducir el impacto de dichos efectos y pueda ser llevado a otro tipo de transformaciones para su posterior venta, pero si desde un inicio se tiene un proceso defectuoso abaratará el producto. Es por ello que se han buscado a lo largo de los años métodos para la mejor conservación del pescado, desde modificaciones en el uso de hielo hasta técnicas más elaboradas.

Uno de los preenfriamientos más estudiados es el hielo, desde tiempo atrás el uso de hielo (Frapeado, escamas o bloques) para la conservación del pescado es fundamental, hay varios estudios que ayudan a la determinación de estos efectos, por ejemplo:

La reducción de temperatura para reducir el crecimiento de patógenos y las reacciones enzimáticas que afectan a los cambios post-mortem que conlleva la matanza. El deshielo ayuda a la conservación de la humedad en el pescado, evitando pérdidas de peso aunque en este deshielo una de las desventajas más notorias es la pérdida de algunos pigmentos, nutrientes y algunas sustancias solubles. En la tabla 3 se muestran las características de los tipos de hielo usados, como son y que dimensiones tienen cuando se hace la conservación del pescado.

Tabla 3. Tipos y Características del hielo (FAO, 2005)

<b>Tipos</b>	<b>Dimensiones Aproximadas</b>	<b>Volumen Especifico (m<sup>3</sup>/t) (2)</b>	<b>Peso Especifico (t/m<sup>3</sup>)</b>
Escama	10/20 - 2/3 mm	2.2 -2.3	0.45-0.43
Hojuela	30/50 - 8/15 mm	1.7 - 1.8	0.59-0.55
Cilíndrico	50(D)- 10/12 mm	1.6 - 2.0	0.62-0.5
Bloque	Variable (3)	1.08	0.92
Bloque Troceado	Variable	1.4 - 1.5	0.71 -0.66

(1)Depende del ajuste y tipo de máquina de Hielo.

(2) Valores indicativos, es necesario determinarlos dependiendo el tipo de maquina usada.

(3) Usualmente bloques de 25 a 50 kg.

Dentro de este rubro los efectos negativos de un mal manejo antes del preenfriamiento si no se llevan a cabo, un desangrado de manera correcta, todo lo antes mencionado queda sin efecto, ya que después de la aplicación de un tratamiento ya sea preenfriamiento o congelación, las venas serán notorias bajando así su calidad, si hay un mal manejo del pescado puede aumentar la presión en él, y por último la reducción de temperatura tiene que ser lo más rápida posible después de la matanza, antes de que los efectos del rigor mortis hagan aparición, si hay un mal manejo se da pie a que haya rupturas en los filetes

En México se ha ido viendo el incremento paulatino de pescado y una de las especies que ha aumentado su producción es la trucha arcoíris, contiene ácidos grasos esenciales, así como proteínas que ayudan a la correcta alimentación, es aquí donde tenemos que poner atención, debido a que en la pesca se tienen perdida

de estos nutrimentos, es por ello que se buscan alternativas más allá del hielo en escama o frapeado que son las técnicas actuales de conservación del pescado. Hoy en día se buscan diferentes técnicas para reducir aún más las pérdidas que se tienen por los cambios, los daños post mortem que presenta el pescado son de vital importancia ya que hay un desarrollo de bacterias que dañan al pescado, es por eso que se tiene que emplear técnicas de conservación para mejorar la calidad del pescado (Losada et al, 2006) así mismo las manipulaciones que hay en el pescado, es por tal motivo que el hielo fluido toma vital importancia en este estudio.

## **1.2 Hielo Fluido**

La conservación de alimentos es algo que se ha estudiado desde años inmemorables debido a que la producción de alimentos a nivel mundial es de 5 billones de toneladas anuales, de las cuales 2 billones necesitan ser tratadas por algún proceso frigorífico, pero no todos los sistemas son adecuados, solo una parte de 400 millones es correctamente refrigerada haciendo que hay pérdidas multimillonarias en la rama de alimentos, esto ha llevado a los científicos a desarrollar nuevas tecnologías para mantener la calidad y la cantidad sea mayor de lo que es actualmente.

Hoy en día los consumidores quieren alimentos que tengan algún beneficio, que la alimentación no sea comer por la simple necesidad, buscan que sean más frescos, tengan menores pérdidas nutrimentales, bajo precio y sean accesibles. En este caso se encuentran los alimentos marinos, sin embargo el mantenimiento de la calidad no es fácil en estos productos, debido a que presentan cambios (post-mortem), por ello se hace mucho énfasis en encontrar el método de conservación adecuado a cada alimento, con la intención de disminuir las pérdidas económicas, nutrimentales y de calidad. Aquí es donde se han ido desarrollado nuevas tendencias en el enfriamiento de los alimentos, tratando de evitar los daños mecánicos que se originan en los alimentos para ofrecer la mejor calidad a la hora de llegar al

consumidor, las nuevas tecnologías de enfriamiento de alimentos marinos han logrado reducir las temperaturas por debajo de cero añadiendo sales y otros componentes a las mezclas agua-hielo (Piñeiro et al, 2004), a este proceso se le conoce como hielo fluido, pero el desarrollo de este método se atribuye a los rusos desde hace 80 años, pero el uso comercial y los principales son empresas de Canadá y Alemania (Egolf et al, 2005), aunque el uso de hielo fluido en un principio no se destinó para el enfriamiento de alimentos debido a que se utilizaban mezclas que presentaban un riesgo para las personas, por las sustancias que se mezclaban con el agua, por ello solo se usaba para equipos como intercambiadores de calor, o enfriamiento de equipos en general, fue hasta años recientes que implementa el uso en alimentos creando emulsiones que no afecten al producto y que sean de consumo humano, donde se da el uso inicial de mezclas binarias a base de sales logrando temperaturas menores de 0°C.

Kauffeld, (12010) define el hielo fluido como una mezcla homogénea de pequeñas partículas de hielo y un líquido transportador. El líquido puede ser agua o una mezcla binaria conformada por agua y un depresor del punto inicial de congelación, este método de pre-enfriamiento se convirtió en un tema de mucho interés, debido a que tiene gran área superficial de contacto lo que lleva a una mayor rapidez de enfriamiento por el gran número de partículas del que está compuesto (Losada, et al, 2006), se tiene un calor latente muy grande debido a los cristales de hielo, haciendo el proceso un medio de enfriamiento muy efectivo para todas las áreas de interés desde alimentos hasta medicinales. El hielo fluido tiene características de alto interés estudios realizados han demostrado que presenta mejores características que otro tipo de hielo usado el hielo fluido ha mostrado una mayor velocidad de enfriamiento, esto es debido a que tiene una mejor conductividad térmica, así como el tamaño y forma de los cristales influyen a que se tenga este comportamiento al momento de pre enfriar y evitar los cambios post mortem del pescado, debido a que se han registrado hasta resultados hasta tres veces más rápidos en el momento de usar el hielo fluido (Bellas, et al 2005).



Debido a que el agua por sí sola no puede llegar a temperaturas menores a 0°C o formar hielo fluido, se adicionan distintas sustancias con diferentes propósitos.

Uno de los problemas que se presentan con el hielo fluido es la corrosión, esto se presenta por el uso de sales que son corrosivas en los medios de transporte, un ejemplo el más común es el uso de cloruro de calcio o cloruro de sodio, las cuales en contacto con el metal se van desgastando lo cual crea una corrosión del metal dando una contaminación del hielo fluido, por ello se busca crear nuevas formas de elaboración que no dañen los equipos y a su vez no causen efectos negativos en el producto.

### **1.2.1 Mezclas binarias**

El hielo fluido una de las ventajas que posee es la fácil adaptación, en este aspecto las mezclas que se usan son de vital importancia porque a partir de ellas es el uso que tendrán:

- Bajar el punto inicial de congelación
- Disminuir la viscosidad
- Incrementar la conductividad térmica en la fase líquida
- Reducir la corrosión
- Prevenir la aglomeración
- modificar sus propiedades reológicas

Estos cambios se dan por adición de etilenglicol, polietilenglicol, cloruro de sodio, metanol entre otros posibles (Egolf et al, 2005).

Matsumoto et al, (2009) demuestran que usando este tipo de aditivos ocurría un problema en el proceso de formación de hielo fluido, el cual era que había adhesión de hielo en las paredes del equipo, por tanto se inicializa el uso de emulsiones agua en aceite para solucionar el problema existente. Este se desarrolló usando un aceite

de silicón el cual es de uso industrial lo cual es dañino para el ser humano, por lo cual se usó otro tipo de emulsiones y estas son hechas principalmente de agua, aceite y emulsionante comestibles de esta manera se obtiene hielo fluido que no es perjudicial a la salud humana.

### **1.3 Emulsiones**

Hoy en día las emulsiones son de vital importancia, ya que nos permiten abarcar un campo de estudio más amplio, su mezcla de agua y aceite no es lo único que podemos observar, uno de los detalles de relevancia es el poder hacer una mezcla de sistemas, se pueden tener sistemas sencillos y múltiples. Una emulsión sencilla consiste en 2 líquidos inmiscibles (usualmente agua y aceite) con uno de los líquidos disperso en pequeñas gotas esféricas dentro del otro, considerando estas fases se les conoce como fase interna aquella donde las gotas son las que están dispersas y fase externa aquella que rodea a estas gotas. Dentro de este rubro se clasifican las emulsiones dependiendo la distribución de agua y aceite que son las fases líquidas en el sistema. Si la emulsión contiene gotas de aceite (O) dispersas en agua (W), se llama emulsión O/W si tiene gotas de agua dispersadas en aceite, se llama W/O. Las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables, pues su evolución en el tiempo resulta en un desequilibrio y hay un efecto negativo llevando a una separación de fases (Ševčíková, et al, 2012).

Es posible formar las emulsiones homogenizando aceite y agua puros, pero estos se separan en dos fases donde la capa de aceite queda en la parte superior por diferencia de densidades esto fenómeno también se le puede atribuir a la diferencia energética creando una inestabilidad termodinámica; sin embargo hay otro método de formación donde sean cinéticamente estables (metaestables) usando emulsificantes, debido a que son agentes tensoactivos que se absorben a la superficie de la gota recién formada durante la homogenización creando una membrana protectora que impide que las gotas lleguen a unirse y crear una

inestabilidad. En la figura 2 podemos observar las etapas de la inestabilidad en una emulsión, estas son de vital importancia evitarlas ya que si se llegan a dar la emulsión que se tiene se pierde y el último paso es la coalescencia en dicha etapa las partículas de aceite se unen creando grandes gotas afectando la interfase y el tamaño de partícula.

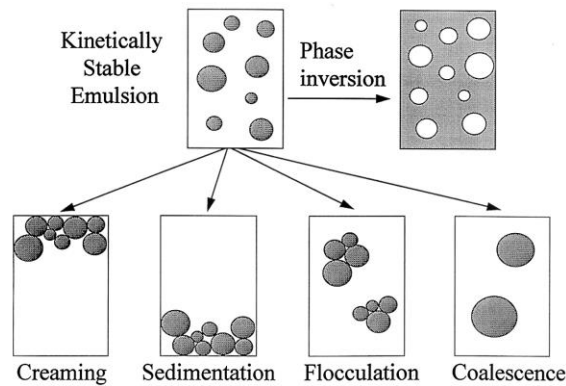


Figura 2. Fases de inestabilidad de una emulsión

El modo de preparación de una emulsión es determinante tanto en su tipo como en su estabilidad, debido a que se somete a un esfuerzo mecánico para reducir el tamaño de los glóbulos de grasa, este es un punto crítico en la formación ya que depende del agente emulsionante, la velocidad de adición y la velocidad del esfuerzo mecánico, si se añade a diferentes velocidades puede modificar la estabilidad y el tiempo de formación de la emulsión. Entre más pequeños sean los glóbulos de la fase dispersa, mayor será la estabilidad de la emulsión formada (Badui, 2006). Esta parte lleva a usar diferentes tecnologías para reducir lo más que se pueda el tamaño de partícula de una emulsión usando diferentes métodos.

Los tres sistemas coloidales más usados son nanoemulsiones, microemulsiones y emulsiones. En estos sistemas se presentan diferencias importantes las cuales son su estabilidad y tamaño para poder ser clasificadas:

- Microemulsiones estables termodinámicamente y un tamaño alrededor de 100nm

- Nanoemulsiones inestables termodinámicamente y un tamaño menor de 100nm
- Emulsiones inestables termodinámicamente y un tamaño mayor a 100nm.

Ha habido un creciente interés en el mejoramiento de la calidad alimentaria a través de sistemas coloidales con el fin de encapsular ingredientes funcionales, tales como lo son sabores, colores, micronutrientes, nutraceuticos, y antimicrobianos. En particular (Rao y McClements, 2012).

### **1.3.1 Nanoemulsiones**

Los sistemas coloidales son ampliamente utilizados en las industrias alimenticias y farmacéuticas para encapsular componentes funcionales lipofílico de modo que puedan ser dispersados dentro de medios acuosos. Los componentes lipófilos encapsulados incluyen una variedad de diferentes tipos de moléculas con diferentes atributos funcionales, aceites de cítricos (agentes aromatizantes), aceites esenciales (antimicrobianos), fitoesteroles (nutraceuticos), carotenoides (colorantes, antioxidantes y nutraceuticos), vitaminas liposolubles (nutrientes esenciales) y fármacos lipófilos. Estos componentes lipófilos varían en sus propiedades moleculares y fisicoquímicas, tales como polaridades, actividades en la superficie, densidades, viscosidades, puntos de fusión, y puntos de ebullición (Ostertag et al, 2012).

Tres de los sistemas coloidales más ampliamente utilizados consisten en pequeñas partículas lipídicas dispersas dentro de una fase acuosa: microemulsiones, nanoemulsiones y emulsiones. Las principales diferencias entre estos tres sistemas coloidales son su estabilidad termodinámica y dimensiones de las partículas. Las microemulsiones son dispersiones termodinámicamente estables de aceite, agua y tensoactivo que típicamente contienen partículas lipídicas con radios inferiores a 100 nm. Nanoemulsiones ( $r < 100$  nm) y emulsiones ( $r > 100$  nm), son dispersiones

termodinámicamente inestables que se pueden distinguir en función de su tamaño de gota (Ostertag et al, 2012).

Las nanoemulsiones poseen un tamaño de gota muy pequeño (entre 50 y 500 $\mu$ m) este tipo de sistemas son muy inestables termodinámicamente, lo que obliga a hacer un esfuerzo energético para la obtención de estas. (Sung et al, 2012) dice que las nanoemulsiones se han investigado para diversas aplicaciones industriales, incluyendo productos farmacéuticos, alimentos y cosméticos, las nanoemulsiones consisten en emulsiones muy finas, con un menor diámetro de gota de 100 nm. La estructura de las nanoemulsiones depende del proceso utilizado para prepararlas. Se pueden preparar por emulsificación espontánea o inversión de fase, o mediante el uso de un dispositivo de alto esfuerzo cortante que permite un mejor control del tamaño de la gota y una gran variedad de composiciones. Son sistemas frágiles por naturaleza, pueden desestabilizarse de una forma fácil y rápida. Existen dos principales fuentes de inestabilidad en estos sistemas que son: uno causado por la naturaleza del aceite de fase y otro procedente de la adición de polímeros para espesar o gelificar la nanoemulsión (Sonneville et al, 2004).

Los efectos biológicos de las nanoemulsiones dependen altamente de sus propiedades interfaciales, que están en gran parte determinadas por emulsificantes a través de una combinación de interacciones múltiples, incluyendo interacciones electrostáticas, efectos estéricos y fuerzas mecánicas. En consecuencia, la elección de los emulsificantes apropiados es críticamente importante en el control de las propiedades funcionales de las nanoemulsiones, incluida la estabilidad física y biológica en las interacciones con los diferentes sistemas (Sung et al, 2012).

### **1.3.2 Métodos de preparación de nanoemulsiones**

Existen diferentes métodos de elaboración de nanoemulsiones usando diferentes criterios:

Los de alta energía, se usan dispositivos mecánicos capaces de generar intensas fuerzas para formar pequeñas gotas de agua en la fase lipídica, los métodos más comunes son alta presión, microfluidización y ultrasonido.

- Homogenización a alta presión

Pasar una mezcla a través de un estrecho orificio, para que ocurra una cizalla de mezcla, como resultado adquirir tamaños de talla submicronica, esta puede realizarse en frío o caliente, es necesario que haya una fuerza de destrucción que supere a las de restauración (Mason et al, 2006).

- Microfluidización

Se utiliza en la elaboración de bebidas, para producir emulsiones de sabor o en la leche homogenizada. La microfluidización consiste en hacer fluir una emulsión a través de un canal de dos corrientes donde pasa de a una corriente más fina, se generan fuerzas intensas que permite la formación de glóbulos (Mason et al, 2006).

- Ultrasonidos

Se utilizan ondas ultrasónicas de alta intensidad para crear las fuerzas necesarias para la separación de aceite y agua en gotas muy pequeñas. La sonda se coloca dentro de la mezcla, la cual genera vibraciones mecánicas intensas que provocan la formación de pequeños glóbulos (Mason et al, 2006)

## **1.4 Nanotecnología**

La nanotecnología es un conjunto de técnicas que permiten la manipulación de directa y la reconstrucción del mundo a nivel de átomos y moléculas. Por lo tanto los científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos, sistemas

novedosos y poco costosos con propiedades únicas; a la vez el prefijo “nano” se entiende como la milésima parte de un millón, es decir un nanómetro representa la milmillonésima parte de un metro (Sánchez, 2011).

La nanotecnología se puede definir como la ciencia e ingeniería involucradas en el diseño, síntesis, caracterización y aplicación de materiales y dispositivos más pequeños cuya organización funcional en al menos una dimensión está en escala nanométrica (Sahoo et al, 2007). En el mundo actual, los materiales alimenticios se consideran a menudo no sólo una fuente de nutrientes, sino también como tener que contribuir para la salud de los consumidores. La mayoría de las nanopartículas utilizadas tradicionalmente pertenecen al grupo de los coloides, es decir, emulsiones, micelas, mono y bicapas (Sozer y Kokini, 2007), siendo esta manera la que se desarrolla usando las emulsiones de punto de partida.

La nanotecnología ha abierto nuevas posibilidades en el campo de la investigación de la conservación de los alimentos, por lo que se espera que tenga un gran impacto en los procesos de procesamiento, almacenamiento y seguridad de los productos. Actualmente los estudios se enfocan hacia el desarrollo de nuevos materiales de empaque y agentes antimicrobianos, sobre conservación y almacenamiento hay muy poca información (Zambrano et al, 2011).

### **β- caroteno**

En las nanoemulsiones, se tiene que usar un componente lipídico que nos ayude a saber cómo es la liberación y que trazabilidad se le puede dar, un componente que se puede usar es un antioxidante en este caso se considera el β-Caroteno se usa como base la figura 3 muestra la estructura química del beta caroteno el cual es un pigmento lipídico natural, puede tener un efecto antioxidante en el cual actúa como un agente secuestrante de radicales de peróxido, ayudando a la inhibición de la oxidación lipídica (Stutz, 2015)

Se tiene que tener en cuenta que el b-caroteno es proveniente del caroteno que da una pigmentación naranja, hay muchos estudios que ayudan a ver como se hace la

absorción y la liberación del b- caroteno, esta se realiza para ver la cantidad que retiene el alimento.

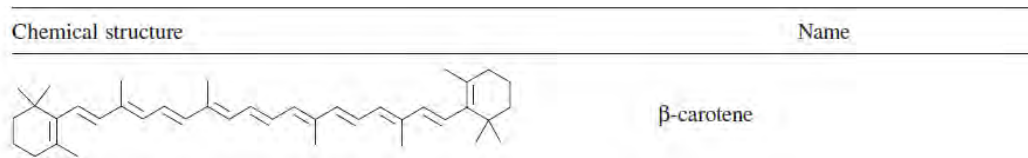


Figura 3. Estructura química del  $\beta$ -Caroteno.

### 1.5 Surfactantes

Hernández, (2004), define como surfactante a una sustancia química que posee una estructura molecular constituida por una parte hidrofílica (polar) y una lipofílica (apolar), lo que le confiere doble afinidad. Tiene actividad interfacial y se adsorbe a la interfase agua/aceite en forma orientada, disminuyendo la tensión interfacial entre estos dos líquidos. La parte apolar de los surfactantes está constituida, generalmente, por cadenas carbonadas lineales. La parte polar en la estructura de estos compuestos la conforman grupos con carga eléctrica neta, también crean diversas interacciones termodinámicas creando una mayor estabilidad estas estructuras formadas se pueden observar en la figura 4, estas estructuras se adoptan porque minimizan el contacto entre la parte no polar del surfactante y el agua.

El objetivo principal de los surfactantes es la formación y estabilidad de la emulsión pero se tiene que tener cuidado en el uso de los surfactantes debido a que pueden llegar a alterar en interacciones con las proteínas o polisacáridos modificando la estructura de los cristales grasos o creación de micelas. Esto provoca que no haya un surfactante ideal para un proceso es por ello que se tiene que evaluar y escoger el que más se acerque a las propiedades deseadas.



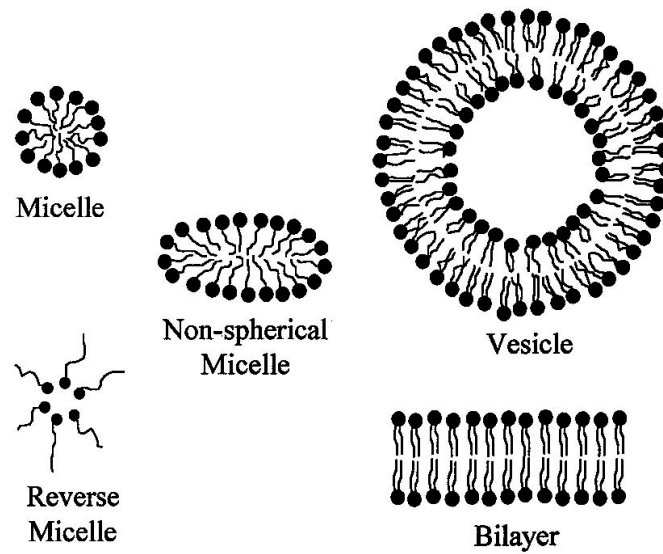


Figura 4: tipo de acomodo que tienen las partículas y que comportamiento de los surfactantes (McClements, 1999)

### 1.5.1 Clasificación de los surfactantes

Según (Hernández, 2004), los surfactantes se clasifican de acuerdo a la forma de disociación en el agua como:

**Surfactantes aniónicos:** se disocian en un anión anfífilo y un catión. A este grupo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato y los dispersantes del tipo lignosulfonatos, entre otros.

**Surfactantes no iónicos:** no se ionizan en solución acuosa, debido a que poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, fenol, éter o amida. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura natural como un ácido graso.

**Surfactantes catiónicos:** se disocian en solución acuosa en un catión orgánico anfífilo y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de estos surfactantes son compuestos nitrogenados, del tipo sal de amina grasa o amonio cuaternario.

**Otros surfactantes:** existe gran variedad de surfactantes adicionales a los ya mencionados, como los anfóteros, poliméricos, siliconados y fluorados, entre otros.

### Balance Hidrofílico - Lipofílico

El balance hidrofílico lipofílico (HLB por sus siglas en Inglés) es una manera semi-empírica la cual ayuda a clasificar los surfactantes, este número proporciona la afinidad que llegan a tener con las moléculas acuosas o grasas. A cada surfactante le corresponde un número el cual entre más elevado sea el HLB mayor será su composición de grupos hidrofílico o lipofílico, este valor se llega a conocer en base a la siguiente ecuación propuesta Verdinelli, V. et al (2008):

$$HLB = 7 + \sum (\text{Numero de grupos hidrofílicos}) \pm \sum (\text{Numero de grupos lipofílicos}) \quad \text{ecuacion 1}$$

Este cálculo ayuda a determinar el índice solubilidad de la fase acuosa o lipídica si el número está en un rango de 3 a 6 tendrá tendencias hidrofóbicas, donde la disolución es de aceite y estabiliza emulsiones agua en aceite, pero si el número es elevado serán hidrofílico esto quiere decir que disolverá preferentemente en agua, formando emulsiones más estables de aceite en agua; se tiene que tener cuidado en la selección del surfactante debido a que si su número es muy elevado o muy bajo puede llegar a desarrollar coalescencia ya que no se crea una membrana lo suficientemente resistente. La figura 5 nos muestra como es el comportamiento de las emulsiones agua en aceite y aceite en agua, la parte que causa inestabilidad en el momento de separación de fases.

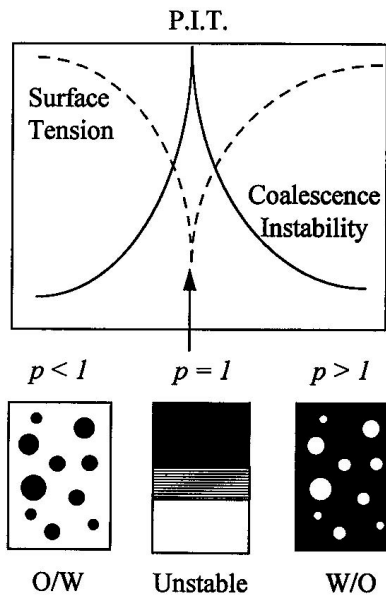


Figura 5. Inversión de fase (McClements, 1999)

## 1.6 Índice de Polidispersión

En un producto hecho a base de emulsión, la turbidez, tamaño de partícula, índice de polidispersión y la densidad son características clave, ya que contribuyen a la estabilidad física y propiedades reológicas de los productos terminados. La percepción de calidad de los productos alimenticios a base de emulsión, tales como crema, aderezos para ensaladas, salsas y bebidas, está fuertemente influenciada por su estabilidad, reología y la apariencia. Aunque el estabilidad de una emulsión es muy crítica para diversos procesos industriales y productos a base de emulsión, los evaluación de la estabilidad de la emulsión no es fácil. El tamaño de las partículas de los glóbulos de grasa (fase oleosa) y su distribución de tamaño juegan un papel muy importante en la estabilidad de emulsión (Mirhosseinia et al ,2008).

## 1.7 Potencial zeta

El potencial Zeta también llamado el potencial electro kinetico, es la parte de interacción que se encuentra en las interfaces cargadas, esto ayuda a predecir la estabilidad del sistema coloidal. Entre estas fases el plano que existe es llamado potencial zeta donde la partícula está cargada siendo esta una manera de predecir y saber un comportamiento, entre mayor sea el potencial, las partículas se repelerán con mayor facilidad haciendo que haya una menor agregación entre ellas.

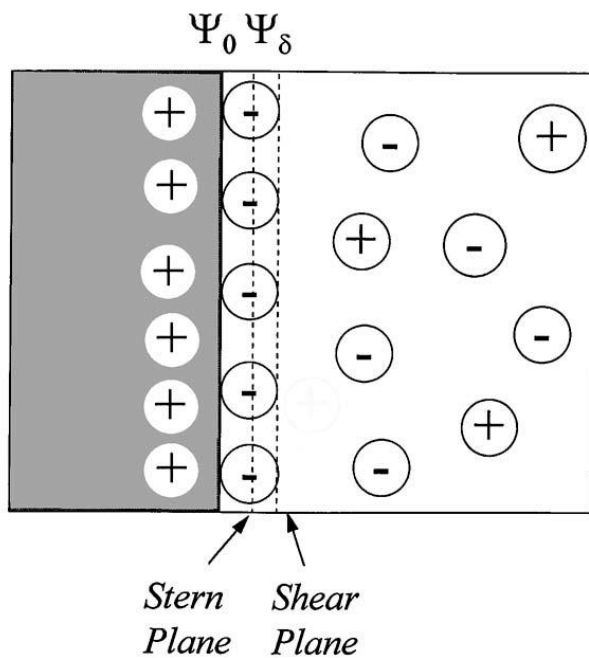


Figura 6. Atracción electrostática entre una superficie cargada de iones de una carga opuesta (McClements, 1999).

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Objetivos

Objetivo General:

Evaluar el efecto del tamaño de partícula y composición de hielo fluido en el pre enfriamiento de trucha arcoíris mediante la determinación de los cambios de color, textura, capacidad de retención de agua y liberación de  $\beta$ -caroteno empleándolos como parámetros cinéticos para evaluar la efectividad del sistema de enfriamiento durante el almacenamiento refrigerado.

Objetivo particular 1

Determinar la velocidad de enfriamiento del hielo fluido en función al tamaño de partícula en comparación con el hielo en hojuela para el establecimiento de las condiciones que influyan en las características de trucha arcoíris envasada.

Objetivo particular 2

Evaluar los cambios texturales en trucha arcoíris almacenada en refrigeración mediante pruebas de compresión asociándolos con la cinética de cambio en función al sistema de pre enfriamiento utilizado.

Objetivo particular 3

Evaluar cambios de color superficial en trucha arcoíris en almacenamiento refrigerado mediante parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para inferir sobre el oscurecimiento asociado a la actividad enzimática.

#### Objetivo particular 4

Correlacionar la liberación de  $\beta$ -caroteno aplicado durante el pre-enfriamiento de trucha arcoíris con los cambios de color y textura como un parámetro de efectividad del empleo de antioxidantes previos al envasado.

### 2.2 Justificación de variables

El tamaño de partícula modifica la forma en que penetra el antioxidante además de modificar la retención de humedad en el producto. El envasado al vacío modifica las características texturales por efecto de la concentración de gases en el envase. La concentración de  $\beta$ -caroteno será modificada para evaluar los efectos sobre cambios en color y textura.

El tabla 4 muestra los factores y los niveles de variación, así como las técnicas empleadas.

<b>Factor de variación</b>	<b>Nivel de variación</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable de respuesta</b>	<b>Técnica</b>
Tamaño de partícula	2	Temperatura de cristalización	Potencial zeta	Método por cambios de carga superficial
Vacío	2	Carga máxima	Dureza Cohesividad	Texturómetro
Concentración de $\beta$ -caroteno	2	$L^*$ , $a^*$ $b^*$	$\Delta E$ , $^{\circ}$ Hue	Colorimetría
		$\beta$ -caroteno residual	Absorción de $\beta$ -caroteno	Espectrofotometría

Tabla 4. Selección de factores

## 2.3 Desarrollo experimental

### 2.3.1 Materia prima

Fue utilizado un lote de 12kg de trucha especie “Arcoíris” que fueron adquiridas en un criadero local, la figura 7 muestra la materia prima. El criterio de selección fue que las truchas tuvieran 5 meses de edad.



Figura 7. Trucha Arcoíris usada en la experimentación

### 2.3.2 Preparación de los sistemas coloidales

#### Emulsión

Esta se preparó de acuerdo con la metodología descrita por Galindo (2011). La fase dispersa estuvo compuesta  $\beta$ -Caroteno (0.3 g/L) y Span 60 mientras la fase continua fue constituida por agua destilada y Tween 80. La solución lipofílica se le fue

adicionando lentamente la solución hidrofílica a una velocidad de 7 500 rpm en un ciclo de 10 minutos.

### **2.3.3 Nanoemulsión**

La nanoemulsión se preparó de acuerdo a la metodología propuesta por Ojeda Piedra et al. (2013) con algunas modificaciones. La nanoemulsión se preparó a partir de la emulsión. Siendo usado un agitador de altas velocidades con una velocidad de 11000 rpm durante 3 ciclos de 5 minutos cada uno, en un agitador de alta velocidad.

### **2.3.4 Tamaño de Partícula (TP), Índice de Polidispersión (IPD) y Potencial Zeta ( $\zeta$ )**

El TP e IPD se determinaron por la técnica de dispersión de luz láser en un ángulo fijo de  $273^\circ$ , a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  usando un equipo llamado Z-sizer Nano ZS90 (Malvern Zetasizer Mod. ZEN3690, U.K). Las dispersiones se diluyeron con agua Milli-Q<sup>®</sup>, de acuerdo con el histograma de frecuencias volumen. El  $\zeta$  fue evaluado usando un Z-sizer Nano ZS90 (Malvern Zetasizer Mod. ZEN3690, U.K) una vez diluidas con agua Milli-Q<sup>®</sup> a 0.01%, el valor del potencial zeta fue normalizado con dispersión patrón de poliestireno ( $\zeta = -55\text{ mV}$ ), las mediciones fueron realizadas a  $25^\circ\text{C}$  por triplicado.

### **2.3.5 Preparación de Hielo fluido**

La preparación de Hielo fluido se realizó en un agitador a una velocidad de 500 rpm se sometió la emulsión o nanoemulsión en un medio de enfriamiento a temperaturas



menores a  $-15^{\circ}\text{C}$ , el medio de enfriamiento ayudo a bajar la temperatura para la formación del hielo fluido.

### **2.3.5 Acondicionamiento del frigorífico**

El acondicionamiento de la cámara de refrigeración fue en función de la temperatura, humedad y velocidad del aire; para la temperatura se utilizó el termopar Data Logger, Lascar Electronics® (Modelo EL-USB-2-LCD, Pennsylvania, EUA) y para la velocidad del aire un anemómetro Davis Turbo meter®; una vez registradas las temperaturas se llevaron a cabo los ajustes necesarios para mantener una temperatura promedio de  $4^{\circ}\text{C}$ .

### **2.3.6 pH**

La variación en pH por efecto del almacenamientos y cambios en el pescado se midió con un potenciómetro (Hanna 213, Portugal), previo a la determinación este se calibro con solución buffer de 7 y 4. El pH se midió en muestras de pescado previamente homogenizadas, todas las determinaciones se realizaron por triplicado a  $25^{\circ}\text{C}$ .

### **2.3.7 Acidez titulable**

Se determinó en porcentaje de ácido cítrico (método AOAC 942.15) mezclando 5 g de pescado con 15 m L de agua destilada y 4 gotas de fenolftaleína (1%), se tituló con una solución de hidróxido de sodio (0.2 N) realizándose por triplicado a  $25^{\circ}\text{C}$ .

### **2.3.8 Colorimetría**

Para la evaluación de color se utilizó una cámara digital Nikon® (16 megapíxeles, sin flash y temporizador de 2 segundos) la cual está colocada en un tripie dentro de una caja negra de medidas de 32.5 x 42.5 x 41 cm impermeable a la luz, con una iluminación interna proporcionada por dos focos de 10 watts, en el interior de esta se colocó una muestra de pescado que se seleccionó al azar de cada tratamiento, las fotografías obtenidas fueron analizadas con el programa Photoshop CS5 de acuerdo a la metodología propuesta por Briones y Aguilera (2005) obteniendo las coordenadas de color CIE (Comission International de l'Eclairage) L\* a\* b\* realizándose por triplicado.

El croma que indica la intensidad o saturación de color, se calculó mediante la ecuación de acuerdo a Luna *et al.*, (2006):

$$\text{Croma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ecuación 2}$$

El índice de oscurecimiento se calculó de acuerdo a Zambrano-Zaragoza *et al.*, (2014):

$$h^{\circ} = \arctan(b^{*}/a^{*}) \quad \text{Ecuación 3}$$



Figura 8. Cámara Oscura

### 2.3.9 Textura

Para la evaluación de la textura se utilizó un Texturómetro (Brookfield CT3 EUA) una mesa estándar TA-BT-KIT, con una fuerza de compresión de 15 kg. Se colocó una muestra de pescado con un espesor de 10 mm ± 0.3 mm y un diámetro de 20mm ± 0.3mm el cual fue comprimido en dos ciclos con un cilindro de plástico de 50.8mm de diámetro (TA25/1000) y 20 mm de largo con una velocidad de 1 mm/s y una carga de activación de 0.10 N, con lo cual se obtuvieron los valores de Dureza (N), adhesividad y cohesividad de cada muestra realizándose por triplicado a 25 °C.

### 2.3.10 Retención de Agua

El método que se realizó fue por compresión dictaminado por Grau y Hamn (1953), modificado por Sierra (1973) con una variación, donde se colocó papel whatman #2 de 10 cm de diámetro y una muestra de (1x1x1)cm, sometiendo la muestra a compresión en un equipo (Brookfield CT3 EUA), con una fuerza de compresión de 15 kg, con una velocidad de 1 mm/s y una carga de activación de 0.10 N, se registró el peso del papel filtro el inicial y final, obteniendo la capacidad de retención por diferencia a 100%

$$\% \text{ Retención de Agua} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso Inicial}}{\text{Peso Inicial}} * 100 \quad \text{ecuación 4}$$

La prueba se realizó por triplicado.

### 2.3.11 Envasado del Pescado

El envasado del pescado se realizó en una envasadora de campana MULTIVAC (A300/16 Sepp Haggemuller GmbH & Co, Alemania) acoplada a un mezclador de gases (MAP MIX 9001-3/200B Dansensor®, España, utilizando el

programa no. 5 con un vacío de 200 mmHg y un tiempo de sellado de 3 segundos utilizando como material de empaques de poliestireno de alta barrera según el tratamiento.

### 2.3.12 Liberación de $\beta$ - caroteno

Para la liberación de  $\beta$ - Caroteno nanoencapsulado se realizó una curva patrón cuyas concentraciones iban de 0-200 mg/L, con intervalos de 20mg/L, estas concentraciones fueron leídas a 460nm. El resultado de estas lecturas fue graficado y se obtuvo la ecuación de la recta y regresión lineal. En la liberación de  $\beta$ - Caroteno nanoencapsulado, se agregó un cubo de .5g de trucha arcoíris en 9 ml de ciclohexano en agitación (Agitadores, Thermolyne Cimarez, USA), por una hora. Se filtró el disolvente orgánico para realizar la cuantificación de  $\beta$ - Caroteno liberado, el filtrado fue cuantificado a  $\lambda = xx$  empleando un espectrofotómetro (Thermo Scientific Modelo GENESYS 10s UV-VIS, USA). Realizando la prueba por triplicado. Con la finalidad de obtener la concentración de  $\beta$ - Caroteno liberado se construyó una curva patrón usando la siguiente ecuación

$$\text{Concentración de } \beta\text{-Caroteno } \{mg/L\} = \frac{A}{1.303 E - 2} \quad R^2 = .9995 \quad \text{ecuación 5}$$

## 2.4 Análisis Estadístico

Se realizó un diseño factorial completo con 3 factores y dos niveles de variación con la finalidad de conocer las diferencias significativas entre los factores independientes y los factores explicativos mediante un ANOVA de una vía ( $\alpha=0.05$ ) utilizando el programa estadístico MINITAB 17 (Minitab Inc., PA, EUA).

## Capítulo III. Resultados

### 3.1 Caracterización de emulsiones

Uno de los aspectos necesarios a considerar previo a la formación del hielo fluido, fue la evaluación del tamaño de partícula de las emulsiones y nanoemulsiones formadas con la finalidad de tener un control de los sistemas y la comparación a realizar en relación el efecto del pre enfriamiento con hielo fluido. La tabla 5 muestra los tamaños de partícula, índices de polidispersión y potenciales zeta correspondiente a cada emulsión. En esta se observa que, los mayores tamaños de partícula fue para las muestras que contenían  $\beta$ -caroteno, atribuido esto a las características y solubilidad de este componente lo que contribuye a incrementar su tamaño.

Tabla 5. Caracterización de tamaño de partícula y potencial zeta para los sistemas empleados en la formación de hielo fluido.

Sistema	Tamaño teórico (nm)	Tamaño real (nm)	IPD	$\zeta$ (mV)
Nanoemulsión	200	245.7 $\pm$ 5.77	0.368	-57.7 $\pm$ 8.62
Nanoemulsión con $\beta$ -caroteno	200	356.4 $\pm$ 9.80	0.468	-56.7 $\pm$ 7.54
Emulsión	800	786 $\pm$ 32.45	0.5	-67.6 $\pm$ 9.34
Emulsión con $\beta$ -Caroteno	800	933.5 $\pm$ 42.95	0.45	-64.3 $\pm$ 7.32

## **3.2. Cambios Fisicoquímicos durante el almacenamiento de trucha**

Los productos pesqueros debido sus características y composición tienden a descomponerse con mucha facilidad razón por lo que uno de los indicadores de estos cambios son el pH y acidez, expresada en función al ácido tiobarbiturico

### **3.2.1. pH**

La Figura 9 muestra el comportamiento de los factores experimentales consideradas en este trabajo, mostrándose que existió una tendencia similar en relación a la disminución del pH para los tratamientos con hielo fluido con tamaño de 800 nm, 0 y 200 cmHg de vacío sin empleo de  $\beta$ -caroteno, las que tendieron a disminuir para el final del almacenamiento, mientras que las variaciones de pH fueron menores a esta condición cuando se emplea  $\beta$ -caroteno independientemente del empleo de vacío durante el envasado de las truchas con una disminución en el pH 0.2 a 0.4. Siendo además importante resaltar que las muestras con tamaño de partícula de la nanoemulsión formadora del hielo fluido de 200 nm mantuvieron un pH prácticamente constante durante el periodo de almacenamiento, lo que indica que en combinación con el tamaño de partícula, activo y polímero es posible establecer que estos logran tener un efecto estabilizante del pH que es independiente para este parámetro de la presencia de  $\beta$ -caroteno y más correlacionado con el tamaño de partícula del hielo empleado en el pre-enfriamiento. Sin embargo, las muestras con betacaroteno, vacío y un tamaño de partícula de 200 nm se mantiene en un rango de 7 a 7.2. Siendo esta parte la que hace notar el mayor efecto que tiene el tamaño de partícula y el uso de  $\beta$ -caroteno para la conservación de la materia. Además, en ningún caso el pH baja a menos de 6.7 lo cual en las muestras que su tamaño de partícula es mayor (800nm), en los cuales observamos su disminución a menos de 6.6 lo cual es un iniciador de mayor descomposición

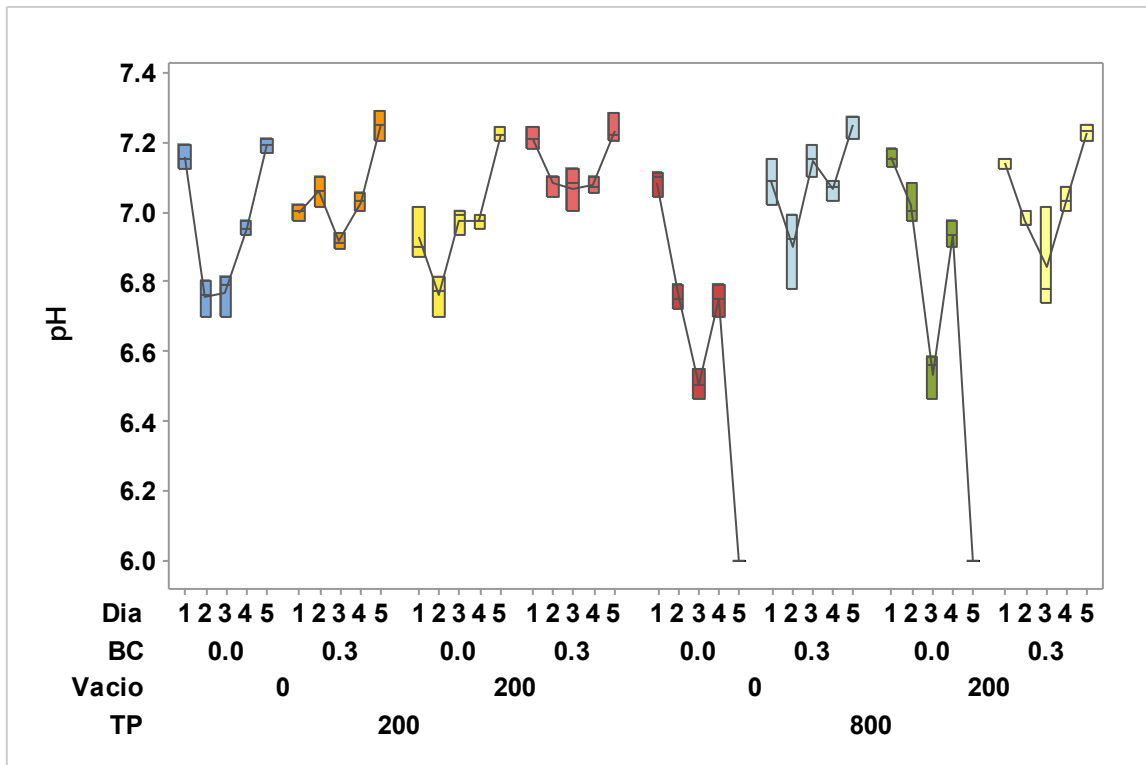


Figura 9. Cambios de pH en filetes de trucha almacenados en refrigeración con diferentes condiciones de envasado y pre-enfriamiento. BC =  $\beta$ -caroteno, Vacio (mm Hg), TP = tamaño de partícula; Vacio (mm Hg).

De acuerdo con Feng, 2016; el comportamiento del pH en condiciones de almacenamiento de un bramido mostraron un incremento paulatino en el pH conforme pasan los días siendo un valor inicial de 5.98, el que si bien este comportamiento es similar al mostrado por aquellas muestras tratadas con hielo fluido con tamaño de partícula de 200 nm, lo que implica una mayor estabilidad de la trucha almacenada a 2 °C.

Por otro lado, en el estudio de salmón con pH inicial de 6.61, se menciona que el comportamiento del pH puede ser parabólico debido a la generación y disolución del CO<sub>2</sub> y la descomposición de glicógeno (Rodríguez, 2008; Rodrigues et al., 2016). en el caso de las muestras analizadas en este trabajo aquellas tratadas con hielo fluido a 800 nm y sin  $\beta$ -caroteno son las que mostraron una drástica disminución del pH al final del almacenamiento, probablemente debidos a la

acumulación de CO<sub>2</sub> y al crecimiento de microorganismos, ya que debido al grado de descomposición no fue posible analizar las muestras en el día 15.

### **3.2.2. Cambios en Acidez Titulable**

La Figura 10 muestra, el comportamiento de la acidez titulable en trucha arcoíris durante los 15 días de almacenamiento a 4 °C, como ácido orgánico de referencia se tomó el tiobarbitúrico, considerado debido a que es un indicativo de la oxidación de grasas en el pescado. En la Figura 10 se observa que la acidez titulable se incrementó con el paso de los días, en comparación con la acidez de la trucha al inicio del almacenamiento, sin embargo, es importante resaltar que en ningún caso se sobrepasa un valor de 2 %, siendo la nanoemulsión con  $\beta$ -caroteno la que mantiene mejor la acidez de la trucha durante el tiempo de almacenamiento, haciendo énfasis además, de que la mayor estabilidad la mostraron aquellas truchas pre enfriadas con un sistema que contenía  $\beta$ -caroteno y un tamaño de partícula de 200 nm en promedio, ya que hasta los 15 días esta se mantuvo estable en relación a este parámetro. La trucha envasada a vacío y que empleo hielo fluido con un tamaño de partícula de 800 nm y sin ningún otro tratamiento fue la que mostró mayor inestabilidad en relación a la acidez, cabe resaltar que, las muestras incorporadas con sistemas nanoparticulados con base en  $\beta$ -caroteno, mostraron una mayor estabilidad frente a los cambios de acidez, haciendo énfasis en el comportamiento de las muestras pre-enfriadas con hielo fluido a 200 nm, envasadas a un vacío de 200 mmHg, mientras que las envasadas y tratadas a la mismas condiciones pero pre-enfriadas con hielo fluido con tamaño de partícula de 800 nm mostraron un incremento en la acidez que fue paulatino al paso de los días. En la variación de acidez hay un parámetro que ayuda a crear una mejor estabilidad en la trucha este es el uso de  $\beta$ -caroteno y otro factor es el tamaño de partícula de 200 nm que influye a que haya una variación de menos de 10% en la acidez de la trucha. Siendo el parámetro de tamaño de partícula el que mayor influencia tiene, resaltando que a menor tamaño la adición de  $\beta$ -caroteno tiene un efecto positivo, ya que la acidez titulable permanece prácticamente constante durante el tiempo de



almacenamiento. Aunque, es posible resaltar que una reducción en el tamaño de partícula del hielo fluido junto con un envasado a vacío contribuye a mantener por más tiempo estable este parámetro.

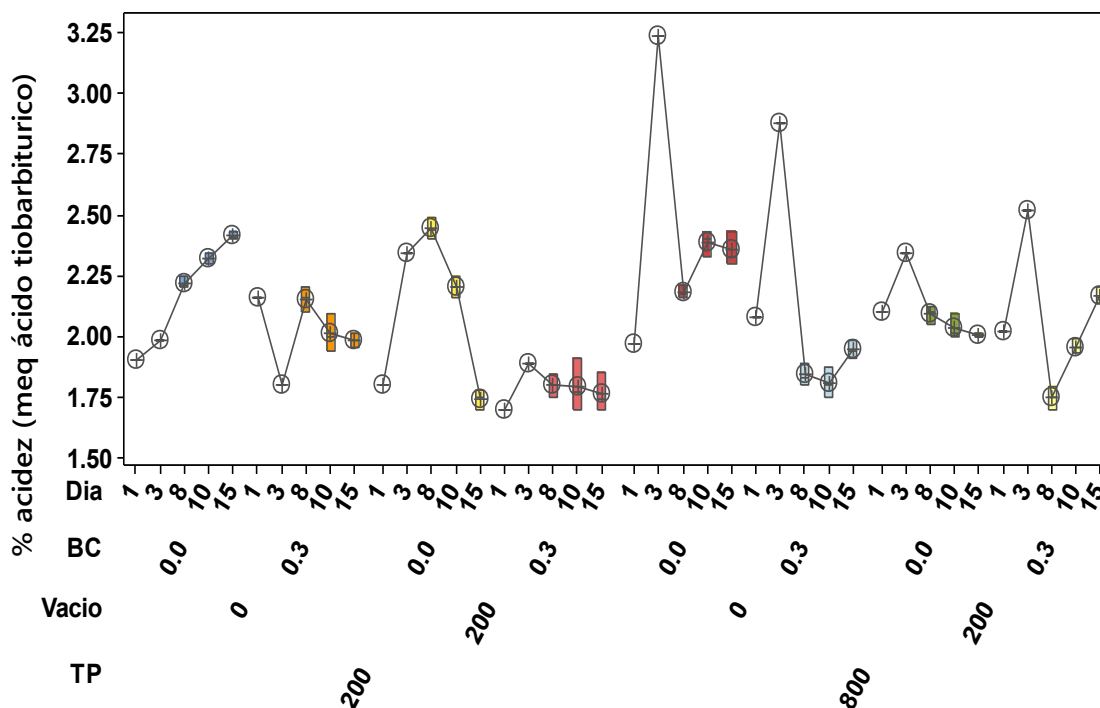


Figura 10. Cambios en Acidez expresada en función a los miliequivalentes de ácido tiobarbiturico, BC =  $\beta$ -caroteno; TP = Tamaño de partícula de los sistemas para producción de hielo fluido.

De acuerdo con Al-Masri, et al. (2006), quienes trabajaron con pescado para usarlo como alimento de aves, encontraron que el contenido de acidez expresado como ácido láctico oscilo ente 1.56 a 1.79 % lo que implicó variaciones del 15 % durante el periodo de almacenamiento, en el caso de la trucha almacenada durante 15 días a 2 °C, se mostró que las variaciones en acidez van de un 18 a 22% siendo la que más se asemeja la muestra que fue tratada con  $\beta$ -caroteno, vacío y un tamaño de partícula de 200nm el cual es menor a un 10%. Además de acuerdo con estos

autores el tamaño de partícula es factor importante en el comportamiento e la acidez titulable.

### **3.3 Cambios de color**

El color es uno de los parámetros más importantes en la calidad de filetes de trucha arcoiries y esta se puede ver afectada por las condiciones de alimentación y los tratamientos a los que se expone, normalmente el alimento contine luteína, zeaxantinas y carotenoides que contribuye a modificar la pigmentación del filete de trucha (Skonberg et al., 1998). Además, e l tratamiento con diferentes recubrimientos también contribuye a cambios de color del producto durante el almacenamiento. (Hamzeh & Rezaei, 2012).

#### **3.3.1. Cambios de luminosidad (L)**

Las variaciones en luminosidad, en el caso de filetes de pescado es asociada a la perdida de agua y puede ser correlacionada a su vez con la composición química del pescado (Birkeland, 2004). Además, hay otros factores que intervienen en el cambio de luminosidad, como es el contenido de agua, el aumento de carotenoides, y la alimentación del pescado previo a la captura (Cardinal, 2001). Otro factor importante que influye en los cambios en luminosidad en filetes de pescado es el método y condiciones de almacenamiento empleado como la refrigeración y condiciones de flucturación de temperatura lo que contribuye a que la luminosidad del producto disminuya (Regost et al., 2004).

La Figura 11, muestra los cambios en luminosidad para la trucha almacenada por 15 días en diferentes condiciones de envasado y forma de pre enfriamiento empleando hielo fluido, mostrándose que la luminosidad de las muestras tendio a disminuir conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, siendo más drástica la disminución para la trucha pre-enfriada con hielo fluido con tamaño de partícula

de 800 nm, resaltando que aquellas envasadas sin vacío y con  $\beta$ -caroteno son las que mostraron una mayor velocidad de disminución en la luminosidad. Las muestras almacenadas en refrigeración a 2 °C y pre-enfriadas con hielo fluido de tamaño de aproximadamente 200 nm tuvieron un mejor mantenimiento de la luminosidad, siendo las envasadas a vacío y con  $\beta$ -caroteno las que mostraron un comportamiento estable durante los primeros 8 días de almacenamiento para disminuir al final del mismo.

De acuerdo con (Alparslan et al., 2014) cuando emplearon un recubrimiento comestible a base de gelatina con aceite esencial de laurel el empleo de estos recubrimientos contribuye a mantener la luminosidad en trucha arcoíris, mostrando un aumento en este parámetro únicamente para la trucha control almacenada bajo las mismas condiciones.

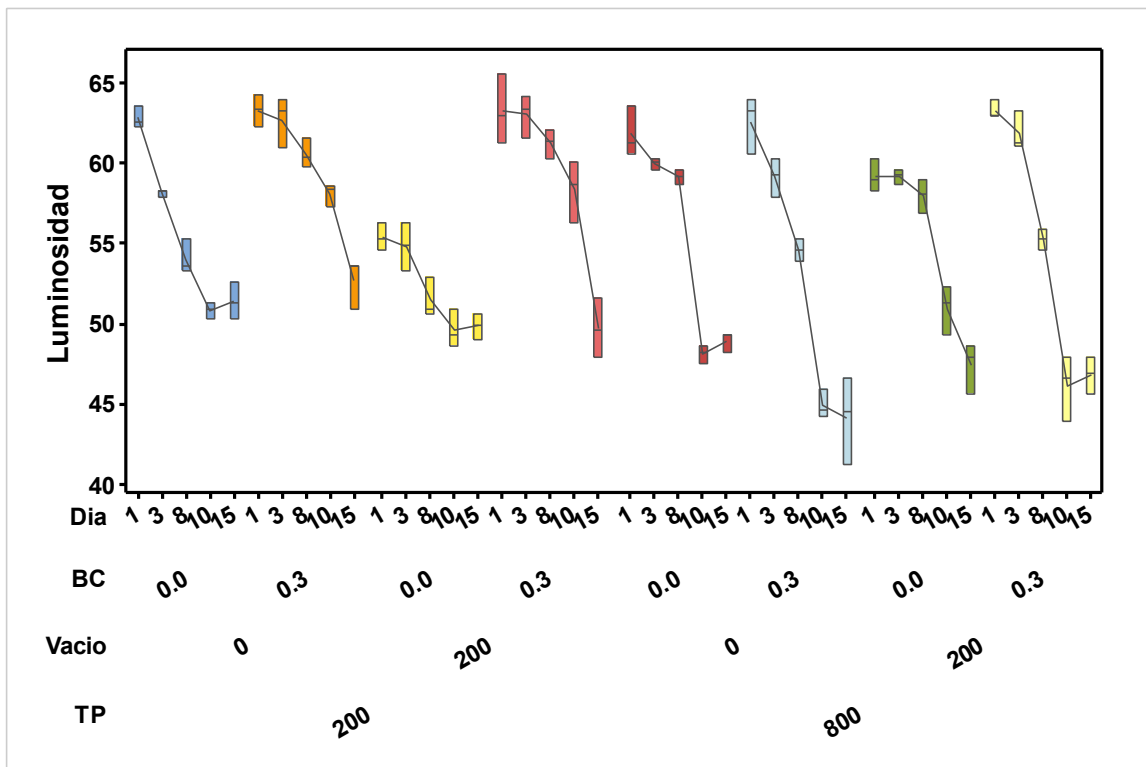


Figura 11. Cambios en luminosidad asociados al tratamiento de trucha arcoíris durante el pre-enfriamiento y condiciones de almacenamiento. BC =  $\beta$ -caroteno, Vacío (mm Hg), Tp = tamaño de partícula (nm).

### 3.3.2. °Hue (ángulo de tono)

La figura 12. Muestra el comportamiento del ángulo Hue en función al tiempo de almacenamiento, se observa que este disminuye con en aquellas muestras que no contenían  $\beta$ -caroteno, sin embargo en aquellas tratadas con nanoemulsiones y talla de partícula de entre 250 y 350 nm (correspondientes en el diseño experimental a 200 nm) se observó un menor cambio, permaneciendo estables entre las semanas 2 y 4. Resaltando que las muestras pre enfriadas con hielo fluido con talla de 800 nm mostraron mayor variación entre muestras y un mayor decaimiento de color con una disminución del tono del 30 % en las muestras envasadas sin vacío sin que muestre un efecto significativo a estas condiciones el empleo de nanoemulsiones de  $\beta$ -caroteno, este comportamiento se atribuye a que el pescado va perdiendo su color característico el musculo, cambia su color rosado por uno pardo, comparado con la muestra que se tiene sin antioxidante, sin vacío y con 200nm de tamaño de partícula que tiene una pérdida de 15% en el tono expresado en relación al ángulo Hue, todas las muestras tienen una tendencia decreciente, en el caso de las muestras adicionadas con  $\beta$ -caroteno, no mostraron diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha = 0.05$ ) con una mejor distribución del color naranja en la superficie del filete de pescado, se observa dicho comportamiento en la muestra de  $\beta$ -caroteno, con vacío y 200 nm el día 15 hay un incremento esto pudiera ser por el  $\beta$ -caroteno que cambia la tonalidad en la trucha.

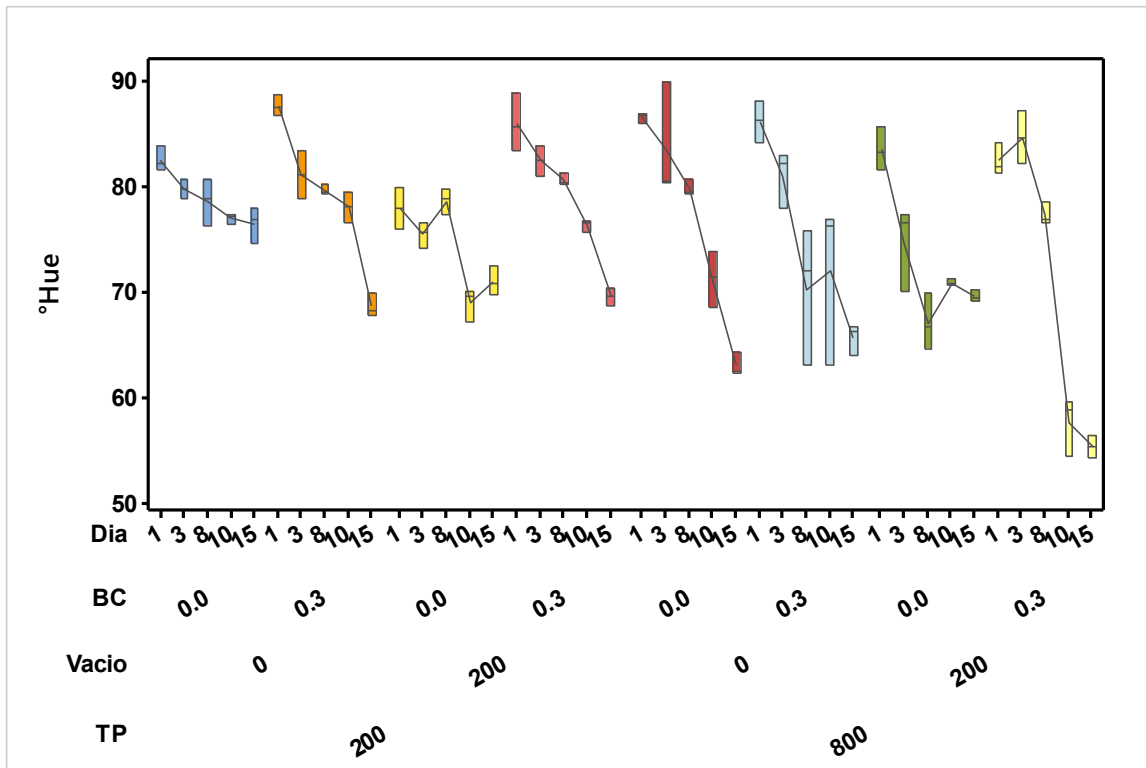


Figura 12. Cambios en tonalidad de trucha arcoíris almacenada en refrigeración en función a la talla de partícula del hielo fluido, condiciones de envasado y la presencia o no de  $\beta$ -caroteno en emulsión. BC =  $\beta$ -caroteno, Vacio (mm Hg), Tp = tamaño de partícula (nm).

En este sentido y con la finalidad de discutir sobre los hallazgos encontrados, Birkeland et al, (2004), en un estudio realizado para la determinación del color en el salmón del atlántico, reporto ángulos Hue de entre 50 a 53 comparando los métodos de tratamiento, mostrando un incremento de 61 a 63 °, mientras que en nuestro caso la trucha pre enfriada con hielo fluido de 200 nm mostró una disminución del ángulo de tono de  $\approx$  82 a 70, atribuido esto a la degradación del e infiltración del  $\beta$ -caroteno superficial que contribuyó a que el color inicial disminuyera.

También Choubert, et al, (2006) reportaron el cambio en trucha arcoíris durante el proceso de ahumado el cual tiene un efecto importante en el color, la trucha arcoiris tiene una concentración mayor de carotenoides pero hace que disminuya el Hue, obteniendo un valor de °Hue menor en un 10% de lo que se reporta en los resultados obtenidos en la experimentación. Esto lleva a establecer que el comportamiento que

tiene la adición de  $\beta$ -caroteno, ya que Cardinal, et al (2001) mostraron que el cambio de color dependerá del pigmento usado para la alimentación y coloración del

### **3.3.3 Croma**

La figura 13 muestra la variación en el croma que expresa la pureza del color, en esta se observa que hay una pérdida de intensidad de color conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, como este disminuye conforme pasa el tiempo, muestra la saturación que existe en el pescado, dentro de ellas podemos ver que hay incrementos en las muestras que tienen betacaroteno, esto se debe a que añade color a la muestra y crea una variación, haciendo que unas tengan más saturación que otras. Dentro de ese parámetro observamos que tienen una tendencia similar donde tenemos un inicial, disminuye conforme al tiempo y se eleva al último día, esto sucede con las muestras de 200nm, sin embargo con las muestras de 800nm el comportamiento termina a la baja. Dentro de estos parámetros, presentan una baja saturación, el que menor tiene es la muestra sin betacaroteno, vacío y 200nm su saturación es baja, esto lleva a que es un color más opaco, en cambio la muestra que tiene antioxidante, vacío y 200nm hay una mayor saturación, esto se debe a que el color puro se ve modificado y altera la saturación.

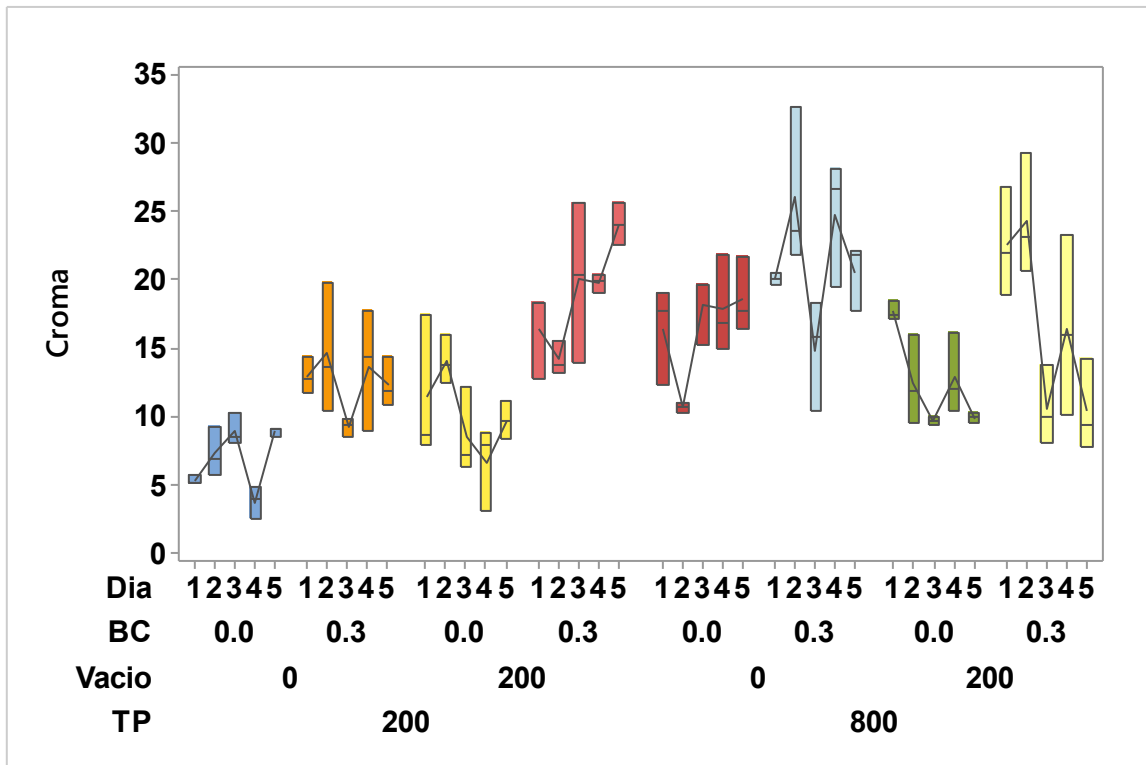


Figura 13. Cambios en cromaticidad asociados a las condiciones del pre-enfriamiento con hielo fluido, condiciones de envasado y adición de  $\beta$ -caroteno. BC = $\beta$ -caroteno, Vacio (mm Hg) y TP = tamaño de partícula (nm).

Rincón et al., 2009, mencionan la importancia que tiene el color como parámetro de calidad en la industria pesquera, en su estudio ellos mostraron el comportamiento de *Pagellus bogaraveo* en función a la alimentación, analizando que las muestras control tuvieron un croma de 10 en comparación a las que fueron alimentadas con diferentes tipos de carotenoides. Por otro lado Choubert et al. (2006) mostraron que la trucha arcoíris tuvo un croma de entre 13 a 21 dependiendo del tratamiento, en función a dietas ricas en carotenoides los que reportaron influyeron considerablemente en el croma y otros parámetros de color, sin embargo, después de transcurridos 15 días después de captura hubo una reducción en el croma hasta valores de aproximadamente 6, esto asociado a la pérdida de compuestos carotenoides, con ello es posible que debido a esta pérdida de carotenoides en las muestras de trucha arcoíris incorporadas con nanoemulsiones de  $\beta$ -caroteno el

croma tendió a disminuir siendo este comportamiento más notorio en aquellas con tamaño de partícula de 800 nm.

### **3.4. Cambios texturales**

La textura depende de muchos factores biológicos relacionados a la densidad de los músculos, las fibras de los tejidos, así como al contenido de grasa y colágeno del pescado (Rodríguez, 2007). Sin embargo, los cambios texturales responden a una pérdida constante de agua, debida al enfriamiento del pescado, cambios en la temperatura de refrigeración, a la manipulación del pescado, al proceso de pre-enfriamiento con hielo triturado, troceado o en escama ya que el peso ejercido puede dañar las fibras lo cual genera la pérdida de firmeza. Dentro de la densidad de las fibras el colágeno perdido causa un efecto negativo en la propiedad textural.

#### **3.4.1. Firmeza**

La figura 14 muestra los cambios de firmeza asociada al tratamiento de pre-enfriamiento en trucha arcoíris almacenada en refrigeración a 2 °C durante 15 días, observándose que en todos los casos existió una disminución de la fuerza requerida para comprimir los filetes de trucha con respecto al tiempo. En el caso de las muestras que fueron pre-enfriadas con hielo fluido de 800 nm de tamaño de partícula, se observa una mayor pérdida de firmeza lo que se asocia al tamaño de partícula del hielo fluido formado, ya que el pescado tiene que soportar mayor peso durante el pre-enfriamiento, para fines de análisis el dato correspondiente al día 15 de almacenamiento corresponde a la tendencia de los resultados con la finalidad de que fuera posible analizar los demás resultados ya que debido al grado de descomposición de los filetes de pescado no fue posible analizarlos para las muestras pre-enfriadas con hielo fluido de 800 nm, Por otro lado es importante resaltar que la trucha pre-enfriada con hielo fluido de 200 nm donde solo la que se encontraba sin vacío y sin  $\beta$ -caroteno no logro muestrearse y se pone la tendencia



para fines de análisis, con lo que es posible establecer que el tamaño de partícula del hielo fluido tiene una clara influencia sobre la firmeza del pescado, además en cuanto a las condiciones de almacenamiento a vacío y con nanoemulsiones de  $\beta$ -caroteno mostraron el menor cambio de firmeza fueron las de 200 nm, 200 mm Hg y 0.3 % de  $\beta$ -caroteno nanoemulsionado

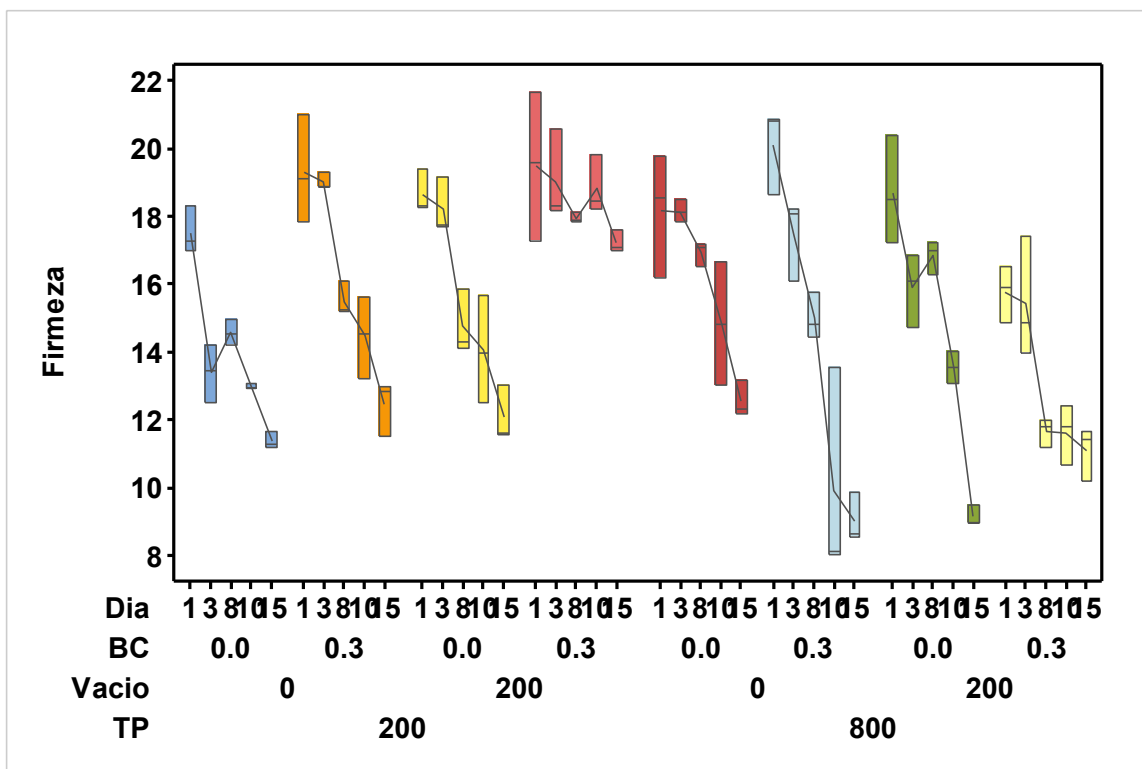


Figura 14. Cambios de firmeza en trucha arcoíris almacenada después del pre-enfriamiento con hielo fluido. BC =  $\beta$ -caroteno; Vacio (mmHg), TP = tamaño de partícula.

### 3.4.2. Dureza

La figura 15 muestra el comportamiento de la dureza en el primer ciclo de compresión, observándose una tendencia a disminuir conforme transcurre el tiempo de almacenamiento y en función al tratamiento previo que se llevó a cabo, inicialmente la trucha tuvo una dureza de entre 110 y 80 N dependiendo de las

condiciones de vacío y la presencia o no de  $\beta$ -caroteno, resaltándose que las muestras pre-enfriadas con hielo fluido de 800 nm y sin vacío fueron las que mostraron la menor firmeza inicial la mayoría de las muestras tiene un inicio entre 80 y 90 N, siendo la muestra sin vacío, con antioxidante y 800 nm la que inicia por debajo de 70 N, retomando dureza en el paso del tiempo. Los resultados correspondientes a las muestras pre-enfriadas con hielo fluido sin vacío y con  $\beta$ -caroteno y con vacío a 200 mmHg fueron extrapolados los resultados para fines de análisis en relación a la escala, ya que debido a la descomposición no fue posible medirlas. Cabe resaltar que los filetes de trucha que fueron pre-enfriados con hielo fluido de tamaño de partícula de 200 nm fueron los que tuvieron una menor velocidad de cambio en la dureza.

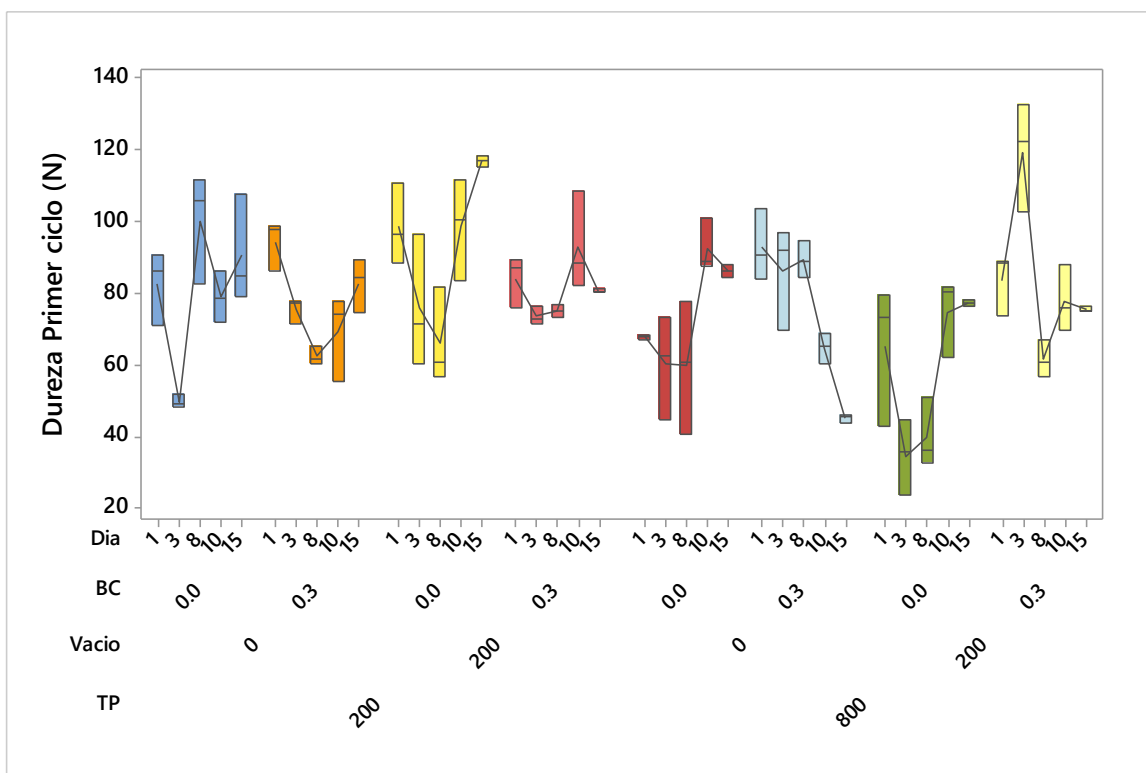


Figura 15. Cambios de dureza en trucha arcoíris almacenada después del pre-enfriamiento con hielo fluido. BC =  $\beta$ -caroteno; Vacío (mmHg), TP = tamaño de partícula.

De acuerdo con Birkeland et al. (2004), quienes analizaron el comportamiento de salmón y la importancia de la manipulación en los cambios de manipulación concluyeron que los cambios de dureza se asocian al daño en las fibras del musculo que al romperse promueva la liberación de agua lo que es determinante en la pérdida de dureza y firmeza durante el proceso, otro factor que se debe tomar en cuenta es la manipulación después de la matanza y las condiciones de almacenamiento del producto. Nunca se debe dejar de lado el factor de las condiciones del pescado cuando se hace la captura, el sacrificio ya que, los tejidos varían según la edad, las fibras musculares tienen otro comportamiento, otro factor importante es la alimentación que lleva la trucha arcoíris, (Rasmussen et al, 2011) esto se debe a que puede haber una mayor concentración de lípidos, afectando directamente a la textura del alimento haciéndolo más suave.

Por otro lado Jain et al. (2006) Mostraron el efecto de la dureza en función al tamaño de partícula del hielo en escama, el cual mostró tener un efecto negativo en la dureza del pescado, ya que reportaron una pérdida de dureza del 30 % para pez *Labeo rohita*, a los 5 días de almacenamiento, en cambio en el estudio realizado en este trabajo la trucha arcoíris empleada en la experimentación tuvo una pérdida del 18 % cuando fue pre-enfriada con hielo fluido de 200 nm. Shadman et al. (2016) reportaron el empleo de nanoemulsiones mostrando que estas ayudan a evitar el reblandecimiento del pescado, ya que reportaron a través de pruebas sensoriales que la dureza del pescado a los 15 días en era casi nula para las muestras control.

### **3.5. Capacidad de Retención de agua.**

La Figura 16, muestra los cambios en capacidad de retención de agua durante el tiempo de almacenamiento, la pérdida que se da en la mayoría de los casos es superior a 20 %, las muestras que se adicionó  $\beta$ -caroteno y un tamaño de partícula de 200nm se muestran debajo de 20% de pérdida de agua, mientras que los sistemas que no se adiciono nada solo tenían una variación de tamaño de partícula

su variación es casi cercana a 25% de pérdida de agua, en el caso de las muestras adicionadas con betacaroteno se observa que la mayoría se encuentran cercanas a 20% y las muestras con vacío no crean una diferencia significativa, sin embargo el caso a analizar es la muestra que se adicionó  $\beta$ -caroteno, tiene 200 mmHg y 200 nm de tamaño de partícula se encuentra cercano a un 15 % de pérdida de agua siendo el más estable en el momento de almacenar y las estructuras y fibras del pescado sufren un menor daño en este caso, siendo por eso la pérdida tan diferente. Sin embargo se analiza como en el día 15 de experimentación el cambio que hay en la retención es un 10% en el caso de la muestra con 200nm de tamaño de partícula, en los demás casos hay un incremento mayor al 5% en las muestras con 200nm, 200 mmHg y betacaroteno su pérdida de agua se da en la última etapa de análisis, siendo contrario a lo que pasa cuando el tamaño de partícula es de 800nm la pérdida de agua se da al inicio y no al final en el día 3 ya ha perdido un 10% o más de agua caso contrario a las muestras con 200nm.

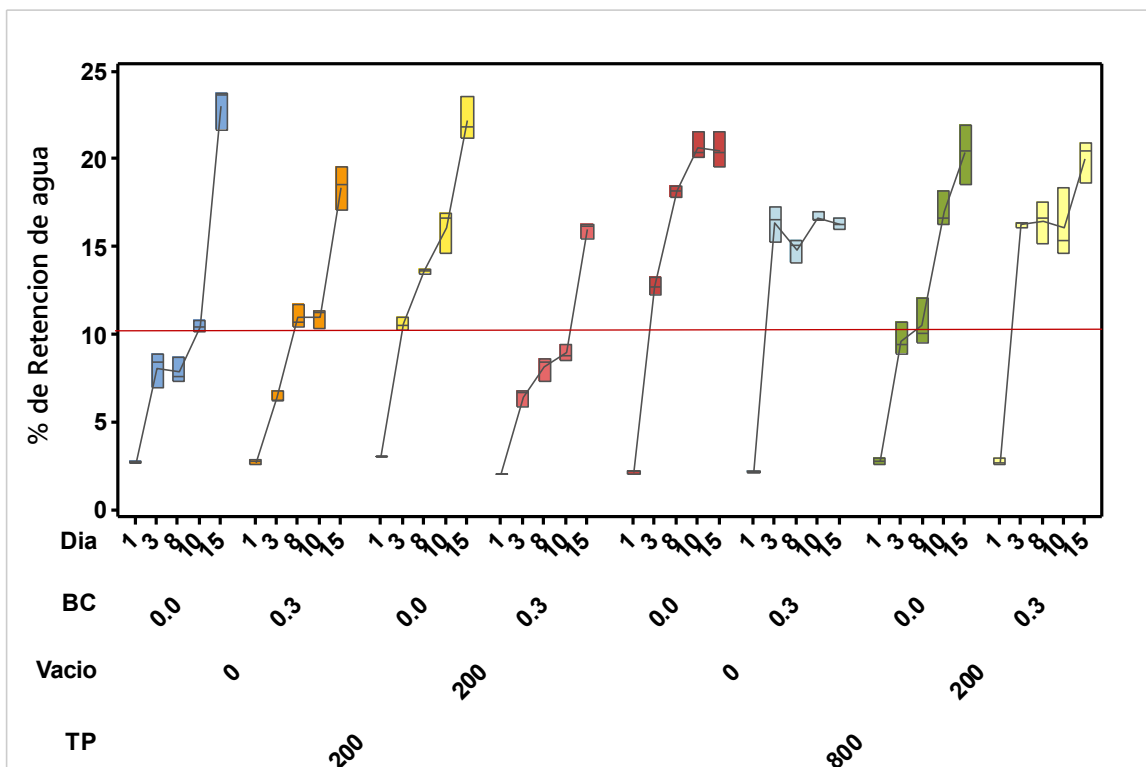


Figura 16, Cambios en la capacidad de retención de agua en trucha arcoíris almacenada después del pre-enfriamiento con hielo fluido. BC =  $\beta$ -caroteno; Vacio (mmHg), TP = tamaño de partícula.

Rørå et al, (2004) determinaron la capacidad de retención de agua por método centrifugo reportando pérdidas de retención de agua de entre 5 y 10 % al momento de llevar cabo el cálculo de retención, en nuestro caso al día 1 las muestras tuvieron una pérdida de 2 al 4 % de agua en todas las muestras. Song et al. (2011), Mostraron que la pérdida de agua a los 15 días de almacenamiento fue de entre 15 a 20 % empleado el método gravimétrico, esto marco diferencia para el caso de trucha pre-enfriada con hielo fluido de tamaño de partícula de 200 nm adicionado con  $\beta$ -caroteno ya que el empleo de recubrimiento limita la pérdida de humedad y contribuye a tener una mayor capacidad de retención de agua, siendo la pérdida de este menor al 15 %

## Conclusiones

La aplicación de hielo fluido en la conservación de la calidad de la trucha arcoíris tiene un impacto favorable, al verse afectados los parámetros de calidad así como, en lo que son los tiempos de enfriamiento y los daños que sufre, al ser partículas esféricas las que hacen el enfriamiento del producto reducen la pérdida de agua. El tamaño de partícula en este rubro juega un factor fundamental ya que a menor tamaño este puede penetrar a más puntos teniendo una mejor conservación de la trucha. Los parámetros de calidad se conservan de mejor forma a menores tamaños, esto se observa en la cantidad de agua que retiene la trucha, esto va muy de la mano con la dureza y firmeza que va a tener al final.

El uso de nanopartículas es de relevancia debido a que todas las muestras que fueron analizadas con un tamaño de 200nm, mostraron el mejor comportamiento en todos los parámetros analizados haciendo que las muestras que se añadió vacío 200mmHg y betacaroteno fueran las que mejor comportamiento tuvieron haciendo que se pudieran conservar mejor al paso de los 15 días de muestreo.

El tiempo ideal de conservación de la mayoría de las características del alimento es al día 10 de experimentación, los cambios que sufre son notorios, pero en la percepción son nulos, los olores despedidos por la trucha eran característicos del pescado siendo que al día 15 la putrefacción se percibía, los cambios de color que se analizaron, se observó que puede haber una buena fijación del betacaroteno al pescado, haciendo que el color mostrado en las muestras añadidas con el mismo, tuviera un menor cambio en la pigmentación

## Bibliografía

- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (Vol. 4). México: Pearson Educación.
- Bellas, I., & Tassou, S. (2005). Present and future applications of ice slurries. *International Journal of Refrigeration*, 28, 115-121.
- Birkeland, S., Røra, Bencze, A. M., Skara, T., & Bjerkgeng, B. (2004). Effects of cold smoking procedures and raw material characteristics on product yield and quality parameters of cold smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Research International*, 37, 273-286.
- Campos, C. L. (2005). Evaluation of an ozone–slurry ice combined refrigeration system for the storage of farmed turbot (*Psetta maxima*). *Food Chemistry*, 97(2), 223-230.
- Cardinal, M., Knockaert, C., Torrissen, O., & Sigurgisladottir, S. (2001). Relation of smoking parameters to the yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Research International*, 34, 537-550.
- Choubert, G., & Baccaunaud, M. (2006). Colour changes of fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fed astaxanthin or canthaxanthin during storage under controlled or modified atmosphere. *LWT*, 39, 1203–1213.
- Duncan, T. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24.
- Egolf, P. &. (2004). From physical properties of ice slurries to industrial ice slurry applications. *International Journal of Refrigeration*, 28(1), 4-12.
- Egolf, P., Kitanovski, A., Ata-Caesar, D., Stamatiou, E., Kawajib, M., & Strub, F. (2005). Thermodynamics and heat transfer of ice slurries. *International Journal of Refrigeration*, 28(1), 51-59.
- Ehsani, A., & Jasour, M. (2012). Determination of Short-Term Icing and Frozen Storage Characteristics of Ungutted Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 713-720.
- FAO. (2005). [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus\\_mykiss/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es).
- Hamzeh, A. &. (2012). The effects of sodium alginate on quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets stored at 4±2 C. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 21(1), 14-21.

- Hernández M., C. (2004). Formación de nanoemulsiones o/w mediante el cambio en la composición- formulación por dilución de sistemas próximos a la formulación óptima (Tesis de Ingeniería Química). Venezuela: Universidad de los Andes.
- Jain, D., Pathare, P. B., & Manikantan, M. (2007). Evaluation of texture parameters of Rohu fish (*Labeo rohita*) during iced storage. *Journal of Food Engineering*, 81, 336-340.
- Kauffeld, M., Wangb, M., Goldstein, V., & Kasza, K. (2010). Ice slurry applications. *International Journal of refrigeration*, 33, 1491-1505.
- Losada, V. P. (2004). Inhibition of chemical changes related to freshness loss during storage of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in slurry ice. *Food Chemistry*, 93(4), 619-625.
- Losada, V. V. (2006). Rancidity development in frozen pelagic fish: Influence of slurry ice as preliminary chilling treatment. *Food Science and Technology*, 40(6), 991-999.
- Mason, T. W. (2006). Nanoemulsions: Formation, structure and physical properties. *Journal of physics*, 18, 635-666.
- Matsumoto, K. &. (2008). Continuous ice slurry formation by using W/O emulsion with higher water content. *International journal of refrigeration*, 31, 874-882.
- Matsumoto, K. &. (2008). Development of W/O emulsion to form harmless ice slurry to human being. *International Journal of Refrigeration*, 32, 411-420.
- McClements, D. J. (1999). *Food Emulsions Principles, Practice and Techniques*. United States of America: CRC Press.
- Mexis, S., Chouliara, E., & Kontominas, M. (2009). Combined effect of an oxygen absorber and oregano essential oil on shelf life extension of rainbow trout fillets stored at 4 °C. *Food Microbiology*, 26(6), 598-605.
- Mirhosseinia, H., Ping Tana, C., Hamidb, N. S., & Yusofc, S. (2008). Effect of Arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on  $\zeta$ -potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1(3), 47-56.
- Ostertag, F. W. (2012). Low-energy formation of edible nanoemulsions: Factors influencing droplet size produced by emulsion phase inversion. *Journal of Colloid and Interface Science*, 388, 95-102.



- Padrón Pereira, C. A. (2009). Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIEL-L\*A\*B\*. *Agronomía Costarricense*, 33, 283-301.
- Piñeiro, C. B.-V. (2004). Effects of newer slurry ice systems on the quality of aquatic food products: a comparative review versus flake-ice chilling methods. *Food Science & Technology*, 15, 572-582.
- Rao, J., & McClements, D. J. (2012). Food-grade microemulsions and nanoemulsions: Role of oil phase composition on formation and stability. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 326-334.
- Rasmussen, R. S., Heinrich, M. T., Hyldig, G., Rasmussen, R. S., Heinrich, M. T., & Hyldig, G. (2011). Moderate exercise of rainbow trout induces only minor differences in fatty acid profile, texture, white muscle fibres and proximate chemical composition of fillets. *Aquaculture*, 314, 159-164.
- Regost, C., Jakobsen, J. V., & Røra, A. M. (2004). Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage. *Food Research International*, 37, 259-271.
- Rodríguez, A. C. (2007). Changes in the flesh of cooked farmed salmon (*Oncorhynchus kisutch*) with previous storage in slurry ice (-1.5 °C). *Food Science and Technology*, 1726-1732.
- Rodríguez, O. V. (2004). Effects of storage in slurry ice on the microbial, chemical and sensory quality and on the shelf life of farmed turbot. *Food Chemistry*, 95(2), 270-278.
- Sagarpa. (2012).  
[http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/9269/Anuario\\_estadistico2010\\_151211.pdf](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/9269/Anuario_estadistico2010_151211.pdf).
- Ševčíková, P. K. (2012). On the preparation and characterization of nanoemulsions produced by phase inversion emulsification. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 410, 130-135.
- Skonberg, D. I. (1998). Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-phosphorus feeds containing corn or wheat glute. *Aquaculture*, 166(3), 269-277.

Sonneville-Aubrun, O., Simonnet, J.-T., & L'Alloret, F. (2004). Nanoemulsions: a new vehicle for skincare products. *Advances in Colloid and Interface Science*, 108, 145-149.

Verdinelli, V., Messina, P., Pablo, S., & Bruno, V. (2008). Hydrophile–lipophile balance (HLB) of n-alkane phosphonic acids and their salts. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 316, 131–135.

Zambrano Zaragoza, M. L. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsified diffusion method. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1362-1368.