



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA ZOOTECNIA**

**“PIGMENTANTES NATURALES EN LA COLORACIÓN DE LA  
CARNE DE TRUCHA ARCOÍRIS”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**AUTOR:** ENRIQUE ISRAEL ROMÁN HIDALGO  
**DIRECTOR:** Ing. MARITZA LUCÍA VACA CÁRDENAS, Mgs.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Enrique Israel Román Hidalgo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, **ENRIQUE ISRAEL ROMÁN HIDALGO** declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.



Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Riobamba, 07 de diciembre de 2021.

**Enrique Israel Román Hidalgo**

**180401637-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**CARRERA ZOOTECNIA**

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de investigación “**PIGMENTANTES NATURALES EN LA COLORACIÓN DE LA CARNE DE TRUCHA ARCOÍRIS**”, realizado por el señor: **ENRIQUE ISRAEL ROMÁN HIDALGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Marcelo Eduardo Moscoso Gómez, Ph. D. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado digitalmente por <b>MARCELO EDUARDO MOSCOSO GOMEZ</b>	<u>07-12-2021</u>
Ing. Maritza Lucía Vaca Cárdenas, Mgs. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MARITZA LUCIA VACA CARDENAS</b>	<u>07-12-2021</u>
Ing. Luis Antonio Velasco Matveev, Mgs. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	<b>LUIS ANTONIO VELASCO MATVEEV</b> Firmado digitalmente por LUIS ANTONIO VELASCO MATVEEV Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, l=RIOBAMBA, serialNumber=0602887424, cn=LUIS ANTONIO VELASCO MATVEEV Fecha: 2022.01.24 12:50:37 -05'00'	<u>07-12-2021</u>

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

<b>1.</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>2</b>
1.1.	Trucha Arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ).....	2
1.2.	Pigmentación en salmónidos.....	2
1.3.	Carotenoides .....	4
1.4.	Metabolismo y absorción .....	4
1.5.	Función de los carotenoides.....	5
1.6.	Factores que afectan la absorción y deposición de carotenoides .....	5
1.7.	Evaluación del color en salmónidos.....	6
1.8.	Astaxantina .....	7
1.9.	Fuentes de pigmentos naturales .....	7
<b>1.9.1.</b>	<b><i>Crustáceos</i></b> .....	<b>7</b>
<b>1.9.2.</b>	<b><i>Piña marina, sea pineapple (Halocynthia roretzi)</i></b> .....	<b>10</b>
<b>1.9.3.</b>	<b><i>Levaduras</i></b> .....	<b>11</b>
<b>1.9.4.</b>	<b><i>Algas</i></b> .....	<b>12</b>
<b>1.9.5.</b>	<b><i>Plantas Superiores</i></b> .....	<b>16</b>
1.9.5.1.	<i>Paprika, chile, ají, pimentón rojo o chile ancho (Capsicum annuum)</i> .....	16
1.9.5.2.	<i>Margarita, marigold, caléndula o cempasúchil (Tagetes erecta)</i> .....	19
1.9.5.3.	<i>Ojo de perdiz (Adonis aestivalis)</i> .....	20
1.9.5.4.	<i>Morera negra (Morus nigra)</i> .....	21
1.9.5.5.	<i>Polen</i> .....	22
1.9.5.6.	<i>Maíz (Zea mays)</i> .....	23
1.9.5.7.	<i>Soja (Glycine max)</i> .....	24

## CAPITULO II

<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.</b>	Búsqueda bibliográfica .....	25
<b>2.1.1.</b>	<i>Plataformas digitales, científicas</i> .....	25
<b>2.2.</b>	Criterios de selección .....	26
<b>2.3.</b>	Métodos para sistematización de la información .....	28

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS DE INVESTIGACIONES Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.</b>	Mecanismos para la administración de pigmentantes naturales en la carne de trucha arcoíris.....	<b>29</b>
<b>3.1.1.</b>	<i>De origen animal</i> .....	<b>29</b>
<b>3.1.1.1.</b>	<i>Harina de desechos de camarón del pacífico (Pandalus jordani)</i> .....	29
<b>3.1.1.2.</b>	<i>Harina de Krill (Euphasia superba)</i> .....	29
<b>3.1.1.3.</b>	<i>Harina de cangrejo de río (Procambarus clarkii)</i> .....	29
<b>3.1.1.4.</b>	<i>Extracto de piña marina (Halocynthia roretzi)</i> .....	29
<b>3.1.2.</b>	<i>De origen vegetal</i> .....	<b>30</b>
<b>3.1.2.1.</b>	<i>Harina de pimiento rojo o paprika (Capsicum annum)</i> .....	30
<b>3.1.2.2.</b>	<i>Harina de flor de caléndula (Tagetes erecta)</i> .....	31
<b>3.1.2.3.</b>	<i>Harina de microalga verde (Spirulina platensis)</i> .....	31
<b>3.1.2.4.</b>	<i>Harina de gluten de maíz (Zea mays)</i> .....	31
<b>3.1.2.5.</b>	<i>Harina de alga marina (Gracilaria vermiculophylla)</i> .....	31
<b>3.1.2.6.</b>	<i>Harina de soja (Glycine max) fermentada con levadura roja (P. rhodozyma) ...</i>	32
<b>3.1.2.7.</b>	<i>Extracto de paprika, ají, chile ancho (Capsicum annum)</i> .....	33
<b>3.1.2.8.</b>	<i>Extracto de flor ojo de perdiz (Adonis aestivalis)</i> .....	33
<b>3.1.2.9.</b>	<i>Extracto de polen</i> .....	34
<b>3.1.2.10.</b>	<i>Oleoresina de paprika, chile ancho (Capsicum annum)</i> .....	35
<b>3.1.2.11.</b>	<i>Oleoresina de cempasúchil (Tagetes erecta)</i> .....	36
<b>3.1.2.12.</b>	<i>Polvo de morera negra (Morus nigra)</i> .....	37
<b>3.1.2.13.</b>	<i>Levadura roja (Phaffia rhodozyma)</i> .....	37
<b>3.1.2.14.</b>	<i>Biomasa de microalgas</i> .....	37
<b>3.2.</b>	Efectos de los diferentes pigmentantes naturales en la trucha arcoíris .....	<b>38</b>

3.2.1.	<i>Ganancia de peso diario (g)</i> .....	39
3.2.2.	<i>Contenido de carotenoides en la carne (mg/kg)</i> .....	40
3.3.	Métodos más efectivos de pigmentación natural de la carne de trucha arcoíris ..	42
3.3.1.	<i>Métodos de origen animal</i> .....	42
3.3.2.	<i>Métodos de origen vegetal</i> .....	43
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	45
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	46
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Harina y extracto de origen animal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales.....	30
<b>Tabla 2-3:</b>	Harina de origen vegetal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales.....	32
<b>Tabla 3-3:</b>	Extractos de origen vegetal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales.....	34
<b>Tabla 4-3:</b>	Oleoresina como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales	36
<b>Tabla 5-3:</b>	Otros mecanismos para la administración de pigmentantes naturales .....	38
<b>Tabla 6-3:</b>	Ganancia de peso diario (g) .....	39
<b>Tabla 7-3:</b>	Contenido de carotenoides en la carne (mg/kg).....	41
<b>Tabla 8-3:</b>	Métodos de origen animal.....	43
<b>Tabla 9-3:</b>	Métodos de origen vegetal que originaron un color rosa.....	43
<b>Tabla 10-3:</b>	Métodos de origen vegetal que originaron un color rojo .....	44



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ).....	2
<b>Figura 2-1:</b>	Cangrejo de río ( <i>Procambarus clarkii</i> ) .....	9
<b>Figura 3-1:</b>	Krill ( <i>Euphasia superba</i> ).....	9
<b>Figura 4-1:</b>	Camarón del pacífico ( <i>Pandalus jordani</i> ).....	9
<b>Figura 5-1:</b>	Piña marina ( <i>Halocynthia roretzi</i> ).....	10
<b>Figura 6-1:</b>	Levadura roja ( <i>Phaffia rhodozyma</i> ) .....	12
<b>Figura 7-1:</b>	Microalga verde ( <i>Haematococcus pluvialis</i> ).....	14
<b>Figura 8-1:</b>	Microalga ( <i>Chlorella vulgaris</i> ) .....	15
<b>Figura 9-1:</b>	Microalga verde ( <i>Spirulina platensis</i> ).....	15
<b>Figura 10-1:</b>	Alga marina ( <i>Gracilaria vermiculophylla</i> ) .....	16
<b>Figura 11-1:</b>	Paprika, chile, ají, chile ancho o pimentón rojo ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	18
<b>Figura 12-1:</b>	Margarita, marigold, caléndula o cempasúchil ( <i>Tagetes erecta</i> ) .....	19
<b>Figura 13-1:</b>	Ojo de perdiz, gota de sangre o adonis de primavera ( <i>Adonis aestivalis</i> ).....	21
<b>Figura 14-1:</b>	Morera negra ( <i>Morus nigra</i> ) .....	22
<b>Figura 15-1:</b>	Polen de abeja .....	23
<b>Figura 16-1:</b>	Harina de gluten de maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	23
<b>Figura 17-1:</b>	Harina de soja ( <i>Glycine max</i> ).....	24

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Ganancia de peso diario (g/día).....	40
<b>Gráfico 2-3:</b> Contenido de carotenoides en la carne (mg/kg) .....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A:</b>	EFFECT OF BEE POLLEN EXTRACT AS A SOURCE OF NATURAL CAROTENOIDS ON THE GROWTH PERFORMANCE AND PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT ( <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> ).....	8
<b>ANEXO B:</b>	THE EFFECTS OF SPIRULINA PLATENSIS MEAL AS A FEED SUPPLEMENT ON GROWTH PERFORMANCE AND PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT ( <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> ).....	8
<b>ANEXO C:</b>	FEEDING INCREASING LEVELS OF CORN GLUTEN MEAL INDUCES SUBOPTIMAL MUSCLE PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT ( <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> ).....	8
<b>ANEXO D:</b>	UTILIZATION OF <i>ADONIS AESTIVALIS</i> AS A DIETARY PIGMENT SOURCE FOR RAINBOW TROUT ( <i>SALMO GAIRDNERI- ONCORHYNCHUS MYKISS</i> ).....	9

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue recopilar información relevante acerca de los pigmentantes naturales en la coloración de la carne de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*); se realizó una búsqueda de publicaciones científicas en las siguientes bases de datos electrónicas especializadas: SCIEANDO, SPRINGER, WILEY ONLINE LIBRARY, SCIENCE & SPRINGER LINK, donde se encontró indagación acerca de los mecanismos empleados para la administración de los pigmentantes naturales, mediante harinas, extractos y oleorresinas como las más comunes empleadas en la mayoría de las investigaciones experimentales recopiladas, así mismo existen otros mecanismos poco investigados por ejemplo biomasa de algas, células intactas de levadura roja o fragmentadas y polvo de morera negra (*Morus nigra*). Se recopiló información sobre los efectos de los diferentes pigmentantes naturales, es decir sobre la ganancia de peso diario (g/día) parámetro del crecimiento de la trucha arcoíris, el valor más bajo fue de 0,76 g/día con el uso de polvo de morera negra (*Morus nigra*), además el más alto fue de 5,15 g/día con oleorresinas de paprika (*Capsicum annum*) y flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*); otro efecto fue el contenido de carotenoides en la carne medido en mg/kg, el valor más bajo fue de 2,4 mg/kg con la implementación del extracto de chile (*Capsicum annum*), mientras que 8,5 mg/kg fue el valor más alto, con la utilización del extracto de piña marina (*Halocynthia roretzi*). Los métodos más efectivos fueron aquellos que originaron los colores rojo y rosa en carne, debido a que son ideales para comercializar, por ejemplo, el uso de harina de krill (*Euphasia superba*) de origen animal que causó un color rojo-rosa pálido, mientras que de origen vegetal como el extracto de polen produjo un color rosa pálido o la harina de pimienta roja (*Capsicum annum*) que originó un color rojo.

**Palabras clave:** <PIGMENTANTES NATURALES>, <CAROTENOIDES>, <ASTAXANTINA>, <COLORACIÓN>, <TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)>.



1899-DBRA-UTP-2021

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to collect relevant information about the natural pigmentants in the coloring of the meat of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). A search of scientific publications was carried out in the following specialized electronic databases: SCIENDO, SPRINGER, WILEY ONLINE LIBRARY, SCIENCE & SPRINGER LINK, where an investigation was found about the mechanisms used for the administration of natural pigmentants, using flours, extracts and oleoresins as the most common ones used in most of the experimental investigations. Likewise, there are other mechanisms that are not very well investigated, for example algae biomass, intact or fragmented red yeast cells and black mulberry powder (*Morus nigra*). Information was collected on the effects of the different natural pigmentants, that is, on the daily weight gain (g / day) and growth parameter of the rainbow trout. The lowest value was 0.76 g / day with the use of powder of black mulberry (*Morus nigra*). In addition, the highest one was 5.15 g / day with oleoresins of paprika (*Capsicum annum*) and marigold flower (*Tagetes erecta*). Another effect was the carotenoid content in the meat measured in mg / kg. The lowest value was 2.4 mg / kg with the implementation of the chili extract (*Capsicum annum*), while 8.5 mg / kg was the higher value with the use of the extract of marine pineapple (*Halocynthia roretzi*). The most effective methods were those that originated the red and pink colors in meat, because they are ideal for marketing, for example, the use of krill meal (*Euphasia superba*) of animal origin that caused a pale red-pink color, while that of vegetable origin such as pollen extract produced a pale pink color or the red pepper flour (*Capsicum annum*) that originated a red color.

**Keywords:** <NATURAL PIGMENTANTS>, <CAROTENOIDS>, <ASTAXANTIN>, <COLORATION>, <RAINBOW TROUT MEAT>.

## INTRODUCCIÓN

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es una especie acuícola originaria de América del norte, está presente en los ríos que desembocan en el Pacífico, desde el sur de Alaska hasta el norte de México; fue introducida para la pesca deportiva y acuicultura en todos los continentes a excepción de la Antártica a finales del siglo XIX (JACUMAR, 2018, p.01).

La preferencia de consumo de productos acuícolas como la trucha arcoíris se encuentra influenciada por la coloración rosado-rojo de su carne, la coloración característica de los salmónidos silvestres es debido al consumo de carotenoides en la dieta procedentes principalmente de crustáceos (Torres, E., 2018, p.09).

Los carotenoides se clasifican en carotenos y xantofilas son pigmentos naturales utilizados como aditivos alimentarios en acuicultura para la coloración de la carne de los salmónidos y como nutracéuticos y aditivos en alimentos para consumo humano (Rubio, S., 2018, p.01).

En la actividad truchícola se recurre a la administración de pigmentantes sintéticos mediante el alimento balanceado estos pigmentantes sintéticos a largo plazo resultan ser muy costosos para las exportaciones llegando a representar un 18% del costo total de la dieta en promedio.

Actualmente la actividad acuícola a nivel mundial registra una serie de investigaciones basadas en encontrar los pigmentantes naturales que brinden los mejores resultados al momento de proporcionar una coloración salmonada a la carne de trucha arcoíris, dando alternativas económicas principalmente para pequeños y medianos productores con el fin de entregar un producto más aceptable para el mercado.

En el presente proyecto de investigación, se buscó determinar el efecto de los diversos pigmentantes naturales en la coloración de la carne de trucha arcoíris y la habilidad que tienen estos ejemplares para sintetizar cada una de ellas.

Los objetivos propuestos fueron, conocer los mecanismos para la administración de pigmentantes naturales en la carne de trucha arcoíris, recopilar información científica acerca de los efectos de los diferentes pigmentantes naturales, y establecer los métodos de pigmentación natural de la carne de trucha más efectivos.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (ver figura 1-1) es una especie acuícola apta para el cultivo en zonas frías y templadas, se caracteriza por poseer el dorso de color azul a verde oliva, los flancos plateados y vientre blanquecino, presenta manchas negras en la cabeza, cuerpo, aletas dorsales y cola, su coloración varía en función del hábitat, alimentación, tamaño y condición sexual (JACUMAR, 2018, p.01).



**Figura 1- 1.** Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Fuente: Cabral, A., 2005

#### 1.2. Pigmentación en salmónidos

Los salmónidos tienen la capacidad de absorber pigmentantes debido a que genéticamente poseen la habilidad de almacenarlos en sus músculos, piel y ovocitos, dichos pigmentos que confieren el color a la carne de los salmónidos se denominan carotenoides (Muñoz, S., 2000, p. 02).

Los pigmentos en la carne de los salmónidos no solo están destinados a mejorar su aspecto visual, sino que también son considerados precursores de la vitamina A y actúan como antioxidantes, protegiendo los lípidos de la peroxidación, la cual puede acelerar la muerte celular (Martínez, J., 2017, p.10).

Los salmónidos que habitan libres en la naturaleza tienen acceso a alimento vivo que contiene carotenoides en forma natural, a diferencia de los que son criados bajo sistemas intensivos en cautiverio por lo que su carne carece de pigmento y es necesario suplementar en su dieta ingredientes ricos en carotenoides para obtener de tal forma una coloración apetecida para los consumidores (De la Mora, 1996, p. 15).

La ausencia de pigmentación en la carne no significa que presente falta de cualidades nutritivas o ausencia de sabores y aromas, de hecho, en el caso de los salmónidos la trucha de ración se considera dietéticamente como pescado blanco, con todas las ventajas nutritivas (Andino, D., & López, D., 2011, p.27).

Dentro del grupo de carotenoides, encontramos las xantofilas que son pigmentos fotosintéticos secundarios, considerados como fuente de las vitaminas A y E, las cuales tienen propiedades antioxidantes, algunas de las fuentes naturales de estos pigmentos son por ejemplo el alga *Chlorella sp.*, paprika y flor de cempasúchil (De la Mora, 1996, p. 20).

La pigmentación de la carne de los salmónidos es debido a la absorción y deposición de carotenoides, mismos que en la naturaleza, son sintetizados por algas y bacterias, y finalmente llegan a este grupo de peces a través de la cadena alimenticia; los crustáceos, algas o pequeños peces por ejemplo son fuentes naturales de carotenoides (Télez, V., 1998, p. 05).

La intensidad de la pigmentación está en relación con la cantidad de pigmento que se encuentre retenido en el músculo, varía de acuerdo con diversos factores fisiológicos como por ejemplo tasa de crecimiento, peso, maduración y factores genéticos y dietéticos, así como la fuente de pigmentos, contenido de lípidos y concentración en la dieta (Martínez, J., 2017, p.11).

Se ha observado que el tipo de lípidos y su digestibilidad afecta la concentración de carotenoides en la carne; la digestibilidad de los carotenoides se reduce con las grasas saturadas y por lo tanto su incorporación en la carne (Muñoz, S., 2000, p.03).

Una trucha inmadura es capaz de acumular alrededor de un 10% del total de carotenoides en la piel, evidenciándose en la franja rosa a lo largo de la línea lateral, una proporción considerable de carotenoides son transportados hacia los ovocitos durante la maduración sexual, lo cual tiene como consecuencia una despigmentación importante del músculo (Muñoz, S., 2000, p.03).



### **1.3. Carotenoides**

Los pigmentos denominados carotenoides representan un grupo amplio de pigmentos polienicos, varían en coloración del amarillo al rojo pasando por el naranja, los carotenoides encontrados en salmónidos corresponden básicamente a astaxantina (3,3'-dihidroxi 4,4-diceto- $\beta$ -caroteno) y cantaxantina (4,4'-diceto-  $\beta$ -caroteno), es posible encontrar, aunque en menores concentraciones tisulares, adenorrubina, zeaxantina, luteína y otros compuestos carotenoides (De la Mora, 1996. p.16).

Los carotenoides son sustancias liposolubles, es decir son solubles en las grasas, pero no en agua, en los peces se acumulan especialmente en la piel y músculo (Meroi, C., et al., 2019, p.17); se encuentran distribuidos en bacterias, hongos, algas (*Haematococcus pluvialis*), levaduras (*Phaffia rhodozyma*), plancton, y krill (Muñoz, S., 2000, p.03), también en plantas con flores altamente desarrolladas y en mamíferos (Rodríguez, A.,2016, p.38).

El uso de carotenoides naturales en la alimentación de la trucha arcoíris, como colorante de la carne permite reducir los costos de producción y la utilización de productos químicos que intervienen en la etapa productiva (Imbaquingo, M., 2017, p.17).

### **1.4. Metabolismo y absorción**

Los salmónidos poseen una habilidad innata que les permite utilizar los carotenoides (astaxantina y cantaxantina), pero se desconoce la razón metabólica (Muñoz, S., 2000, p.03); mismos que son transportados en la sangre por lipoproteínas; los catabolitos (productos de desecho del metabolismo) están presentes en la bilis de la trucha arcoíris, lo cual indica que el hígado es el órgano óptimo para la metabolización de los carotenoides (Sosa, F., 1997, p. 05).

En cuanto a la absorción, se refiere a un proceso de asimilación de nutrientes a través del sistema digestivo hacia la sangre, por lo tanto, la absorción de astaxantina y cantaxantina aumenta con el contenido de lípidos en la dieta que se proporciona, dando como resultado niveles más altos de carotenoides en la carne (Muñoz, S., 2000, p.03).

La astaxantina se encuentra unida a una proteína, el tipo de asociación pigmento-proteína no es conocida y ésta puede definir la habilidad por parte de los peces para absorber el pigmento en el músculo (Armenta, R.; et al, 2002, p.49).

La absorción de la astaxantina ocurre principalmente en la parte posterior del intestino se absorbe 1.7 veces más rápido que la cantaxantina, la velocidad de absorción de esta última ocurre a las 24 horas, es un proceso lento comparado con la absorción de nutrientes esenciales (De La Mora, 1996, p.02); en el intestino a parte de la absorción también ocurre la conversión a vitamina A principalmente en la pared intestinal (Sosa, F., 1997, p. 05).

La astaxantina está aprobada por la Unión Europea para salmón y trucha en niveles de 100 mg kg-1 en suplementación completa a partir de los 6 meses de edad y sin límite de tiempo, la capacidad de absorción es limitada, en la trucha arcoíris el nivel es entre 10-25 mg kg-1 de carne (Torres, E., et al, 2018, p.31).

### **1.5. Función de los carotenoides**

Los carotenoides tienen un papel fotoprotector en las plantas, excepto por su función como precursor de la vitamina A (Torrissen, O., et al 1989, p.15); en los peces una de las funciones más conocidas es la actividad provitamina A, los salmónidos pueden convertir  $\beta$  caroteno, cantaxantina, luteína, zeaxantina y astaxantina, en vitamina A (Kamata, T., et al., 1992, p.01).

La movilización de los carotenoides y su transporte desde la carne a la piel y los ovarios durante la maduración ha llevado a la hipótesis de que los carotenoides tienen una función en la reproducción. Las posibles funciones de los carotenoides incluyen: Hormona de fertilización, fuente de pigmentos para cromatóforos, función en la respiración, protección contra la luz, resistencia a temperaturas elevadas y amoníaco, y provitamina A (Torrissen, O., et al., 1989, p.15).

### **1.6. Factores que afectan la absorción y deposición de carotenoides**

Se sabe que diversos factores, como la fuente de pigmento, composición de la dieta, estado fisiológico, tamaño del pez, estado de maduración sexual y antecedentes genéticos, afectan la absorción y el depósito de carotenoides en la carne de los salmónidos (Torrissen, O., et al., 1989).

Los peces con peso superior a 200 g tienen un nivel de pigmento más alto que los peces pequeños, en la trucha arcoíris de 150 g se deposita poca cantaxantina en la carne, con pesos de 80 g los peces absorben poco pigmento, pero más de 180g los peces muestran una excelente pigmentación (Kamata, T., et al., 1992, p.01).

A mayor peso es mayor el depósito de astaxantina en músculo, aumenta la eficiencia de retención a medida que aumenta el peso, es decir existe una relación positiva entre la concentración de astaxantina en músculo y el peso final; el efecto positivo de retención de astaxantina en el músculo por el aumento del porcentaje de lípidos en los tejidos, sugiere que los lípidos facilitan el transporte de astaxantina (Martínez, J., 2017, p.39).

### **1.7. Evaluación del color en salmónidos**

Las técnicas más usadas para determinar el nivel de pigmentación de la carne se dividen en: análisis químico para la cuantificación de los pigmentos en la carne y métodos basados en la estimación del color, para el primer caso se extraen los pigmentos del músculo con solventes (Muñoz, S., 2000, p.04).

Además, se determinan por la H.P.L.C. (High Performance Liquid Chromatography) o (Cromatografía líquida de alta resolución) y se cuantifican, además el método N.I.R.S. (Near Infrared Reflectance System) o (Sistema de reflectancia de infrarrojo cercano) para determinar la concentración de astaxantina en músculo y en ovas (Muñoz, S., 2000, p.04).

Para estimar el color existen dos métodos: el primero está basado en la comparación del color del filete o "steak" con la carta de colores o con el abanico colorimétrico de Roche y el segundo está basado en la medición de la intensidad del color usando métodos instrumentales; la carta de colores fue creada basada en salmón del Atlántico, posee una gama de colores de 11 a 18, que va desde el rosa pálido hasta rojo intenso; el color ideal depende de la especie oscila entre 14 y 16 (Muñoz, S., 2000, p.04).

El abanico colorimétrico Roche SalmoFan, reemplaza a la carta, posee una gama más amplia de colores, desde el 20 al 34, el color ideal está entre 30 a 33, existe una relación directa entre el color del músculo medido visualmente y la concentración de astaxantina hasta un nivel de 6-7 mg/kg, el ojo humano tiene una capacidad limitada para distinguir diferencias en el color de la carne con concentraciones superiores a éstas (Muñoz, S., 2000, p.04).

Es importante considerar la estandarización de las condiciones bajo las cuales se compara el color con la carta o el abanico, debido a que el medio ambiente puede modificar la percepción del color, para evitarlo se han diseñado "cajas de luz", que tienen una dimensión, un color y una intensidad

de luz determinada; los métodos instrumentales para medir color se basan en medidas de reflectancia y se usan cuando se necesita información más objetiva (Muñoz, S., 2000, p.04).

La colorimetría medida por instrumento permite especificar la sensación de color en unidades matemáticas, localizando un punto en un espacio tridimensional, el color puede ser evaluado en salmónidos con el sistema "L a b" (Commission Internationale de l'Eclairage, 1976), el color está caracterizado por tres parámetros: la cromaticidad roja/verde ( $a^*$ ), la cromaticidad amarilla/azul ( $b^*$ ), y la (L) luminosidad (Muñoz, S., 2000, p.04).

## **1.8. Astaxantina**

Existen 20 carotenoides, de los cuales la astaxantina es la más predominante siendo el principal pigmento responsable del color de la carne de los peces de vida silvestre (Muñoz, S., 2000, p.03). La astaxantina (del griego: Αστακός "cangrejo") se clasifica como un carotenoide xantofilo, perteneciente a una clase más amplia de compuestos químicos aromáticos conocidos como terpenos o tetraterpenoides, construidos a partir de cinco átomos de carbono, difosfato de isopentenilo y difosfato de dimetilalilo (Sánchez, A., 2019. p. 02).

La astaxantina es un pigmento soluble en lípidos, su color rojo naranja es debido a la cadena extendida de dobles enlaces conjugados tanto alternando dobles y simples en el centro del compuesto; las tasas más altas de astaxantina se encuentran de forma natural en microalgas, levaduras, krill, camarones, cangrejos y crustáceos salvajes; la variedad de microalgas verdes de agua dulce (*Haematococcus pluvialis*) es la fuente más rica para la producción de astaxantina (Sánchez, A., 2019. p. 02).

## **1.9. Fuentes de pigmentos naturales**

### ***1.9.1. Crustáceos***

Steel, R., (1971), investigó el procesamiento de los residuos del camarón del pacífico (*Pandalus jordani*) (ver figura 4-1) como fuente de pigmento para la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), Steel, R., (1971, p. 01), el desperdicio de camarón consistía en cáscara, vísceras y partículas residuales de carne, se secó hasta obtener una harina rosa (Steel, R., 1971, p. 20).

Se formularon cinco dietas ricas en pigmentos para evaluar un modo eficaz de transferencia de pigmentos en la trucha arcoíris, la pigmentación producida por estas dietas se comparó con una sexta dieta que se designó como control (Steel, R., 1971, p. 30).

La dieta 1 fue la dieta de control y no contenía materiales en pigmentos, dieta 2 contenía harina de desechos de camarón a un nivel del 15% en la mezcla seca, dieta 3 contenía camarón entero molido para evaluar los pigmentos naturales de los crustáceos similares a los que podría consumir una trucha en la naturaleza (Steel, R., 1971, p. 31).

La dieta 4 contenía un extracto de harina de desecho de camarón, se obtuvo mediante extracción de un lote (50 libras) de la harina de desecho de camarón con cloroformo; el extracto se diluyó con aceite de arenque, se añadió a un nivel del 7% de la mezcla seca. Dieta 5 también contenía un extracto de la harina de desecho de camarón, este extracto se añadió a un nivel del 7% de la mezcla seca (Steel, R., 1971, p. 31).

La dieta 6 contenía un carotenoide producido de forma comercial conocido como cantaxantina, se añadió a la dieta como un pigmento cristalino disperso en aceite de arenque a un nivel de 190 mg / kg de mezcla seca (Steel, R., 1971, p. 31).

Luego de 34 semanas de alimentación los resultados indicaron que la harina de desecho de camarón y el extracto de pigmento-lípido de la harina fueron los más efectivos para lograr la pigmentación muscular que resultó en un color rosa, mientras las dietas suplementadas con cantaxantina no produjo pigmentación cuando se administraron en forma cristalina (Steel, R., 1971, p. 99).

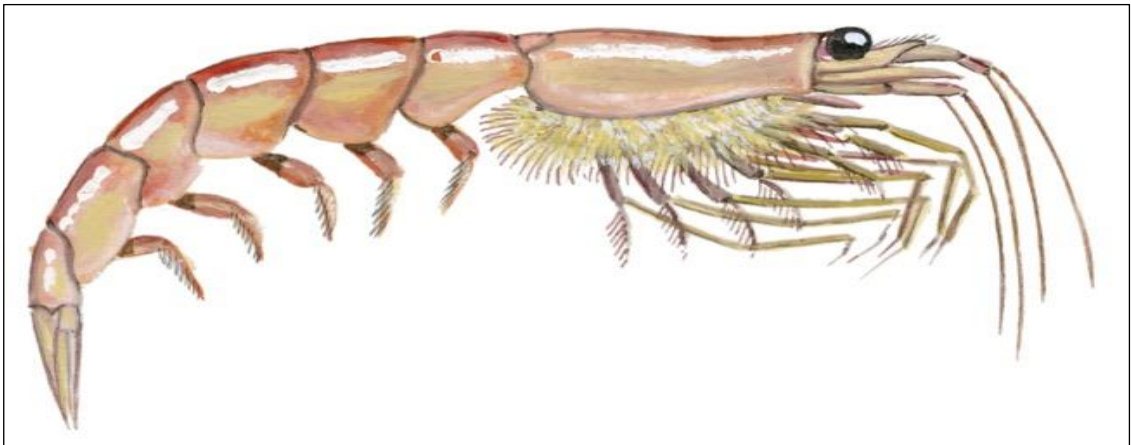
Roncarati, A., et al., (2011), investigaron el uso de harina de krill (*Euphasia superba*) (ver figura 3-1) en el pienso como pigmentante de carne de trucha arcoíris, reportaron un color rojo rosa pálido, al ser comparadas con truchas que recibieron astaxantina comercial; el color de los filetes fue evaluado bajo el método del DSM SalmoFan (DSM Nutritional Products, Parsippany), para el color rojo claro presenta una escala de 21 a 34, siendo 21 rojo claro y 34 rojo oscuro (Roncarati, A., et al., 2011, p.01).

Pulcinia, D., et al, (2021), investigaron la pigmentación muscular en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentada con dietas ricas en carotenoides naturales de microalgas y crustáceos, la implementación de harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) (ver figura 2-1), mostró una pigmentación rosa (Pulcinia, D., et al, 2021, p.01).



**Figura 2-1.** Cangrejo de río (*Procambarus clarkii*)

Fuente: Arias, A., 2008



**Figura 3-1.** Krill (*Euphasia superba*)

Fuente: European Commission, 2021.



**Figura 4-1.** Camarón del pacífico (*Pandalus jordani*)

Fuente: Gulf of Alaska, 2009.

### 1.9.2. Piña marina, sea pineapple (*Halocynthia roretzi*)

La piña marina (*Halocynthia roretzi*) (ver figura 5-1) es una ascidia comestible, principalmente se consume en Corea del Sur y Japón, donde se la conoce como hoyá; tiene un cuerpo con orificios a través de los cuales el agua fluye hacia adentro y hacia afuera de una faringe central (Loew, C., 2019).

Las ascidias son hermafroditas y viven en las aguas costeras poco profundas, se alimentan de plancton, se caracterizan por una “túnica” externa hecha del polisacárido tunicin (sustancia que se asemeja a la celulosa de las plantas) (Nguyen, T., et al, 2007).

Rohmah, Z., et al, (2016) investigaron el efecto de los carotenoides de la piña marina o sea pineapple (*Halocynthia roretzi*) sobre el crecimiento y la coloración muscular de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) criada en el mar (Rohmah, Z., et al, 2016, p.01).

Se administraron tres tratamientos dietéticos, control (C), CT y AT, a 6 grupos de peces, C contenía 40 mg/kg de astaxantina, 10 mg/kg de cantaxantina a la dieta de CT, mientras que AT contenía 10 mg/kg de extracto de carotenoides de tunicas de *H. roretzi* (Rohmah, Z., et al, 2016, p.01).

Se mostró que la suplementación de 10 mg/kg de carotenoides de *H. roretzi* tuvo un efecto positivo en el rendimiento del crecimiento de la trucha arcoíris criada en el mar en comparación con los otros tratamientos y en cuanto al color muscular se originó un rojo pálido (Rohmah, Z., et al, 2016, p.01).



**Figura 5-1.** Piña marina (*Halocynthia roretzi*)

**Fuente:** Loew, C., 2019.

### **1.9.3. Levaduras**

La levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) posee una pared celular compuesta por quitina, un bajo nivel de proteínas, y alto contenido de lípidos y de vitaminas del complejo B especialmente de niacina (1520 ppm) (Imbaquingo, M., 2017, p.30).

La cepa silvestre de la levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) contiene entre 30 y 800 mg de astaxantina libre/kg de levadura seca, debe tratarse con procesos mecánicos y digestión enzimática, para que la astaxantina sea biodisponible (Téllez, V., 1998, p. 10).

La levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) presenta un 100% de astaxantina no esterificada libre, es fácilmente absorbible y no es necesario hidrolizarlo en el tracto digestivo de las truchas arcoíris, en contraste con las fuentes sintéticas y bacterianas de astaxantina (Sánchez, A., 2019. p.04).

La levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) posee un contenido de astaxantina, que es más alto (5 a 50 veces) que el de las harinas de crustáceos, la deposición de astaxantina en la carne de la trucha depende de la preparación adecuada de las células de levadura antes de su inclusión en el alimento (Johnson, E., et al., 1980, p.01).

Johnson, E., et al., (1980) demostraron que la astaxantina no estaba disponible a partir de la levadura intacta, por lo cual procedieron a fragmentarla de forma mecánica, dando como resultado una deposición más eficaz de astaxantina en la carne de la trucha; más detalladamente se produjo cuando la pared celular de *P. rhodozyma* se eliminó parcialmente mediante digestión enzimática, y se obtuvo un color rosa salmón (Johnson, E., et al., 1980, p.01).

Gentles, A., et al., (1991) realizaron tratamientos de células intactas de levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) mediante molienda mecánica (MY “mechanical milling”), tratamiento enzimático (EY “enzyme treatment”), secado por aspersión (SY “spray-drying”) y extracción de los carotenoides (C) antes de su inclusión en la dieta de la trucha arcoíris, dieron como resultado una excelente coloración, se obtuvo un color rojo en la carne después de 8 semanas, con el tratamiento secado por aspersión (Gentles, A., et al., 1991, p.01).





**Figura 6-1.** Levadura roja (*Phaffia rhodozyma*)

**Fuente:** Fitomanager, 2021

#### **1.9.4. Algas**

Las algas son la principal fuente natural de astaxantina, por ejemplo, la microalga (*Haematococcus pluvialis*) parece poseer los niveles más altos de astaxantina en la naturaleza y es la principal fuente industrial para la producción natural de astaxantina, pudiéndose obtener 40 gramos de astaxantina a partir de un kilo de biomasa seca (Sánchez, A., 2019. p.04).

Las microalgas se cultivan en dos fases, primero en fase verde, las células reciben una gran cantidad de nutrientes para promover la proliferación de las células, posteriormente, en la fase roja sucesiva, las células se someten a luz solar intensa para inducir el ardor (carotogénesis) y se suspende la administración de nutrientes, entonces estas células producen altos niveles de astaxantina como mecanismo protector contra el estrés ambiental y finalmente se recolectan las células, con altas concentraciones de astaxantina (Sánchez, A., 2019. p.4).

La microalga del agua de lluvia (*Haematococcus pluvialis*) (Ver Figura 7-1) produce de manera natural astaxantina de un pigmento rojo intenso, las especies que consumen este tipo de microalga de agua dulce como, por ejemplo, flamencos, crustáceos, camarones, krill, langostas o cangrejos, poseen una mayor pigmentación de tonos rojos y naranjas en sus apariencias; químicamente es parecida a la  $\beta$ -caroteno que encontramos en las zanahorias o la vitamina A (Sánchez, A., 2019. p.02).

La implementación de microalgas en la alimentación de truchas arcoíris, con preparaciones enteras y fragmentadas de esporas del alga verde (*Haematococcus pluvialis*) dan como resultado

una deposición significativa de astaxantina, así como una mejora visual de la coloración de la carne en la trucha arcoíris (Sommer, et al., 1991, p.01).

Teimouri, M., et al, (2013), evaluaron los efectos de la harina de la microalga verde (*Spirulina platensis*) en dosis 0; 2,5; 5; 7,5; y 10 % como complemento alimenticio sobre el crecimiento y la pigmentación de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en comparación con la astaxantina sintética en dosis de 50 mg/kg (Teimouri, M., et al, 2013, p.01).

Los niveles más altos de pigmentación y concentración de carotenoides en el filete se produjeron con la dosis del 10 % (4mg/kg) se obtuvo un color muscular rojo, mientras que, no hubo diferencias en la concentración de carotenoides con las dietas de 2.5, 5% de *S. platensis* y astaxantina, y finalmente la dieta de control presentó la concentración más baja de carotenoides (Teimouri, M., et al, 2013, p.03).

Los resultados demostraron que la microalga *S. platensis* se puede implementar como aditivo alimentario para inducir la pigmentación de la trucha arcoíris, además es una fuente de carotenoides naturales eficaz en lugar de astaxantina sintética, así mismo se demostró que *S. platensis* se puede utilizar como sustituto de la harina de pescado debido a su alto contenido de proteínas y sin impactos negativos en el rendimiento de los peces (Teimouri, M., et al, 2013, p.07).

Young, A., et al., (2017), evaluaron una variedad de técnicas de disrupción celular física para ayudar al procesamiento de hematocistos de *Haematococcus pluvialis* ricos en astaxantina para su inclusión en alimentos para salmónidos, demostraron que la rotura celular mediante un sistema de tratamiento a presión es eficaz para romper los hematocistos sin alterar el contenido o la composición isomérica de carotenoides en las células de las algas (Young, A., et al., 2017, p.01).

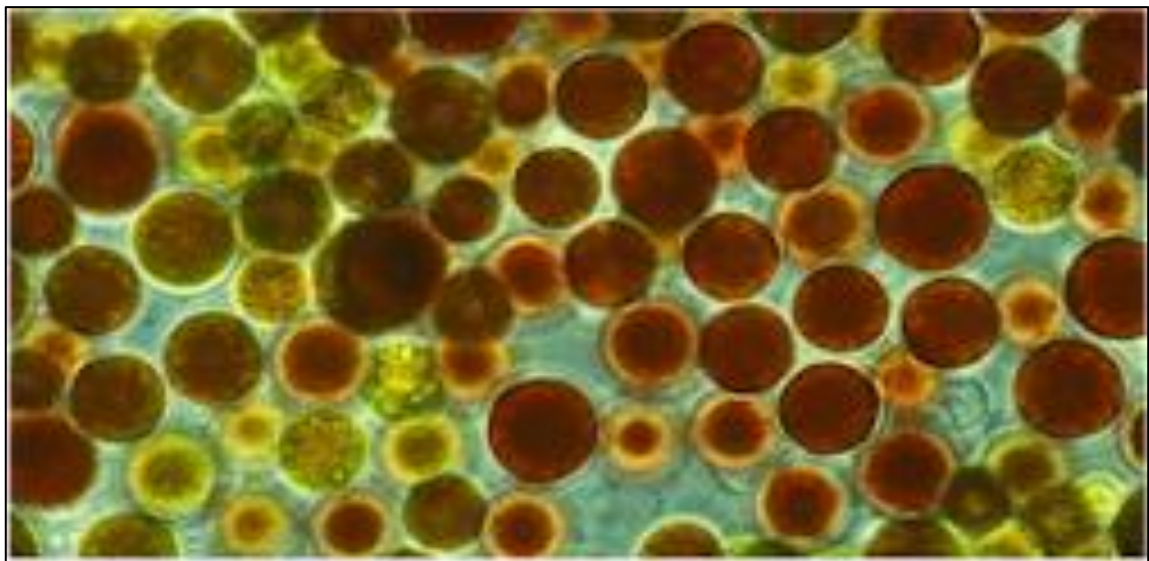
Las células se secaron por aspersión, se incorporaron a dietas comerciales y se alimentaron a las truchas arcoíris, se logró un nivel comercializable de pigmentación en el músculo después de diez semanas (Young, A., et al., 2017, p.01)

Araujo, M., et al., (2015) investigaron la inclusión dietética del alga marina (*Gracilaria vermiculophylla*) cultivada con sistemas integrados de acuicultura multitrófica (IMTA) en dietas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): efectos sobre el crecimiento, morfología intestinal, pigmentación tisular y respuesta inmunológica (Araujo, M., et al., 2015, p.01).

Se formuló una dieta de control (CTRL) de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la trucha arcoíris en crecimiento (20-200 g) y se comparó con dos dietas experimentales con 5% (G5) y 10% (G10) de harina de *Gracilaria spp.* (Araujo, M., et al., 2015, p.03), se distribuyeron aleatoriamente grupos por triplicado de 25 peces (peso promedio de  $67,04 \pm 0,35$  g) entre nueve tanques de fibra de vidrio (120 L) (Araujo, M., et al., 2015, p.05).

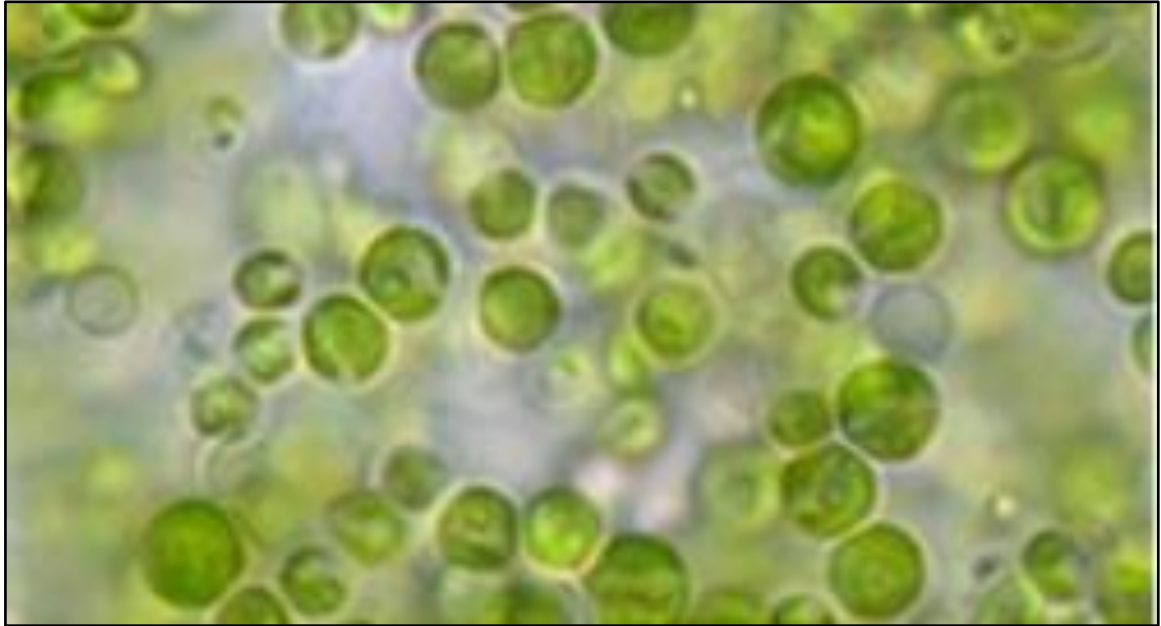
Las dietas experimentales se asignaron de forma aleatoria a los tanques estableciendo grupos triplicados de peces por tratamiento, mismos que fueron alimentados manualmente dos veces al día durante 91 días (Araujo, M., et al., 2015, p.05), los datos mostraron que los filetes del tratamiento dietético G10 fueron más rojizos que los grupos G5 y CTRL (Araujo, M., et al., 2015, p.07).

Pulcinia, D., et al., (2021), investigaron la pigmentación muscular en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentada con dietas ricas en carotenoides naturales de microalgas y crustáceos, la implementación de la mezcla de biomasa seca de microalgas (*Arthrospira platensis*, *Tisochrysis lutea* y *Tetraselmis suecica*) en la alimentación, dieron como resultado un color amarillo indeseable (Pulcinia, D., et al., 2021, p.01).



**Figura 7-1.** Microalga verde (*Haematococcus pluvialis*)

**Fuente:** Benavente, J., & Montañez, J., 2016



**Figura 8-1.** Microalga (*Chlorella vulgaris*)

**Fuente:** Benavente, J., & Montañez, J., 2016



**Figura 9-1.** Microalga verde (*Spirulina platensis*)

**Fuente:** Altiner, A., & Bilal, T., 2020



**Figura 10-1.** Alga marina (*Gracilaria vermiculophylla*)

**Fuente:** Ginneken, V., 2017

### ***1.9.5. Plantas Superiores***

#### ***1.9.5.1. Paprika, chile, ají, pimentón rojo o chile ancho (*Capsicum annuum*)***

Vernon, J., et al., (1994) evaluaron los pigmentos contenidos en los extractos de chile ancho (*Capsicum annuum*) (ver figura 10-1) saponificados, en la piel y músculo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), emplearon tres tratamientos experimentales incorporando extractos de chile saponificado, sin saponificar y astaxantina comercial en la dieta; los extractos de chile ancho causaron un color más claro y menos rojo en comparación con la astaxantina comercial (Vernon, J., et al., 1994, p. 02).

De La Mora, G., (1996) investigó el efecto de la pigmentación en el músculo de la trucha arcoíris, con la adición de pigmentos de las oleorresinas de paprika (*Capsicum annuum*), en comparación con el uso de la astaxantina sintética (Carofil rosa); los tratamientos utilizados fueron oleorresina saponificada de paprika en dos concentraciones 40 000 y 80 000 unidades de color (U.C.) y oleorresina no saponificada de paprika 40 000 UC (De La Mora, G., 1996, p. 25).

Se evaluó el color de forma cuantitativa y cualitativa, para la primera evaluación se utilizó un colorímetro de refractancia, en relación con la segunda que se comparó el color de los músculos con tablas de colores estandarizados para salmónidos; el color obtenido fue rosa pálido para el uso de paprikas (De La Mora, G., 1996, p. 14).

Sosa, F., (1997) comparó el color muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) conseguido por la adición de pigmentos vegetales de paprika (*Capsicum annuum*) y flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*), se implementó los tratamientos de oleoresina saponificada de paprika y de cempasúchil (50%) + paprika (50%), el color que se adquirió a partir de cempasúchil + paprika fue naranja, mientras que la paprika fue rojo salmonado (Sosa, F., 1997, p.25).

Yanar, Y., et al., (2007) inquirieron el efecto de los carotenoides del pimiento rojo (*Capsicum annuum*) y la flor de caléndula (*Tagetes erecta*), sobre la pigmentación, las propiedades sensoriales y la composición de ácidos grasos de la trucha arcoíris (Yanar, Y., et al., 2007, p.01); el pimiento rojo y la flor de caléndula, son baratos, abundantes y ricos en pigmentos carotenoides, pueden considerarse fuentes alternativas (Yanar, Y., et al., 2007, p.02).

Se utilizaron cuatro tipos de dietas en el experimento, fueron los siguientes: Dieta CO para el grupo control (dieta basal, sin adición de carotenoides), dieta AS suplementada con 70 mg/ kg de astaxantina comercial (Carophyll-pink), dieta RP suplementada con harina de pimiento rojo al 5%, y dieta MF suplementada con 1.8% de harina de flor de caléndula (Yanar, Y., et al., 2007, p.02); el color originado con la harina pimiento rojo fue rosa claro (Yanar, Y., et al., 2007, p.04).

Andino, D., & López, D., (2011) indagaron el efecto del extracto de ají (*Capsicum annuum*) en la pigmentación del músculo y su fijación con selenio orgánico en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en comparación con alimento pigmentado y con aceite de krill en alimento sin pigmento, se utilizaron dos dosis de carotenoides procedentes del ají 80 y 120 ppm y tres dosis de selenio orgánico 0, 0.03, 0.05% por kg de alimento (Andino, D., & López, D., 2011, p. 02).

Los resultados en cuanto a la coloración el mejor tratamiento fue T6 (120 ppm + 0,05%) lo que indica que es posible utilizar extracto de ají en la pigmentación y fijarlo con selenio orgánico en el músculo de la trucha arcoíris (Andino, D., & López, D., 2011, p. 02).

Akhtar, P., et al, (2016) estudiaron la pigmentación dietética y deposición de  $\alpha$ -tocoferol y carotenoides en el tejido muscular y hepático de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se implementaron dietas con cantaxantina, oleoresina de paprika (*Capsicum annuum*) y  $\alpha$ -tocoferol, la cantaxantina causó un color rosa rojizo más deseable (Akhtar, P., et al, 2016, p.01).

Rodríguez, A., (2016) evaluó el efecto de los carotenoides y los probióticos sobre los parámetros de desempeño, hematológicos, bioquímicos, color del filete, carotenoides totales y estrés térmico en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) juvenil (Rodríguez, A., 2016, p.01).

Se implementó oleoresina no saponificada del chile ancho (*Capsicum annuum*), para su obtención se requirió de 8g de chile ancho deshidratado + 120 ml de hexano como solvente, en total se empleó 9g de oleoresina no saponificada (Rodríguez, A., 2016, p.70).

Las dietas experimentales utilizadas fueron, (AB) dieta testigo alimento balanceado exclusivamente, (AB+P) complementada con probióticos, (AB+C) con oleoresina no saponificadas y (AB+P+C) con probiótico y oleoresina, (Rodríguez, A., 2016, p.72), los resultados mostraron que los filetes de las truchas a los 45 días de la experimentación presentaron un color muscular amarillo-rojizo con los tratamientos AB+C+P y AB+C (Rodríguez, A., 2016, p.107).

Imbaquingo, M., (2017), evaluó la utilización de harina de pimiento rojo (*Capsicum annuum*) en dietas balanceadas para la trucha arcoíris, se utilizaron tres dosis de harina de pimiento comparados con el tratamiento testigo que fue el balanceado comercial sin pigmento; la adición de un 3,5 % de harina de pimiento (T3) dio como resultado un color rojo aceptable (Imbaquingo, M., 2017, p.14).



**Figura 11-1.** Paprika, chile, ají, chile ancho o pimentón rojo (*Capsicum annuum*)

Fuente: Shutterstock, 2021

#### 1.9.5.2. Margarita, marigold, caléndula o cempasúchil (*Tagetes erecta*)

De la Mora, G., (1996) investigó el efecto de pigmentación en el músculo de trucha arcoíris, utilizando pigmentos de oleorresinas de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) (ver figura 11-1) y reportó un color naranja (De La Mora, G., 1996, p. 14).

Sosa, F., (1997) comparó el color muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) obtenido por la adición de pigmentos vegetales de paprika (*Capsicum annuum*) y flor de cempasúchil, se implementó los tratamientos de oleorresina saponificada de flor de cempasúchil y de cempasúchil (50%) + paprika (50%), el color que se obtuvo a partir de cempasúchil + paprika fue naranja y de cempasúchil fue un color amarillo (Sosa, F., 1997, p.25).

Yanar, Y., et al., (2007) indagaron el efecto de los carotenoides del pimiento rojo (*Capsicum annuum*) y la flor de caléndula (*Tagetes erecta*), sobre la pigmentación, las propiedades sensoriales y la composición de ácidos grasos de la trucha arcoíris (Yanar, Y., et al., 2007, p.01).

Se utilizaron cuatro tipos de dietas en el experimento, fueron los siguientes: Dieta CO para el grupo control (dieta basal, sin adición de carotenoides), dieta AS suplementada con 70 mg/ kg de astaxantina comercial (Carophyll-pink), dieta RP suplementada con harina de pimiento rojo al 5%, y dieta MF con 1.8% de harina de flor de caléndula (Yanar, Y., et al., 2007, p.02); la harina de flores de caléndula produjo un color amarillo, debido a la presencia de zeaxantina y luteína (Yanar, Y., et al., 2007, p.04).



**Figura 12-1.** Margarita, marigold, caléndula o cempasúchil (*Tagetes erecta*)

Fuente: Botany vision / Alamy Stock Photo, 2018



### 1.9.5.3. Ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*)

Kamata. T., et al., (1990) investigaron la utilización de la flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*) como fuente de pigmento dietético para trucha arcoíris, las dietas empleadas fueron, la dieta de prueba de Oregon para la trucha arcoíris se modificó y se utilizó como dieta de control (Kamata. T., et al., 1990, p.02).

Dieta con extracto de *Adonis*, los carotenoides se extrajeron con acetona los pigmentos se disolvieron en aceite de hígado de bacalao y se mezclaron con otros ingredientes de la dieta, la concentración final de carotenoides en la dieta fue de 10 mg/100 g de dieta (Kamata. T., et al., 1990, p.02).

Dieta de la flor de *Adonis*, los pétalos de la flor se molieron en una licuadora y se mezclaron con otros ingredientes del alimento, la concentración final de carotenoides en la dieta fue de 10 mg / 100 g de dieta (Kamata. T., et al., 1990, p.02).

Se compararon dos grupos de trucha arcoíris (peso promedio de 100 g y 400 g), en el experimento I, treinta peces de mayor tamaño se dividieron en dos grupos, un grupo de control y otro grupo que fueron alimentados con el extracto de *A. aestivalis*, 2% de su peso corporal al día durante ocho semanas (Kamata. T., et al., 1990, p.02).

En el experimento II, se dividieron sesenta peces más pequeños en tres grupos, grupo control, extracto de *Adonis* y flor de *A. aestivalis*, fueron alimentados con el 3% de su peso corporal durante tres meses (Kamata. T., et al., 1990, p.02).

Después de la segunda semana de alimentación, se observó la primera mortalidad en el grupo de flores de *Adonis*, al cabo de un mes la mortalidad superó el 30%, debido a esto se interrumpió el estudio de este grupo y los peces se sometieron a un examen patológico (Kamata. T., et al., 1990, p.04).

Los peces alimentados con la dieta del extracto de *Adonis* mostraron una coloración rosa en la piel y las aletas, pero no en la carne, sin embargo, se observó una pigmentación roja en la piel, aletas y la carne después de tres meses, mientras que, los peces alimentados con la flor de *Adonis* y las dietas control no mostraron pigmentación (Kamata. T., et al., 1990, p.05).

Zhang, C., et al, (2020) investigaron el efecto del extracto dietético de *Adonis aestivalis* sobre la pigmentación de la carne, el estado antioxidante y la vida útil de la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Zhang, C., et al, 2020, p.01).

Se diseñó una dieta de control que contenía 1.0 g/kg de astaxantina sintética y 1.7, 3.4 y 6.8 g/kg de extracto de *A. aestivalis* se suplementaron en la dieta basal para proporcionar astaxantina extra de 0 (Con), 100 (Ast-100), 50 (AE-50), 100 (AE-100) y 200 (AE-200) mg/kg de alimento, respectivamente, para formar cinco dietas (Zhang, C., et al, 2020, p.02).

Se utilizaron 375 truchas arcoíris con un peso corporal promedio de  $6.27 \pm 0.04$  g, fueron asignadas al azar a 15 tanques de vidrio 25 peces/tanque, todos los peces fueron alimentados dos veces al día con una ingesta de alimento del 2% al 3% del peso corporal (Zhang, C., et al, 2020, p.02).

La suplementación con extracto de *A. aestivalis* aumentó el enrojecimiento de la carne, el contenido de astaxantina en los tejidos y la capacidad antioxidante de la trucha arcoíris, y alcanzó niveles similares a los de la astaxantina sintética, por lo cual se sugirió que la suplementación apropiada fuera de 3,4 g/kg con una inclusión de astaxantina de 100 mg / kg (Zhang, C., et al, 2020, p.09).



**Figura 13-1.** Ojo de perdiz, gota de sangre o adonis de primavera (*Adonis aestivalis*)

Fuente: Rodríguez, J., 2020

#### 1.9.5.4. Morera negra (*Morus nigra*)

Shekarabi, S., et al., (2020) estudiaron los efectos del polvo de morera negra (*Morus nigra*) (ver figura 13-1) sobre el rendimiento del crecimiento, los parámetros bioquímicos, la concentración de carotenoides en sangre y el color del filete de la trucha arcoíris (Shekarabi, S., et al., 2020, p.06).

Se incorporaron cuatro niveles de jugo en polvo de morera negra (*Morus nigra*) por sus siglas en inglés, (BMP-black mulberry juice powder) como fuente de pigmento natural, en concentraciones de 0 (control), 0.25, 0.5 y 0.75%, se alimentaron a las truchas arcoíris durante 8 semanas por triplicado (Shekarabi, S., et al., 2020, p.06).

Las truchas arcoíris alimentadas con la concentración del 0,75% mostraron un mayor amarilleamiento en comparación con los otros grupos, por lo tanto, la implementación de morera negra en la dieta ocasionó un color muscular amarillo (Shekarabi, S., et al., 2020, p.06).



**Figura 14-1.** Morera negra (*Morus nigra*)

**Fuente:** Shutterstock, 2021.

#### 1.9.5.5. Polen

Torres, E., et al, (2019) indagaron el efecto del extracto de polen de abeja (ver figura 14-1) como fuente de carotenoides naturales sobre el crecimiento y la pigmentación de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se alimentaron 144 truchas durante ocho semanas (Torres, E., et al, 2019, p.01).

Se formularon las siguientes dietas: (1) control negativo (C-) sin carotenoides; (2) control positivo (C +) con astaxantina sintética (50 mg/kg); (3) extracto de polen con carotenoides (25 mg/kg) (P1); y (4) extracto de polen con carotenoides (50 mg/kg) (P2), los filetes de trucha alimentados con los tratamientos P1 o P2 tuvieron un color rosa más pálido que aquellos alimentados con una dieta sin carotenoides agregados (Torres, E., et al, 2019, p.01).



**Figura 15-1.** Polen de abeja

Fuente: González, V., 2019.

#### 1.9.5.6. Maíz (*Zea mays*)

Saez, P., et al, (2014) evaluaron los efectos de los niveles de alimentación de harina de gluten de maíz (ver figura 15-1) (CGM, por sus siglas en inglés “corn gluten meal”) sobre el rendimiento del crecimiento y la deposición de pigmento en el músculo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se formularon tres dietas experimentales isonitrogenadas e isoenergéticas (base de energía digestible) para contener niveles crecientes de CGM (0, 9 y 18%) y 50 mg kg<sup>-1</sup> de astaxantina (Saez, P., et al, 2014, p.01).

El color muscular fue amarillo por lo cual se recomienda más investigaciones sobre este tema para discernir los mecanismos detrás de los efectos negativos de la CGM en la dieta y/o sus pigmentos amarillos en la pigmentación muscular (Saez, P., et al, 2014, p.01).



**Figura 16-1.** Harina de gluten de maíz (*Zea mays*)

Fuente: Kangdali, H., 2021

#### 1.9.5.7. Soja (*Glycine max*)

Rahman, M., et al., (2016) probaron los efectos de la suplementación dietética de harina de soja fermentada (FSM) con *Phaffia rhodozyma* sobre el crecimiento, la pigmentación muscular y las actividades antioxidantes de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) juvenil (Rahman, M., et al., 2016, p.01).

Se utilizó FSM fermentada con *P. rhodozyma* (FSPH) que contenía 500 ppm de astaxantina como fuente natural de astaxantina, se formularon cuatro dietas 0, 50, 75 y 100 ppm de astaxantina, designadas como FSPH0, FSPH50, FSPH75 y FSPH100, respectivamente (Rahman, M., et al., 2016, p.02).

Los resultados sugieren que la dieta que contenía un 10% de la mezcla (50 ppm de astaxantina) podría mejorar con éxito la pigmentación muscular porque se obtuvo un color rojo y el estado antioxidante de la trucha arcoíris juvenil, nuestros resultados también indican que FSM con *P. rhodozyma* es una fuente natural prometedora de astaxantina (Rahman, M., et al., 2016, p.09).



**Figura 17-1.** Harina de soja (*Glycine max*)

**Fuente:** Berta, J., 2020.

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA

Para cumplir los objetivos de la presente investigación, se seguirá el siguiente protocolo:

#### 2.1. Búsqueda bibliográfica

Se desarrollará un análisis de los repositorios de las diferentes universidades en Ecuador y en Latinoamérica que cuentan con carreras relacionadas con piscicultura, medio ambiente y recursos naturales, se considerarán las investigaciones relacionadas al tema indicado; en las plataformas que ofrezcan medios digitales se realizará una exhaustiva investigación sobre los pigmentantes naturales en la coloración de la carne de la trucha arcoíris, además de los mecanismos de administración, los métodos más efectivos y los efectos de los diferentes pigmentantes naturales.

##### 2.1.1. Plataformas digitales, científicas

- o Journal of Food Science
- o Journal of Applied Phycology
- o The Progressive Fish-Culturist
- o Aquaculture
- o Nippon Suisan Gakkaishi
- o Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
- o Aquaculture Reposts
- o Italian Journal of Animal Science
- o Aquaculture Research
- o Annals of Animal Science
- o Food Chemistry
- o Aquaculture Nutrition

Los trabajos de titulación fueron tomados de las siguientes instituciones:

- o Escuela Politécnica del Ejercito
- o Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
- o Universidad Autónoma de Nueva León

- o Universidad Técnica del Norte
- o Universidad Austral de Chile
- o Universidad de Chile
- o Universidad Autónoma Aguascalientes
- o Universidad Autónoma Metropolitana
- o Oregon State University
- o Sari Agriculture and Natural Resources University
- o Universidad Nacional de Colombia

## 2.2. Criterios de selección

Las principales fuentes consultadas en cada items fueron las descritas a continuación:

Referente a los Carotenoides y Astaxantina: (Armenta, R., et al., 2002, p.01) Extracción de caroproteínas a partir de residuos de camarón fermentados; (Kamata, T., et al., 1992, p.01) A study of astaxanthin- its application for the pigmentation of salmonid fish; (Martínez, J., 2017, p.01) Evaluación de dos pigmentos en la dieta de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) cultivada en centro de engorda.

(Meroi, C., et al., 2019, p.01) Alimento pigmentante para salmónidos. (Muñoz, S., 2000, p.01) Pigmentación en salmónidos, (Sánchez, A., 2019, p.01) Efectos del carotenoide astaxantina en la salud humana, según la ciencia; (Torrissen, O., et al., 1989, p.01) Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism.

Referente a los pigmentos naturales: (Araujo, M., et al., 2015, p.01) Dietary inclusion of IMTA-cultivated *Gracilaria vermiculophylla* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on growth, intestinal morphology, tissue pigmentation, and immunological response.

(Akhtar, P., et al., 2006, p.01) Dietary pigmentation and deposition of  $\alpha$ -tocopherol and carotenoids in rainbow trout muscle and liver tissue; (Andino, D., & López, D., 2011, p.01) Aplicación de pigmentos naturales (extracto de ají) en dietas balanceadas para trucha arcoíris y su fijación con selenio orgánico.

(De La Mora, G., 1996, p.01) Efectos de pigmentación en el musculo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante el uso de extractos pigmentantes de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) y paprika (*Capsicum annuum*) incorporados en el alimento balanceado.

(De La Mora, G., 2002, p.01) Incremento al valor agregado de salmónidos a través de su pigmentación con colorantes naturales; (Gentles, A., et al., 1991, p.01) Pigmentation of rainbow trout with enzyme-treated and spray-dried *Phaffia rhodozyma*.

(Imbaquingo, M., 2017, p.01) Evaluación de niveles de carotenoides naturales (harina de pimiento rojo) (*Capsicum annuum* L.) en la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la etapa de finalización en Juan Montalvo, Cayambe, provincia de Pichincha; (Johnson, E., et al., 1980, p.01) *Phaffia rhodozyma* as an astaxanthin source in salmonid diets; (Kamata, T., et al., 1990, p.01) Utilization of *Adonis aestivalis* as a dietary pigment source for rainbow trout.

(Pulcinia, D., 2021, p.01) Muscle pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets rich in natural carotenoids from microalgae and crustaceans; (Rodríguez, A., 2016, p.01) Efecto de los carotenoides y los probióticos sobre los parámetros de desempeño, hematológicos, bioquímicos, color del filete, carotenoides totales y estrés térmico en el trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

(Roncarati, A., et al., 2011, p.01) Effects of dietary supplementation with krill meal on pigmentation and quality of flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*); (Saez, P., et al., 2014, p.01) Feeding increasing levels of corn gluten meal induces suboptimal muscle pigmentation of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*.

(Rahman, M., et al., 2016, p.01) Effects of dietary inclusion of fermented soybean meal with *Phaffia rhodozyma* on growth, muscle pigmentation, and antioxidant activity of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*); (Rohmah, Z., et al, 2016, p.01), Effect of ascidian (*Halocynthia roretzi*) tunics carotenoids on enhancing growth and muscle coloring of sea-reared rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

(Sánchez, A., 2019, p.01) Efectos del carotenoide astaxantina en la salud humana, según la ciencia; (Shekarabi, S., et al., 2020, p.01) Effect of black mulberry (*Morus nigra*) powder on growth performance, biochemical parameters, blood carotenoid concentration, and fillet color of rainbow trout; (Sommer, T., et al., 1991, p.01) Utilization of microalgal astaxanthin by rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*.



(Sosa, F., 1997, p.01) Comparación del color muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) obtenido por la adición a la dieta de pigmentos vegetales de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) y paprika (*Capsicum annuum*); (Teimouri, M., 2013, p.01) The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

(Télez, V., 1998, p.01) Dinámica de pigmentación en *Oncorhynchus kisutch*, *Oncorhynchus mykiss* y *Salmo salar* en fase marina de cultivo; (Torres, E., et al., 2019, p.01) Effect of bee pollen extract as a source of natural carotenoids on the growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*); (Vernon, J., et al., 1994, p.01) Bioensayo de pigmentación de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con extractos de chile ancho (*Capsicum annuum*).

(Steel, R., 1971, p.01) Shrimp processing waste as a pigment source for rainbow trout (*Salmo gairdneri*-*Oncorhynchus mykiss*), (Yanar, Y., et al., 2007, p.01) Effect of carotenoids from red pepper and marigold flower on pigmentation, sensory properties and fatty acid composition of rainbow trout.

(Young, A., et al., 2017, p.01) Processing of astaxanthin-rich *Haematococcus* cells for dietary inclusion and optimal pigmentation in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*; (Zhang, C., et al., 2020, p.01) Dietary *Adonis aestivalis* extract improved the flesh pigmentation, antioxidative status and shelf-life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

### **2.3. Métodos para sistematización de la información**

La información compilada se organizó de forma coherente y ordenada, que permita su entendimiento, se incluye el uso de tablas y gráficos en la presentación de la misma.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Mecanismos para la administración de pigmentantes naturales en la carne de trucha arcoíris.

##### 3.1.1. De origen animal

###### 3.1.1.1. Harina de desechos de camarón del pacífico (*Pandalus jordani*)

Steel, R., (1971, p.99), investigó el procesamiento de los residuos del camarón del pacífico (*Pandalus jordani*) como fuente de pigmento para la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se formuló una harina a partir de los desechos de camarón y también un extracto de pigmento-lípido de la harina, mismos que fueron los más efectivos para lograr la pigmentación muscular que resultó en un color rosa Steel, R., (1971, p. 99).

###### 3.1.1.2. Harina de Krill (*Euphasia superba*)

Roncarati, A., et al., (2011), investigaron el uso de harina de krill (*Euphasia superba*) como pigmentante de carne de trucha arcoíris, notificaron un color rojo rosa pálido al ser comparadas con truchas que recibieron astaxantina comercial (Roncarati, A., et al., 2011, p.01).

###### 3.1.1.3. Harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*)

Pulcinia, D., et al, (2021), investigaron la pigmentación muscular en truchas arcoíris alimentadas con dietas ricas en carotenoides naturales de microalgas y crustáceos, la implementación de harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) produjo un color rosa deseable (Pulcinia, D., et al, 2021, p.01).

###### 3.1.1.4. Extracto de piña marina (*Halocynthia roretzi*)

Rohmah, Z., et al, (2016) investigaron el efecto de los carotenoides de la piña marina (*Halocynthia roretzi*) sobre el crecimiento y la coloración muscular de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) criada en el mar, la suplementación de 10 mg/kg de carotenoides de *H. roretzi* originó un color muscular rojo pálido (Rohmah, Z., et al, 2016, p.08).

**Tabla 1-3:** Harina y extracto de origen animal como mecanismos para la administración de pigmentantes naturales

<b>Harina y extracto de origen animal como mecanismos para la administración de pigmentantes naturales</b>		
<b>Autor</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Coloración</b>
Steel, R., (1971)	Harina de desechos de camarón del pacífico ( <i>Pandalus jordani</i> )	Rosa
Roncarati, A., et al., (2011)	Harina de krill ( <i>Euphasia superba</i> )	Rojo-rosa pálido
Rohmah, Z., et al., (2016)	Extracto de piña marina ( <i>Halocynthia roretzi</i> )	Rojo pálido
Pulcinia, D., et al, (2021)	Harina de cangrejo de río ( <i>Procambarus clarkii</i> )	Rosa

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021

Steel, R., (1971) elaboró una harina a partir de residuos del camarón del pacífico (*Pandalus jordani*) y un extracto de pigmento-lípido de la misma harina y obtuvo un color rosa muscular, así mismo Pulcinia, D., et al., (2021), implementaron harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) y obtuvieron un color rosa deseable.

Mientras que, Roncarati, A., et al., (2011) utilizaron harina de krill (*Euphasia superba*) y obtuvieron un color rojo rosa pálido, de forma similar, Rohmah, Z., et al, (2016) investigaron el efecto de los carotenoides de la piña marina (*Halocynthia roretzi*) obtuvieron un color muscular rojo pálido, por lo tanto, la harina de origen animal (crustáceos) y extracto de piña marina son mecanismos apropiados para administrar los pigmentantes naturales a la carne de trucha arcoíris.

### **3.1.2. De origen vegetal**

#### **3.1.2.1. Harina de pimienta roja o paprika (*Capsicum annuum*)**

Yanar, Y., et al., (2007) investigaron la implementación de harina de pimienta roja (*Capsicum annuum*) en un nivel del 5%, sobre la pigmentación, las propiedades sensoriales y la composición de ácidos grasos de la trucha arcoíris, el color originado fue rosa claro (Yanar, Y., et al., 2007, p.04).

Imbaquingo, M., (2017), evaluó la utilización de harina de pimienta roja (*Capsicum annuum*) en dietas balanceadas para la trucha arcoíris, con la adición de un 3,5 % de harina de pimienta dio como resultado un color rojo aceptable (Imbaquingo, M., 2017, p.14).

### 3.1.2.2. Harina de flor de caléndula (*Tagetes erecta*)

Yanar, Y., et al., (2007) investigaron la utilización de harina de la flor de caléndula (*Tagetes erecta*) aun nivel del 1,8% sobre la pigmentación, las propiedades sensoriales y la composición de ácidos grasos de la trucha arcoíris, y se produjo un color amarillo debido a la presencia de zeaxantina y luteína (Yanar, Y., et al., 2007, p.04).

### 3.1.2.3. Harina de microalga verde (*Spirulina platensis*)

Teimouri, M., et al, (2013), evaluaron los efectos de la harina de la microalga verde (*Spirulina platensis*) en dosis 0; 2,5; 5; 7,5; y 10 % como complemento alimenticio sobre el crecimiento y la pigmentación de la trucha arcoíris (Teimouri, M., et al, 2013, p.01), los niveles más altos de pigmentación y concentración de carotenoides en el filete se produjeron con la dosis del 10 % (4mg/kg) y se reportó un color muscular rojo (Teimouri, M., et al, 2013, p.03).

### 3.1.2.4. Harina de gluten de maíz (*Zea mays*)

Saez, P., et al, (2014) evaluaron los efectos de los niveles de alimentación con harina de gluten de maíz sobre el rendimiento del crecimiento y la deposición de pigmento en el músculo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), y obtuvieron un color muscular amarillo (Saez, P., et al, 2014, p.01).

### 3.1.2.5. Harina de alga marina (*Gracilaria vermiculophylla*)

Araujo, M., et al., (2015) investigaron la inclusión dietética del alga marina (*Gracilaria vermiculophylla*) cultivada con sistemas integrados de acuicultura multitrófica (IMTA) en dietas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): efectos sobre el crecimiento, morfología intestinal, pigmentación tisular y respuesta inmunológica (Araujo, M., et al., 2015, p.01).

Se formuló una dieta de control (CTRL) de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la trucha arcoíris en crecimiento (20-200 g) y se comparó con dos dietas experimentales con 5% (G5) y 10% (G10) de harina de *Gracilaria spp.* (Araujo, M., et al., 2015, p.03), los datos mostraron que los filetes del tratamiento dietético G10 fueron más rojizos que los grupos G5 y CTRL (Araujo, M., et al., 2015, p.07).

### 3.1.2.6. Harina de soja (*Glycine max*) fermentada con levadura roja (*Phaffia rhodozyma*)

Rahman, M., et al., (2016) probaron los efectos de la suplementación dietética de harina de soja fermentada (FSM) con *Phaffia rhodozyma* sobre el crecimiento, la pigmentación muscular y las actividades antioxidantes de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) juvenil (Rahman, M., et al., 2016, p.01).

La dieta que contenía un 10% de la mezcla (50 ppm de astaxantina) podría mejorar con éxito el estado antioxidante de la trucha arcoíris juvenil y la pigmentación muscular porque se notificó un color rojo (Rahman, M., et al., 2016, p.09).

**Tabla 2-3:** Harina de origen vegetal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales.

Harina de origen vegetal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales		
Autor	Tratamiento	Coloración
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de pimiento rojo ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rosa claro
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de flor de caléndula ( <i>Tagetes erecta</i> )	Amarillo
Teimouri, M., et al., (2013)	Harina de la microalga verde ( <i>Spirulina platensis</i> )	Rojo
Saez, P., et al, (2014)	Harina de gluten de maíz ( <i>Zea mays</i> )	Amarillo
Araujo, M., et al., (2015)	Harina de alga marina ( <i>Gracilaria vermiculophylla</i> )	Rojo
Rahman, M., et al., (2016)	Harina de soja ( <i>Glycine max</i> ) fermentada con <i>Phaffia rhodozyma</i>	Rojo
Imbaquingo, M., (2017)	Harina de pimiento rojo ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rojo

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021

Yanar, Y., et al., (2007) utilizaron la harina de pimiento rojo (*Capsicum annuum*) en un nivel del 5%, consiguieron un color muscular rosa claro, por otra parte Teimouri, M., et al, (2013) usaron la harina de la microalga verde (*Spirulina platensis*) con la dosis del 10 % (4mg/kg) notificaron un color muscular rojo.

De igual forma Rahman, M., et al., (2016) probaron la harina de soja fermentada con *Phaffia rhodozyma*, con la dieta que contenía un 10% de la mezcla (50 ppm de astaxantina) consiguieron un color rojo, además de Imbaquingo, M., (2017) que, con la adición de un 3,5 % de harina de pimiento (*Capsicum annum*) obtuvo un color rojo, así mismo Araujo, M., et al., (2015) utilizaron harina de alga marina (*Gracilaria vermiculophylla*) obtuvieron un color rojo muscular.

Por otra parte, Yanar, Y., et al., (2007) con la utilización de harina de la flor de caléndula (*Tagetes erecta*) aun nivel del 1,8%, y Saez, P., et al, (2014) con la harina de gluten de maíz notificaron un color muscular amarillo, por lo tanto, la harina de origen vegetal de pimiento rojo, de soja fermentada y de la microalga verde (*Spirulina platensis*) son mecanismos apropiados para administrar los pigmentantes naturales a la carne de trucha arcoíris.

#### 3.1.2.7. Extracto de paprika, ají, chile ancho (*Capsicum annuum*)

Vernon, J., et al., (1994) evaluaron los pigmentos contenidos en los extractos de chile ancho (*Capsicum annuni*) saponificados, en la piel y músculo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), emplearon tres tratamientos experimentales incorporando extractos de chile saponificado, sin saponificar y astaxantina comercial en la dieta; los extractos de chile ancho causaron un color más claro y menos rojo en comparación con la astaxantina comercial (Vernon, J., et al., 1994, p. 02).

Andino, D., & López, D., (2011) investigaron el efecto del extracto de ají (*Capsicum annuum*) en la pigmentación del músculo y su fijación con selenio orgánico, se utilizaron dos dosis de carotenoides procedentes del ají 80 y 120 ppm y tres dosis de selenio orgánico 0, 0.03, 0.05% por kg de alimento (Andino, D., & López, D., 2011, p. 02).

Los resultados mostraron que el tratamiento T6 (120 ppm + 0,05%) produjo un color rojo, lo que indica que es posible utilizar extracto de ají en la pigmentación y fijarlo con selenio orgánico en el músculo de la trucha arcoíris (Andino, D., & López, D., 2011, p. 02).

#### 3.1.2.8. Extracto de flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*)

Kamata, T., et al., (1990) investigaron la utilización de la flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*) como fuente de pigmento dietético para trucha arcoíris, las dietas empleadas fueron, la dieta de prueba de Oregon para la trucha arcoíris se modificó y se utilizó como dieta de control, dieta con extracto de *Adonis* y dieta de la flor de *Adonis* (Kamata, T., et al., 1990, p.02).

Los peces alimentados con la dieta del extracto de *Adonis* mostraron una coloración rosa en la piel y las aletas, pero no en la carne, sin embargo, se observó una pigmentación roja en la piel, aletas y la carne después de tres meses, mientras que, los peces alimentados con la flor de *Adonis* y las dietas control no mostraron pigmentación (Kamata, T., et al., 1990, p.05).

Zhang, C., et al, (2020) investigaron el efecto del extracto dietético de *Adonis aestivalis* sobre la pigmentación de la carne, el estado antioxidante y la vida útil de la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Zhang, C., et al, 2020, p.01).

Se diseñó una dieta de control que contenía 1.0 g/kg de astaxantina sintética y 1.7, 3.4 y 6.8 g/kg de extracto de *A. aestivalis* se suplementaron en la dieta basal para proporcionar astaxantina extra de 0 (Con), 100 (Ast-100), 50 (AE-50), 100 (AE-100) y 200 (AE-200) mg/kg de alimento, respectivamente, para formar cinco dietas (Zhang, C., et al, 2020, p.02).

La suplementación con extracto de *A. aestivalis* aumentó el enrojecimiento de la carne, el contenido de astaxantina en los tejidos y la capacidad antioxidante de la trucha arcoíris, y alcanzó niveles similares a los de la astaxantina sintética, por lo cual se sugirió que la suplementación apropiada fuera de 3,4 g/kg con una inclusión de astaxantina de 100 mg / kg (Zhang, C., et al, 2020, p.09).

### 3.1.2.9. Extracto de polen

Torres, E., et al, (2019) indagaron el efecto del extracto de polen de abeja como fuente de carotenoides naturales sobre el crecimiento y la pigmentación de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), se alimentaron 144 truchas durante ocho semanas (Torres, E., et al, 2019, p.01)

Se formularon las siguientes dietas: (1) control negativo (C-) sin carotenoides; (2) control positivo (C +) con astaxantina sintética (50 mg/kg); (3) extracto de polen con carotenoides (25 mg/kg) (P1); y (4) extracto de polen con carotenoides (50 mg/kg) (P2), los filetes de trucha alimentados con los tratamientos P1 o P2 mostraron un color rosa pálido (Torres, E., et al, 2019, p.01).

**Tabla 3-3:** Extractos de origen vegetal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales

Extractos de origen vegetal como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales		
Autor	Tratamiento	Coloración
Kamata, T., et al., (1990)	Extracto flor ojo de perdiz ( <i>Adonis aestivalis</i> )	Rojo
Vernon, J., et al., (1994)	Extracto de chile ancho ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rojo claro
Andino, D., et al., (2011)	Extracto de ají ( <i>Capsicum annuum</i> ) + selenio orgánico	Rojo
Torres, E., et al, (2019)	Extracto de polen	Rosa pálido
Zhang, C., et al, (2020)	Extracto flor ojo de perdiz ( <i>Adonis aestivalis</i> )	Rojo

Realizado por: Román, Enrique, 2021

Kamata, T., et al., (1990) con el extracto de flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*) reportaron un color rojo, similar a Vernon, J., et al., (1994) que, con el extracto de chile ancho (*Capsicum annuum*) notificaron un color rojo claro, así mismo Andino, D., & López, D., (2011) con el extracto de ají (*Capsicum annuum*) y su fijación con selenio orgánico, demostraron que el tratamiento T6 (120 ppm + 0,05%) produjo un color rojo.

Así mismo, Zhang, C., et al, (2020) con la suplementación de 3,4 g/kg extracto de *Adonis aestivalis*, probaron que aumentó el enrojecimiento de la carne, mientras que Torres, E., et al, (2019) con el extracto de polen de abeja obtuvieron un color rosa pálido, por lo tanto los extractos de origen vegetal son mecanismos apropiados para administrar los pigmentantes naturales.

### 3.1.2.10. Oleorresina de paprika, chile ancho (*Capsicum annuum*)

De La Mora, G., (1996) investigó el efecto de la pigmentación en el músculo de la trucha arcoíris, con la adición de pigmentos de las oleorresinas de paprika (*Capsicum annuum*), los tratamientos utilizados fueron oleorresina saponificada de paprika en dos concentraciones 40 000 y 80 000 unidades de color (U.C.) y oleorresina no saponificada de paprika 40 000 UC (De La Mora, 1996, p. 25), y notificó un color rosa pálido (De La Mora, G., 1996, p. 14).

Sosa, F., (1997) comparó el color muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) conseguido por la adición de pigmentos vegetales de paprika (*Capsicum annuum*) y flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*), se implementó los tratamientos de oleorresina saponificada de paprika y de cempasúchil (50%) + paprika (50%), el color que se adquirió a partir de cempasúchil + paprika fue naranja, mientras que la paprika fue rojo salmonado (Sosa, F., 1997, p.25).

Akhtar, P., et al, (2016) inquirieron la pigmentación dietética y deposición de  $\alpha$ -tocoferol y carotenoides en el tejido muscular y hepático de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se implementaron dietas con cantaxantina, oleorresina de paprika (*Capsicum annuum*) y  $\alpha$ -tocoferol, la cantaxantina causó un color rosa rojizo más deseable (Akhtar, P., et al, 2016, p.01).

Rodríguez, A., (2016) implementó oleorresina no saponificada del chile ancho (*Capsicum annuum*) para evaluar el efecto de los carotenoides y los probióticos sobre los parámetros de desempeño, hematológicos, bioquímicos, color del filete, carotenoides totales y estrés térmico en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) juvenil (Rodríguez, A., 2016, p.01).



Las dietas experimentales utilizadas fueron, (AB) dieta testigo alimento balanceado exclusivamente, (AB+P) complementada con probióticos, (AB+C) con oleorresina no saponificadas y (AB+P+C) con probiótico y oleorresina, (Rodríguez, A., 2016, p.72), los resultados mostraron que los filetes de las truchas a los 45 días de la experimentación presentaron un color muscular amarillo-rojizo con los tratamientos AB+C+P y AB+C (Rodríguez, A., 2016, p.107).

### 3.1.2.11. Oleorresina de cempasúchil (*Tagetes erecta*)

De la Mora, G., (1996) investigó el efecto de pigmentación en el músculo de trucha arcoíris, utilizando pigmentos de oleorresinas de flor de cempasúchil, (*Tagetes erecta*) reportó un color naranja (De La Mora, 1996, p. 14).

Sosa, F., (1997) comparó el color muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) obtenido por la adición de pigmentos vegetales de paprika (*Capsicum annuum*) y flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*), se implementó los tratamientos de oleorresina saponificada de flor de cempasúchil y de cempasúchil (50%) + paprika (50%), y notificó un color amarillo (Sosa, F., 1997, p.25).

**Tabla 4-3:** Oleorresina como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales

Oleorresina como mecanismo para la administración de pigmentantes naturales		
Autor	Tratamiento	Coloración
De La Mora, G., (1996)	Oleorresinas de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rosa pálido
De La Mora, G., (1996)	Oleorresina de flor de cempasúchil ( <i>Tagetes erecta</i> )	Naranja
Sosa, F., (1997)	Oleorresina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rojo salmonado
Sosa, F., (1997)	Oleorresina de flor de cempasúchil ( <i>Tagetes erecta</i> )	Amarillo
Sosa, F., (1997)	Oleorresina de cempasúchil + paprika	Naranja
Akhtar, P., et al, (2016)	Oleorresina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rosa-rojizo
Rodríguez, A., (2016)	Oleorresina chile ancho ( <i>Capsicum annuum</i> )	Amarillo-rojizo

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021

De La Mora, G., (1996) con el uso de las oleorresinas de paprika reportó un color muscular rosa pálido, así mismo Sosa, F., (1997) informó un color rojo salmonado con el uso de oleorresina de paprika, e igualmente Akhtar, P., et al, (2016) utilizaron oleorresina de paprika obtuvieron un color rosa rojizo.

Por otra parte, De la Mora, G., (1996) con la oleorresina de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) reportó un color naranja, similar a Sosa, F., (1997) que, con oleorresina saponificada de flor de cempasúchil (50%) + paprika (50%), notificó un color naranja.

Mientras que, Rodríguez, A., (2016) probó oleorresina no saponificada del chile ancho (*Capsicum annuum*) complementada con probióticos, y notificó un color muscular amarillo-rojizo, similar a Sosa, F., (1997) que, usó oleorresina saponificada de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) e informó un color amarillo.

#### 3.1.2.12. Polvo de morera negra (*Morus nigra*)

Shekarabi, S., et al., (2020) investigaron los efecto del polvo de morera negra (*Morus nigra*) sobre el rendimiento del crecimiento, los parámetros bioquímicos, la concentración de carotenoides en sangre y el color del filete de la trucha arcoíris, se incorporaron cuatro niveles de jugo en polvo de morera negra en concentraciones de 0 (control), 0.25, 0.5 y 0.75%, se alimentaron a las truchas arcoíris durante 8 semanas, la concentración del 0,75% ocasionó un color muscular amarillo (Shekarabi, S., et al., 2020, p.06).

#### 3.1.2.13. Levadura roja (*Phaffia rhodozyma*)

Johnson, E., et al., (1980) demostraron que la astaxantina no estaba disponible a partir de la levadura intacta, por lo cual procedieron a fragmentarla de forma mecánica, dando como resultado una deposición más eficaz de astaxantina en la carne de la trucha; más detalladamente se produjo cuando la pared celular de *P. rhodozyma* se eliminó parcialmente mediante digestión enzimática, y se obtuvo un color rosa salmón (Johnson, E., et al., 1980, p.01).

Gentles, A., et al., (1991) realizaron tratamientos de células intactas de levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) mediante molienda mecánica (MY “mechanical milling”), tratamiento enzimático (EY “enzyme treatment”), secado por aspersión (SY “spray-drying”) y extracción de los carotenoides (C) antes de su inclusión en la dieta de la trucha arcoíris, se notificó un color rojo en la carne después de 8 semanas, con el tratamiento secado por aspersión (Gentles, A., et al., 1991, p.01).

#### 3.1.2.14. Biomasa de microalgas

Pulcinia, D., et al., (2021), investigaron la pigmentación muscular en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentada con dietas ricas en carotenoides naturales de microalgas y crustáceos, la implementación de la mezcla de biomasa seca de microalgas (*Arthrospira platensis*, *Tisochrysis lutea* y *Tetraselmis suecica*) en la alimentación, dieron como resultado un color amarillo (Pulcinia, D., et al., 2021, p.01).

**Tabla 5-3:** Otros mecanismos para la administración de pigmentantes naturales

Otros mecanismos para la administración de pigmentantes naturales		
Autor	Tratamiento	Coloración
Johnson, E., et al., (1980)	Levadura roja fragmentada	Rosa salmón
Gentles, A., et al., (1991)	Células intactas levadura roja	Rojo
Shekarabi, S., et al., (2020)	Polvo de morera negra ( <i>Morus nigra</i> )	Amarillo
Pulcinia, D., et al., (2021)	Biomasa seca de microalgas ( <i>Arthrospira platensis</i> , <i>Tisochrysis lutea</i> y <i>Tetraselmis suecica</i> )	Amarillo

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021.

Johnson, E., et al., (1980) fragmentaron la levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) para conseguir disponibilidad de astaxantina, e informaron un color rosa salmón, similar a Gentles, A., et al., (1991) que, realizaron tratamientos de células intactas de levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) y reportaron un color rojo con el tratamiento secado por aspersión.

Mientras que, Shekarabi, S., et al., (2020) utilizaron el polvo de morera negra (*Morus nigra*) con la concentración del 0,75% consiguieron un color muscular amarillo, de igual forma Pulcinia, D., et al., (2021) que, con la implementación de la mezcla de biomasa seca de microalgas (*Arthrospira platensis*, *Tisochrysis lutea* y *Tetraselmis suecica*) en la alimentación notificaron un color amarillo.

### 3.2. Efectos de los diferentes pigmentantes naturales en la trucha arcoíris

Los parámetros que involucran el desempeño del crecimiento son evaluados para valorar los efectos de los distintos componentes en las dietas experimentales, los resultados de los parámetros permiten saber el efecto de los componentes nutritivos y sugerir fuentes alternas para conseguir una mejor producción (Rodríguez, A., 2016, p.115).

Sin embargo, es difícil realizar su comparación cuando las condiciones experimentales son diferentes por ejemplo la talla, condiciones de cultivo, alimentación, nutrición debido a que no existe una medida estándar en los experimentos, la mayoría de las veces se llevan a cabo en distinta densidades y calidad del agua y tipos de instalaciones (Rodríguez, A., 2016, p.115).

### 3.2.1. Ganancia de peso diario (g)

Dentro de los parámetros de desempeño del crecimiento de la trucha arcoíris se encuentra la ganancia de peso diario (g), existe suficiente información referente a este parámetro con distintas fuentes naturales de pigmentación que se describen a continuación (ver tabla 6-3).

**Tabla 6-3:** Ganancia de peso diario (g)

Ganancia de peso diario (g)		
Autor	Tratamiento	Unidad (g/día)
Shekarabi, et al., (2020)	Polvo de morera negra ( <i>Morus nigra</i> )	0,76
Andino, D., (2011)	Extracto de ají ( <i>Capsicum annuum</i> ) + selenio orgánico	1,26
De La Mora, G., (1996)	Oleoresina flor de cempasúchil ( <i>Tagetes erecta</i> ) y paprika	1,82
Teimouri, M., et al., (2013)	Harina de microalga verde ( <i>Spirulina platensis</i> )	1,85
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de caléndula ( <i>Tagetes erecta</i> )	1,88
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	1,96
Vernon, J., et al., (1994)	Extracto de chile ( <i>Capsicum annuum</i> )	2,01
Araujo, M., et al., (2015)	Harina de alga marina ( <i>Gracilaria vermiculophylla</i> )	2,12
Rahman M., et al., (2016)	Harina de soja fermentada con <i>Phaffia rhodozyma</i>	3,23
Torres, E., (2018)	Extracto de polen	4,05
Imbaquingo, M., (2017)	Harina de pimienta rojo ( <i>Capsicum annuum</i> )	4,24
Saez, P., (2014)	Harina gluten de maíz ( <i>zea mays</i> )	4,45
Rodríguez, A., (2016)	Oleoresina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> ) + probióticos	4,92
Sosa, F., (1997)	Oleoresina flor de cempasúchil y paprika	5,15
<b>Promedio</b>	-	<b>2,84</b>

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021.

Shekarabi, et al., (2020) utilizaron 0,75% de polvo de morera negra reportaron una ganancia de 0,76 g/día en truchas juveniles en un periodo de investigación de 56 días, es el valor más bajo recopilado en este trabajo de investigación (ver gráfico 1-3).

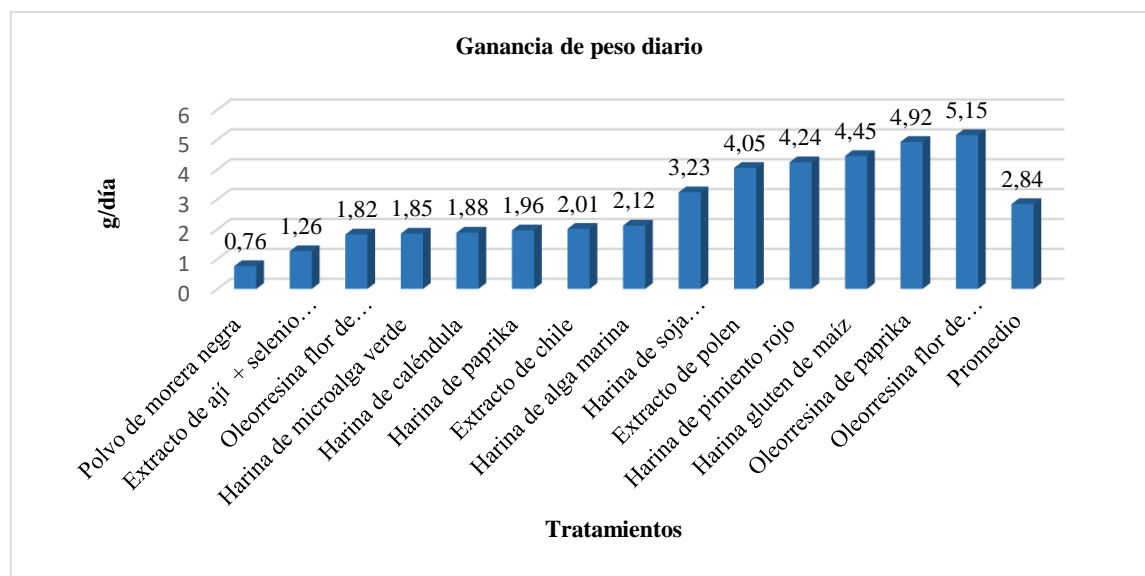
De forma similar, Andino, D., et al., (2011) emplearon extracto de ají + selenio orgánico reportaron 1,26 g/día en un periodo de 119 días en truchas en fase de engorde, así mismo De La Mora, G., (1996) notificó 1,82 g/día con oleoresina de paprika y flor de cempasúchil en un periodo de 45 días.

De igual forma, Teimouri, M., et al., (2013) informaron un valor de 1,85 g/día con harina de microalga verde (*Spirulina platensis*) durante 70 días, también Yanar, Y., et al., (2007) reportaron valores de 1,88 y 1,96 g/día con harina de caléndula y de paprika respectivamente durante 60 días.

Mientras que, Vernon, J., et al., (1994) notificaron 2,01 g/día con extracto de chile durante 45 días, de manera parecida Araujo, M., et al., (2015) con harina del alga marina (*Gracilaria vermiculophylla*) reportaron 2,12 g/día durante 91 días.

Por otra parte, Rahman M., et al., (2016) con harina de soja fermentada con *Phaffia rhodozyma*, consiguieron un valor de 3,23 g/día durante 70 días, similarmente Torres, E., (2018) reportó 4,05 g/día con extracto de polen durante 80 días, además Imbaquingo, M., (2017) notificó 4,24 g/ día con harina de pimiento rojo durante 63 días.

De forma parecida Saez, P., (2014) reportó 4,45 g/día en un período de 168 días, así mismo Rodríguez, A., (2016) informó 4,92 g/kg con oleorresina de paprika durante 45 días en truchas juveniles, y finalmente Sosa, F., (1997) notificó 5,15 g/día con oleorresina de flor de cempasúchil y paprika en un período de 45 días, es el valor más alto recopilado.



**Gráfico 1-3.** Ganancia de peso diario (g/día)

Realizado por: Román, Enrique, 2021.

### 3.2.2. Contenido de carotenoides en la carne (mg/kg)

Los carotenoides son responsables del color rojo y rosa de la carne de los salmónidos, el ojo humano es menos sensible a concentraciones de carotenoides superiores a 3 o 4 mg/kg en comparación con concentraciones más bajas, y la grasa intermuscular no pigmentada puede enmascarar la impresión de color (Torrissen, O., et al., 1989, p.02).

Según la impresión visual del color, un nivel de 3 a 4 mg/kg puede considerarse una concentración aceptable de carotenoides (ver tabla 7-3), cabe mencionar que estos pueden desaparecer de la carne de los salmónidos durante el almacenamiento y el procesamiento, por lo tanto, se debe compensar esto elevando ligeramente los niveles de carotenoides de la carne por encima de 4 mg/kg para asegurar un producto aceptable (Torrissen, O., et al., 1989, p.02).

**Tabla 7-3:** Contenido de carotenoides en la carne (mg/kg)

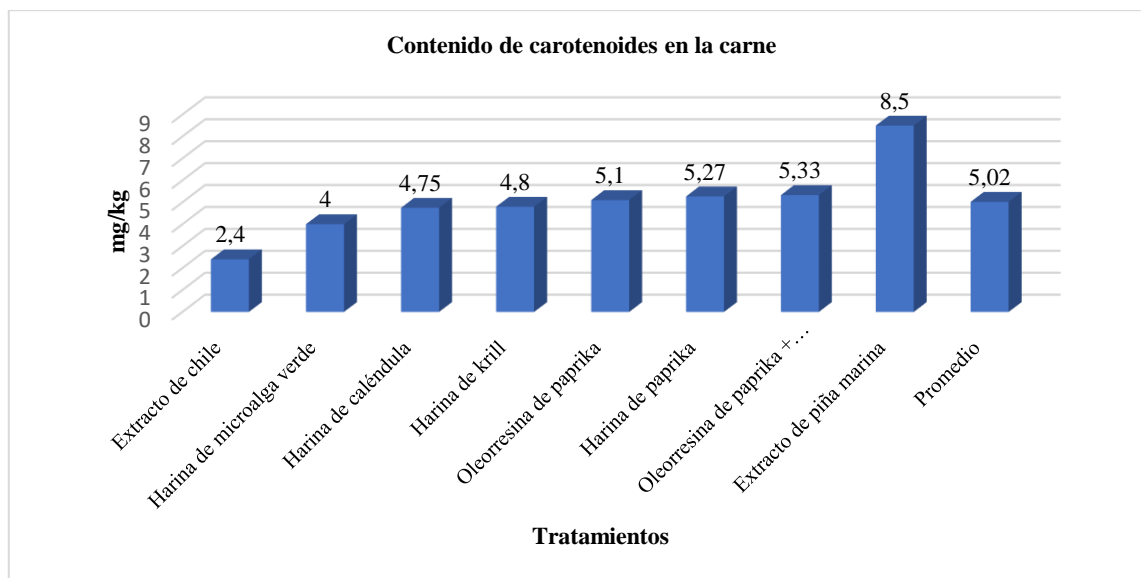
Contenido de carotenoides en la carne		
Autor	Tratamiento	Valor (mg/kg)
Vernon, J., et al., (1994)	Extracto de chile ( <i>Capsicum annuum</i> )	2,40
Teimouri, M., et al., (2013)	Harina de microalga verde ( <i>Spirulina platensis</i> )	4,00
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de caléndula ( <i>Tagetes erecta</i> )	4,75
Roncarati, A., et al, (2011)	Harina de krill ( <i>Euphasia superba</i> )	4,80
Rodríguez, A., (2016)	Oleoresina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	5,10
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	5,27
Rodríguez, A., (2016)	Oleoresina de paprika + probióticos	5,33
Rohmah, Z., et al., (2016)	Extracto de piña marina ( <i>Halocynthia roretzi</i> )	8,50
<b>Promedio</b>	-	<b>5,02</b>

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021.

Vernon, J., et al., (1994) reportaron un contenido de carotenoides totales en la carne de trucha de 2,40 mg/kg con la utilización de extracto de chile (*Capsicum annuum*) siendo el valor más bajo recopilado en este trabajo investigativo (ver gráfico 2-3) mientras que, Teimouri, M., et al., (2013) notificaron 4,00 mg/kg con harina de microalga verde (*Spirulina platensis*).

De manera similar Yanar, Y., et al., (2007) informaron 4,75 mg/kg con harina de caléndula (*Tagetes erecta*) y 5,27mg/kg con harina de paprika (*Capsicum annuum*), además de Roncarati, A., et al, (2011) que reportaron 4,80 mg/kg con harina de krill (*Euphasia superba*).

Así mismo Rodríguez, A., (2016) señaló 5,10 mg/kg con oleoresina de paprika (*Capsicum annuum*) y 5,33 mg/kg con oleoresina de paprika + probióticos y Rohmah, Z., et al., (2016) notificaron 8,50 mg/kg con extracto de piña marina (*Halocynthia roretzi*) siendo el valor más alto recopilado.



**Gráfico 2-3.** Contenido de carotenoides en la carne (mg/kg)

Realizado por: Román, Enrique, 2021.

### 3.3. Métodos más efectivos de pigmentación natural de la carne de trucha arcoíris

El color rosa de la carne de la trucha arcoíris es un factor importante debido a que influye en la aceptación por parte del consumidor y su valor en el mercado (De La Mora, G., 1996, p. 15), además (Imbaquingo, M., 2017, p.26) menciona que el color rojo del musculo de los salmónidos es debido a la presencia de carotenoides, por lo tanto, los colores rojo y rosa en la carne se consideran ideales.

#### 3.3.1. Métodos de origen animal

Los métodos de origen animal (ver tabla 8-3) provienen de crustáceos tales como camarón del pacífico (*Pandalus jordani*), krill (*Euphasia superba*) y cangrejo de río (*Procambarus clarkii*), así mismo de la túnica ascidia piña marina (*Halocynthia roretzi*).

**Tabla 8-3:** Métodos de origen animal

Harina y extracto de origen animal como métodos efectivos de pigmentación natural		
Autor	Tratamiento	Coloración
Steel, R., (1971)	Harina de desechos de camarón del pacífico ( <i>Pandalus jordani</i> )	Rosa
Roncarati, A., et al., (2011)	Harina de krill ( <i>Euphasia superba</i> )	Rojo-rosa pálido
Rohmah, Z., et al., (2016)	Extracto de piña marina ( <i>Halocynthia roretzi</i> )	Rojo pálido
Pulcinia, D., et al, (2021)	Harina de cangrejo de río ( <i>Procambarus clarkii</i> )	Rosa

Realizado por: Román, Enrique, 2021.

Steel, R., (1971) con harina a partir de residuos del camarón del pacífico (*Pandalus jordani*) informó un color rosa muscular, así mismo Pulcinia, D., et al., (2021) con harina de cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) reportaron un color rosa deseable.

Mientras que, Roncarati, A., et al., (2011) con harina de krill (*Euphasia superba*) consiguieron un color rojo rosa pálido, de forma similar, Rohmah, Z., et al, (2016) con extracto de piña marina (*Halocynthia roretzi*) notificaron un color muscular rojo pálido, por lo tanto, estos métodos resultan ser efectivos para pigmentar la carne de las truchas arcoíris.

### 3.3.2. Métodos de origen vegetal

La levadura roja (*P. rhodozyma*) fragmentada, extracto de polen, además de las oleorresina y harina de paprika (*Capsicum annuum*) produjeron tonalidades rosas (ver tabla 9-3).

Mientras que, por ejemplo, la harina de la microalga verde (*Spirulina platensis*) causó una coloración roja, también es el caso del extracto flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*), además de la harina de soja (*Glycine max*) fermentada con levadura roja (*P. rhodozyma*) que produjo el mismo color (ver tabla 10-3).

**Tabla 9-3:** Métodos de origen vegetal que originaron un color rosa

Métodos de origen vegetal que originaron un color rosa		
Autor	Tratamiento	Coloración
Johnson, E., et al., (1980)	Levadura roja ( <i>Phaffia rhodozyma</i> ) fragmentada	Rosa salmón
De La Mora, G., (1996)	Oleorresinas de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rosa pálido
Torres, E., et al, (2019)	Extracto de polen	Rosa pálido
Yanar, Y., et al., (2007)	Harina de pimiento rojo ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rosa claro
Akhtar, P., et al, (2016)	Oleorresina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rosa-rojizo

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021.

Johnson, E., et al., (1980) mediante la eliminación parcial de la pared celular de la levadura roja (*Phaffia rhodozyma*) por medio de digestión enzimática, se consiguió un color rosa salmón en la carne de la trucha arcoíris; mientras que, De La Mora, G., (1996) y Torres, E., et al, (2019) obtuvieron un color rosa pálido en la carne mediante el uso de oleorresina de paprika y extracto de polen respectivamente.



Por otra parte, Yanar, Y., et al., (2007) reportaron un color rosa claro con la utilización de harina de paprika y finalmente Akhtar, P., et al, (2016) notificaron un color rosa-rojizo mediante la utilización de oleorresina de paprika, por lo tanto, estos métodos son efectivos para la pigmentación de la carne de trucha arcoíris.

**Tabla 10-3:** Métodos de origen vegetal que originaron un color rojo

<b>Métodos de origen vegetal que originaron un color rojo</b>		
<b>Autor</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Coloración</b>
Sosa, F., (1997)	Oleorresina de paprika ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rojo salmonado
Vernon, J., et al., (1994)	Extracto de chile ancho ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rojo claro
Kamata, T., et al., (1990)	Extracto flor ojo de perdiz ( <i>Adonis aestivalis</i> )	Rojo
Gentles, A., et al., (1991)	Células intactas levadura roja ( <i>P. rhodozyma</i> )	Rojo
Andino, D., et al., (2011)	Extracto de ají ( <i>Capsicum annuum</i> ) + selenio orgánico	Rojo
Teimouri, M., et al., (2013)	Harina de la microalga verde ( <i>Spirulina platensis</i> )	Rojo
Araujo, M., et al., (2015)	Harina de alga marina ( <i>Gracilaria vermiculophylla</i> )	Rojo
Rahman, M., et al., (2016)	Harina de soja ( <i>Glycine max</i> ) fermentada con <i>P. rhodozyma</i>	Rojo
Imbaquingo, M., (2017)	Harina de pimienta rojo ( <i>Capsicum annuum</i> )	Rojo
Zhang, C., et al, (2020)	Extracto flor ojo de perdiz ( <i>Adonis aestivalis</i> )	Rojo

**Realizado por:** Román, Enrique, 2021.

Sosa, F., (1997) notificó un color rojo salmonado con oleorresina de paprika (*Capsicum annuum*), de manera similar Vernon, J., et al., (1994) notificaron un color rojo claro con el uso del extracto de chile ancho (*Capsicum annuum*).

Por otra parte, Kamata, T., et al., (1990), Gentles, A., et al., (1991), y Andino, D., et al., (2011) reportaron un color rojo con el uso de extracto flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*), células intactas levadura roja (*P. rhodozyma*) y extracto de ají (*Capsicum annuum*) + selenio orgánico respectivamente.

Teimouri, M., et al., (2013); Araujo, M., et al., (2015); Rahman, M., et al., (2016); Imbaquingo, M., (2017) & Zhang, C., et al, (2020) notificaron un color rojo con harina de la microalga verde (*S. platensis*), de alga marina (*G. vermiculophylla*), de soja (*Glycine max*) fermentada con *P. rhodozyma*, de pimienta rojo (*Capsicum annuum*) y extracto flor ojo de perdiz (*Adonis aestivalis*) respectivamente.

## CONCLUSIONES

Los mecanismos empleados para la administración de los pigmentantes naturales en la carne de trucha arcoíris fueron las harinas, extractos y oleorresinas como las más comunes empleadas en la mayoría de las investigaciones experimentales recopiladas en el presente trabajo de investigación, así mismo existen otros mecanismos poco comunes por ejemplo biomasa de algas, células intactas de levadura roja o fragmentadas y polvo de morera negra.

En cuanto a los efectos de los diferentes pigmentantes naturales, se recopiló información sobre la ganancia de peso diario (g/día) que es un parámetro del crecimiento de la trucha arcoíris, el valor más bajo 0,76 g/día con el uso de polvo de morera negra (*Morus nigra*), mientras que el más alto 5,15 g/día con oleorresinas de paprika y flor de cempasúchil.

Otro efecto de los pigmentantes naturales fue el contenido de carotenoides en la carne medido en mg/ kg, el valor más bajo 2,4 mg/kg con la implementación del extracto de chile (*Capsicum annuum*), mientras que el valor más alto 8,5 mg/kg con la utilización del extracto de piña marina (*Halocynthia roretzi*).

Los métodos más efectivos fueron aquellos que originaron los colores rojo y rosa en carne, debido a que son ideales para comercializar, por ejemplo, con la adición de 3,5 % de harina de pimiento rojo (*Capsicum annuum*) se consiguió un color rojo en la carne, este pimiento rojo es ideal para producir en las condiciones climáticas propias de la región Sierra, lo que se refiere a la relación costo/beneficio, por cada dólar invertido se obtuvo un margen de rentabilidad de 0,56 ctvs. de dólar.

## **RECOMENDACIONES**

Utilizar las fuentes de pigmentación natural que produjeron los colores rojo y rosa debido a que son las tonalidades aceptadas a nivel comercial, mientras que las fuentes que produjeron colores naranja y amarillo son indeseables, por lo tanto, no se deberían de implementar a la dieta de la trucha arcoíris con el fin de evitar perjuicios económicos.

Al momento de adicionar los pigmentantes naturales se debe tomar en cuenta algunos factores que afectan la absorción y deposición de carotenoides en la carne de los salmónidos, se debe considerar la composición de la dieta, el estado fisiológico, el tamaño de los peces, y la maduración sexual.

Se debe continuar con más investigaciones que involucren fuentes naturales de pigmentos para colorear la carne de trucha arcoíris, debido a que son fuentes económicas, y sobre todo aquellas que brindan las tonalidades deseadas y aceptadas por los consumidores, es decir que originan colores rosa y rojo.

Por otra parte, se debe de utilizar los tratamientos que originaron colores naranja y amarillo en el área avícola, debido a que estos colores brindan un mejor aspecto visual a la piel y al pico es decir de color amarillo y a la yema de los huevos es decir de color naranja.

## BIBLIOGRAFÍA

**AKHTAR, P., et al.,** Dietary pigmentation and deposition of  $\alpha$ -tocopherol and carotenoids in rainbow trout muscle and liver tissue. [En línea] [Investigación] Idioma Inglés. Revista: Journal of Food Science. 2006, Vol. 64. No. 2. Sitio Web: Willey Online Library. [Consulta: 2020-11-12]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15872.x>

**ANDINO, D., et al.,** Aplicación de pigmentos naturales (extracto de ají) en dietas balanceadas para trucha arcoíris y su fijación con selenio orgánico. [En línea] [Trabajo de titulación] Idioma español. Escuela Politécnica del Ejercito. Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Sangolquí. Ecuador. 2011. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4847/1/T-ESPE-IASA%20I-004577.pdf>

**ARAUJO, M., et al.,** Dietary inclusion of IMTA-cultivated *Gracilaria vermiculophylla* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on growth, intestinal morphology, tissue pigmentation, and immunological response. [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Revista: Journal of Applied Phycology. 2015. Vol. 28, No.01, pp.01-11. Portugal. Sitio web: Springer Science. [Consulta: 2021-08-18]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/275518256\\_Dietary\\_inclusion\\_of\\_IMTA-cultivated\\_Gracilaria\\_vermiculophylla\\_in\\_rainbow\\_trout\\_Oncorhynchus\\_mykiss\\_diets\\_effects\\_on\\_growth\\_intestinal\\_morphology\\_tissue\\_pigmentation\\_and\\_immunological\\_response](https://www.researchgate.net/publication/275518256_Dietary_inclusion_of_IMTA-cultivated_Gracilaria_vermiculophylla_in_rainbow_trout_Oncorhynchus_mykiss_diets_effects_on_growth_intestinal_morphology_tissue_pigmentation_and_immunological_response)

**ARMENTA, R., et al.,** Extracción de caroproteínas a partir de residuos de camarón fermentados. [En línea] [Investigación] Idioma Español. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 2002, Vol. 1, No. 1-2, pp. 49-55. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Distrito Federal, México. [Consulta: 2020-11-14]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62010207>

**DE LA MORA, G.,** Efectos de pigmentación en el musculo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante el uso de extractos pigmentantes de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) y paprika (*Capsicum annum*) incorporados en el alimento balanceado. [En línea] [Trabajo de titulación] Idioma español. Universidad Autonoma de Nueva León. Facultad de Ciencias Biologicas. División de Estudios de Postgrado. Monterrey. México. 1996. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/6711/1/1080072439.PDF>

**DE LA MORA, G.,** Incremento al valor agregado de salmónidos a través de su pigmentación con colorantes naturales. [En línea] [Investigación] Idioma español. Instituto Nacional de la pesca

Pitágoras, Colonia Santa Cruz Atoyac, Delegación Benito Juárez. Ciudad de México, México. 2002. [Consulta:2020-11-03]. Disponible en: <http://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/260/258>

**GENTLES, A., et al.,** Pigmentation of rainbow trout with enzyme-treated and spray-dried *Phaffia rhodozyma*. [En línea] [Investigación] Idioma Inglés. Revista: The Progressive Fish-Culturist. 1991, Vol. 53, No. 1, Sitio Web: Wiley Online Library. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <https://afspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1577/1548-8640%281991%29053%3C0001%3APORTWE%3E2.3.CO%3B2>

**IMBAQUINGO, M.,** Evaluación de niveles de carotenoides naturales (harina de pimiento rojo) (*Capsicum annuum* L.) en la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la etapa de finalización en Juan Montalvo, Cayambe, provincia de Pichincha. [En línea] [Trabajo de titulación], Idioma español. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Cayambe, Ecuador. 2017. [Consulta: 2020-11-01]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6480/1/03%20AGP%20209%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

**JACUMAR.,** *Oncorhynchus mykiss*, trucha arcoíris. [En línea] [Ficha técnica]. Idioma español. Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR). Secretaría General de Pesca. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España. 2018.[Consulta: 2021-08-12]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/app/jacumar/especies/Documentos/Trucha.pdf>

**JOHNSON, E., et al.,** *Phaffia rhodozyma* as an astaxanthin source in salmonid diets. Aquaculture. [En línea] [Investigación]. Idioma Inglés Sitio Web: Science. Revista Aquaculture. 1980, Vol. 20, No 2. pp. 123-134. Department of Nutrition and Food Science, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Estados Unidos. [Consulta: 2020-11-04]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0044848680900411>

**KAMATA, T., et al.,** A study of astaxanthin- its application for the pigmentation of salmonid fish. [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Bull. Kagoshima Pref. College. 1992, Vol. 43. pp. 11-39. Shimoishiki. Prefectura de Kagoshima. Japón. [Consulta: 2020-11-04]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/235019557.pdf>

**KAMATA, T., et al.,** Utilization of *Adonis aestivalis* as a dietary pigment source for rainbow trout (*Salmo gairdneri*- *Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Sitio web: JSTAGE. Revista: Nippon Suisan Gakkaishi. Japón, 1990, Vol. 56. No. 5, pp. 783-788.

[Consulta: 2020-11-05]. Disponible en: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/56/5/56\\_5\\_783/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/56/5/56_5_783/_pdf)

**LOEW, C.,** Japan getting creative to promote sea pineapple following trade spat with South Korea. [En línea] [Investigación]. Idioma Inglés. Sitio Web: SEAFOODSOURCE. Osaka, Japón. 2019. [Consulta: 2021-02-17]. Disponible en: <https://www.seafoodsource.com/news/supply-trade/japan-getting-creative-to-promote-sea-pineapple-following-trade-spat-with-south-korea>

**MARTINEZ, J.,** Evaluación de dos pigmentos en la dieta de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) cultivada en centro de engorda. [En línea] [Trabajo de titulación]. Idioma español. Universidad Austral de Chile. Escuela de Acuicultura y Pesquería. Puerto Montt, Chile. 2017. [Consulta: 2020-11-14]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2017/bpmfpm385e/doc/bpmfpm385e.pdf>

**MEROI, C., et al.,** Alimento pigmentante para salmónidos. [En línea] [Proyecto] Idioma español. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda. Buenos Aires, Argentina. 2019. [Consulta: 2020-11-01]. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/4386>

**MUÑOZ, S.,** Pigmentación en salmónidos. [En línea] [Investigación] Idioma español. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Departamento de Producción Animal. Publicación Técnico-Ganadera No. 26. Chile. 2000. [Consulta: 2020-12-10] Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/22-pigmentacion\\_salmones.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/22-pigmentacion_salmones.pdf)

**NGUYEN, T., et al,** Aquaculture of sea-pineapple, *Halocynthia roretzi* in Japan. [En línea] [revisado el 10 de febrero de 2021]. Idioma Inglés. Artículo Científico. Revista: Aquaculture Asia. Tailandia, 2007, Vol. 12, No 2. pp. 21-23. Sitio Web: Aquatic Commons. [Consulta: 2021-02-10]. Disponible en: <http://aquaticcommons.org/435/1/aquaculture-asia-april-07.pdf>

**PULCINIA, D., et al.,** Muscle pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets rich in natural carotenoids from microalgae and crustaceans. [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Revista: Aquaculture. Italia. 2021, Vol. 543. Sitio Web: ScienceDirect. [Consulta: 2020-12-02]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736989>

**RAHMAN, M., et al.,** Effects of dietary inclusion of fermented soybean meal with phaffia rhodozyma on growth, muscle pigmentation, and antioxidant activity of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Revista: Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2016. Vol. 16, pp. 91-101. Korea. [Consulta: 2021-08-15].

Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/329610373\\_Effects\\_of\\_Dietary\\_Inclusion\\_of\\_Fermented\\_Soybean\\_Meal\\_with\\_Phaffia\\_rhodozyma\\_on\\_Growth\\_Muscle\\_Pigmentation\\_and\\_Antioxidant\\_Activity\\_of\\_Juvenile\\_Rainbow\\_Trout\\_Oncorhynchus\\_mykiss](https://www.researchgate.net/publication/329610373_Effects_of_Dietary_Inclusion_of_Fermented_Soybean_Meal_with_Phaffia_rhodozyma_on_Growth_Muscle_Pigmentation_and_Antioxidant_Activity_of_Juvenile_Rainbow_Trout_Oncorhynchus_mykiss)

**RODRÍGUEZ, A.,** Efecto de los carotenoides y los probióticos sobre los parámetros de desempeño, hematológicos, bioquímicos, color del filete, carotenoides totales y estrés térmico en el trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Trabajo de titulación]. Idioma español. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Agropecuarias. Jesús María, Aguascalientes, México. 2016. [Consulta: 2020-11-01]. Disponible en: <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/486/408671.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ROHMAH, Z., et al.,** Effect of ascidian (*Halocynthia roretzi*, Drasche 1884) tunics carotenoids on enhancing growth and muscle coloring of sea-reared rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Revista: Aquaculture Reports. 2016, Vol. 4, pp. 22-29. Indonesia. [Consulta: 2021-02-19]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.05.003>

**RONCARATI, A., et al.,** Effects of dietary supplementation with krill meal on pigmentation and quality of flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación] Idioma inglés. Revista: Italian Journal of Animal Science. Italia. 2011. Vol. 10, pp.139–146. Italia. [Consulta: 2020-11-04]. Disponible en: <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e27>

**RUBIO, S.,** Procedimiento para la extracción de carotenoides utilizando fases líquidas nanoestructuradas. [En línea] [Boletín de difusión]. Idioma español. Revista: Truco, Edición semestral, No. 29. 2018. Universidad de Córdoba. España. [Consulta: 2021-08-12]. Disponible en: [https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/16656/truco\\_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/16656/truco_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**SAEZ, P., et al.,** Feeding increasing levels of corn gluten meal induces suboptimal muscle pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Revista: Aquaculture Research. 2014, Vol. 47, No 6. Sitio Web: Wiley Online Library. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/are.12653>

**SÁNCHEZ, A.,** Efectos del carotenoide astaxantina en la salud humana, según la Ciencia. [En línea] [Investigación]. Idioma español. Valencia, España. Revista: NPunto. 2019, Vol. 2. No. 20.

[Consulta: 2020-01-07]. Disponible en: <https://www.npunto.es/content/src/pdf-articulo/5ddb915d24571NPvolumen20-46-58.pdf>

**SHEKARABI, S., et al.**, Effect of black mulberry (*Morus nigra*) powder on growth performance, biochemical parameters, blood carotenoid concentration, and fillet color of rainbow trout. [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Sitio Web: Sciendo, Revista: Annals of Animal Science. Tehran, Iran, 2020. Vol. 20, No. 01, pp. 125-136. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <https://sciendo.com/article/10.2478/aoas-2019-0068>

**SOMMER, T., et al.**, Utilization of microalgal astaxanthin by rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. [En línea] [Investigación] Idioma inglés. Sitio Web: Science. Revista: Aquaculture. North Beach, Australia, 1991, Vol. 94, No. 01, pp. 79-88. [Consulta: 2020-11-09] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004484869190130Y>

**SOSA, F.**, Comparación del color muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) obtenido por la adición a la dieta de pigmentos vegetales de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) y paprika (*Capsicum annuum*). [En línea] [Trabajo de titulación]. Idioma español. Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Hidrobiología. Iztapalapa, México. 1997. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <https://1library.co/document/4yr6kvoy-comparacdn-del-color-muscular-de-trucha-arco-iris.html>

**STEEL, R.**, Shrimp processing waste as a pigment source for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Oregon State University. 1971. Estados Unidos. [Consulta: 2021-08-17]. Disponible en: [https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate\\_thesis\\_or\\_dissertations/z316q435n](https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/z316q435n)

**TEIMOURI, M., et al.**, The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Sitio Web: ScienceDirect. Revista: Aquaculture. 2013, Vol. 396–399, pp.14-19. Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural and Natural Resources University. Sari, Iran. [Consulta: 2020-12-30] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848613000628?via%3Dihub>

**TÉLLEZ, V.**, Dinámica de pigmentación en *Oncorhynchus kisutch*, *Oncorhynchus mykiss* y *Salmo salar* en fase marina de cultivo. [En línea] [Trabajo de titulación]. Idioma español. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias. Instituto de Patología Animal, Ictiopatología. 1998. Valdivia. Chile. [Consulta: 2020-11-03]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/1998/fvt275d/sources/fvt275d.pdf>



**TORRES, E., et al.,** Effect of bee pollen extract as a source of natural carotenoids on the growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Sitio Web: ScienceDirect. Revista: Aquaculture. 2019, Vol. 514. Bogotá, Colombia. [Consulta: 2020-12-13]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734490>

**TORRES, E.,** Influencia de la adición de extractos de carotenoides naturales en la dieta de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) sobre la pigmentación y estabilidad del filete. [En línea] [Investigación]. Idioma español. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Posgrado de Ciencia y Tecnología de Alimentos Bogotá, Colombia, 2018. [Consulta: 2021-08-12]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76174/11448518.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**TORRISSEN, O., et al.,** Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism. [En línea] [Investigación] Idioma inglés. Reviews in Aquatic Sciences. 1989, Vol. 1. No 2. pp. 209-225. Noruega. [Consulta: 2020-12-14]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Ole\\_Torrissen/publication/247183850\\_Pigmentation\\_of\\_Salmonids\\_Carotenoid\\_deposition\\_and\\_metabolism/links/54dc85470cf23fe133b1b41a.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ole_Torrissen/publication/247183850_Pigmentation_of_Salmonids_Carotenoid_deposition_and_metabolism/links/54dc85470cf23fe133b1b41a.pdf)

**VERNON, J., et al.,** Bioensayo de pigmentación de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con extractos de chile ancho (*Capsicum annuum*). [En línea] [Investigación] Idioma español. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de nutrición. 1994, Vol. 44. No. 4, pp. 252-255. [Consulta: 2020-12-12] Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_T\\_PoncePalafox/publication/256842611\\_Bioensayo\\_de\\_pigmentacion\\_de\\_trucha\\_arcoiris\\_Oncorhynchus\\_mykiss\\_con\\_extractos\\_de\\_chile\\_ancho\\_Capsicum\\_annuum/links/5e778375299bf1892c00f882/Bioensayo-de-pigmentacion-de-trucha-arcoiris-Oncorhynchus-mykiss-con-extractos-de-chile-ancho-Capsicum-annuum.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_T_PoncePalafox/publication/256842611_Bioensayo_de_pigmentacion_de_trucha_arcoiris_Oncorhynchus_mykiss_con_extractos_de_chile_ancho_Capsicum_annuum/links/5e778375299bf1892c00f882/Bioensayo-de-pigmentacion-de-trucha-arcoiris-Oncorhynchus-mykiss-con-extractos-de-chile-ancho-Capsicum-annuum.pdf)

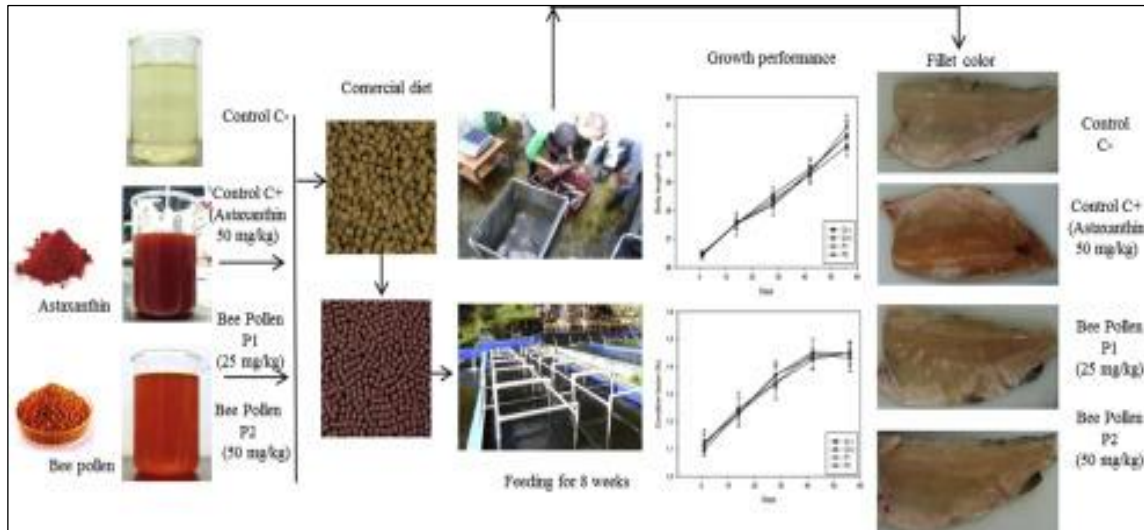
**YANAR, Y., et al.,** Effect of carotenoids from red pepper and marigold flower on pigmentation, sensory properties and fatty acid composition of rainbow trout. [En línea] [Investigación] Idioma inglés. Revista: Food Chemistry. 2007, Vol. 100, No 1, pp. 326–330. Turquía. [Consulta: 2020-11-05] Disponible en: <https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/1208e44241ea5655009125c3f5b64e87/j.foodchem.2005.09.056.pdf>

**YOUNG, A., et al.,** Processing of astaxanthin-rich *Haematococcus* cells for dietary inclusion and optimal pigmentation in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. [En línea] [Investigación] Idioma inglés. Sitio Web: Wiley Online Library. Revista: Aquaculture Nutrition. 2017, Vol. 23. No. 6. [Consulta: 2020-11-09] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/anu.12505>

**ZHANG, C., et al.,** Dietary *Adonis aestivalis* extract improved the flesh pigmentation, antioxidative status and shelf-life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). [En línea] [Investigación]. Idioma inglés. Sitio Web: Wiley Online Library. Revista: Aquaculture Nutrition. 2020, Vol. 26. No. 6. [2020-12-04]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/anu.13144>

## ANEXOS

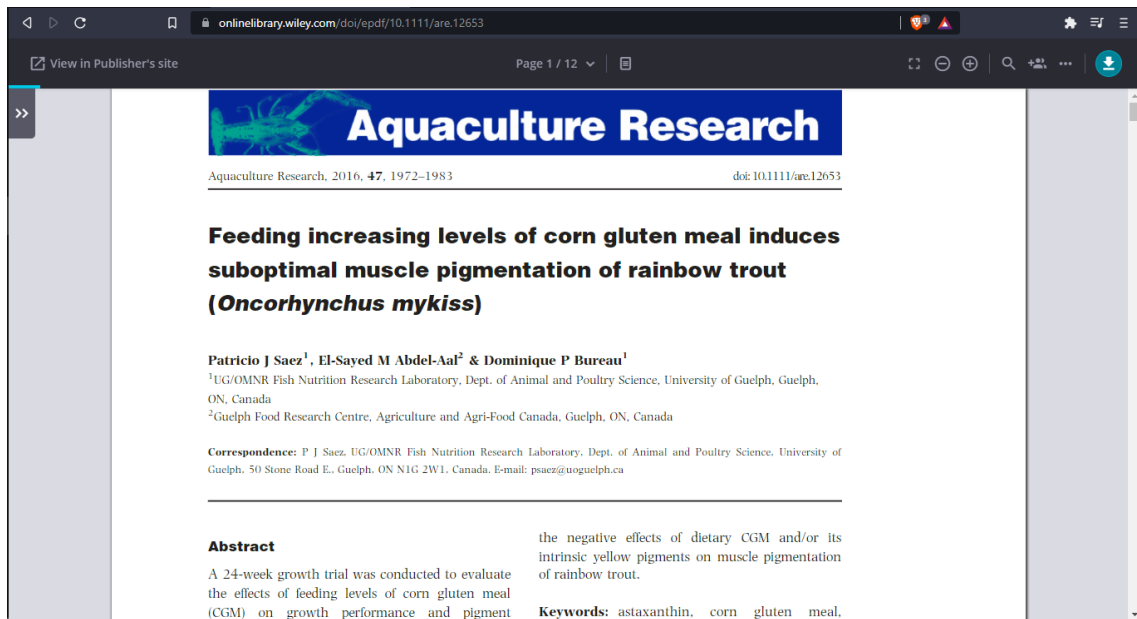
### ANEXO A: EFFECT OF BEE POLLEN EXTRACT AS A SOURCE OF NATURAL CAROTENOIDS ON THE GROWTH PERFORMANCE AND PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*).



### ANEXO B: THE EFFECTS OF SPIRULINA PLATENSIS MEAL AS A FEED SUPPLEMENT ON GROWTH PERFORMANCE AND PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

The screenshot shows the ScienceDirect article page for the paper titled "The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)". The article is published in the journal *Aquaculture*, Volume 396-399, 1 June 2013, Pages 14-19. The authors are Mahdi Teimouri, Abdolsamad Keramat Amirkolaie, and Sekineh Yeganeh. The article is available for purchase as a PDF. The page also features a table of contents, keywords, and a list of recommended articles. The article is cited 94 times.

**ANEXO C: FEEDING INCREASING LEVELS OF CORN GLUTEN MEAL INDUCES SUBOPTIMAL MUSCLE PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*).**



onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/are.12653

Page 1 / 12

View in Publisher's site

# Aquaculture Research

Aquaculture Research, 2016, 47, 1972–1983 doi:10.1111/are.12653

## Feeding increasing levels of corn gluten meal induces suboptimal muscle pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Patricio J Saez<sup>1</sup>, El-Sayed M Abdel-Aal<sup>2</sup> & Dominique P Bureau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory, Dept. of Animal and Poultry Science, University of Guelph, Guelph, ON, Canada  
<sup>2</sup>Guelph Food Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Guelph, ON, Canada

**Correspondence:** P J Saez, UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory, Dept. of Animal and Poultry Science, University of Guelph, 50 Stone Road E., Guelph, ON N1G 2W1, Canada. E-mail: psaez@uoguelph.ca

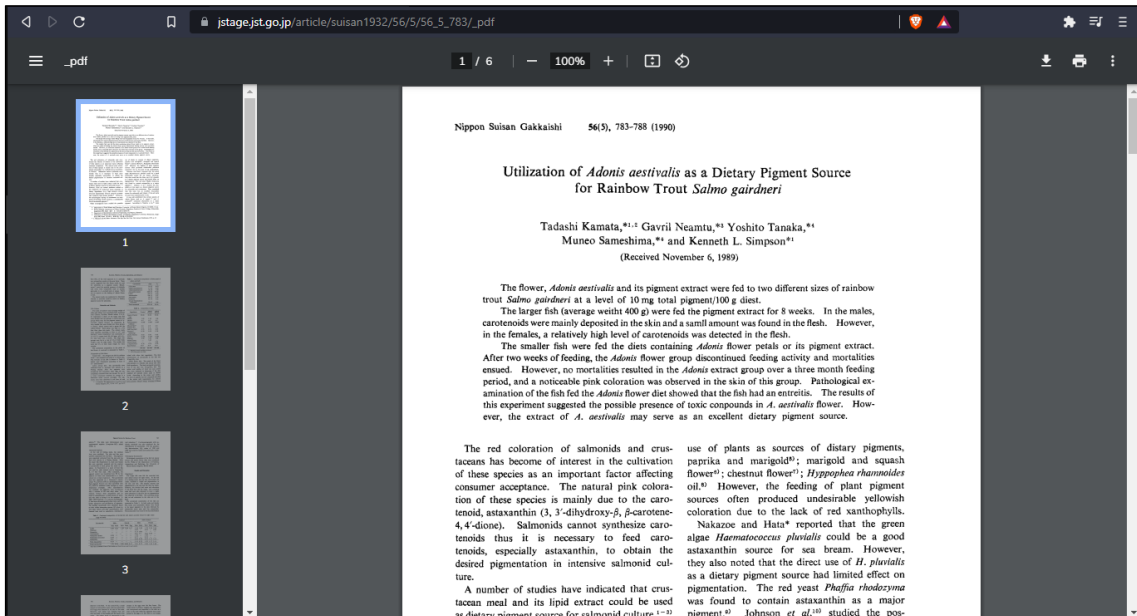
**Abstract**

A 24-week growth trial was conducted to evaluate the effects of feeding levels of corn gluten meal (CGM) on growth performance and pigment

the negative effects of dietary CGM and/or its intrinsic yellow pigments on muscle pigmentation of rainbow trout.

**Keywords:** astaxanthin, corn gluten meal.

**ANEXO D: UTILIZATION OF *ADONIS AESTIVALIS* AS A DIETARY PIGMENT SOURCE FOR RAINBOW TROUT (*SALMO GAIRDNERI*- *ONCORHYNCHUS MYKISS*)**



jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/56/5/56\_5\_783/\_pdf

1 / 6 | 100%

Nippon Suisan Gakkaishi 56(5), 783-788 (1990)

### Utilization of *Adonis aestivalis* as a Dietary Pigment Source for Rainbow Trout *Salmo gairdneri*

Tadashi Kamata,<sup>\*,1,2</sup> Gavril Neamtu,<sup>\*,3</sup> Yoshito Tanaka,<sup>\*,4</sup> Muneo Sameshima,<sup>\*,5</sup> and Kenneth L. Simpson<sup>\*,6</sup>  
(Received November 6, 1989)

The flower, *Adonis aestivalis* and its pigment extract were fed to two different sizes of rainbow trout *Salmo gairdneri* at a level of 10 mg total pigment/100 g diet.

The larger fish (average weight 400 g) were fed the pigment extract for 8 weeks. In the males, carotenoids were mainly deposited in the skin and a small amount was found in the flesh. However, in the females, a relatively high level of carotenoids was detected in the flesh.

The smaller fish were fed the diets containing *Adonis* flower petals or its pigment extract. After two weeks of feeding, the *Adonis* flower group discontinued feeding activity and mortalities ensued. However, no mortalities resulted in the *Adonis* extract group over a three month feeding period, and a noticeable pink coloration was observed in the skin of this group. Pathological examination of the fish fed the *Adonis* flower diet showed that the fish had an enteritis. The results of this experiment suggested the possible presence of toxic compounds in *A. aestivalis* flower. However, the extract of *A. aestivalis* may serve as an excellent dietary pigment source.

The red coloration of salmonids and crustaceans has become of interest in the cultivation of these species as an important factor affecting consumer acceptance. The natural pink coloration of these species is mainly due to the carotenoid, astaxanthin (3,3'-dihydroxy- $\beta$ , $\beta$ -carotene-4,4'-dione). Salmonids cannot synthesize carotenoids thus it is necessary to feed carotenoids, especially astaxanthin, to obtain the desired pigmentation in intensive salmonid culture.

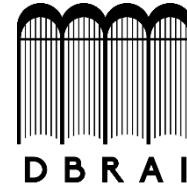
A number of studies have indicated that crustacean meal and its lipid extract could be used as dietary pigment source for salmonid culture.<sup>1-11</sup>

use of plants as sources of dietary pigments, paprika and marigold<sup>12</sup>; marigold and squash flowers<sup>13</sup>; chestnut flower<sup>14</sup>; *Hyppophaea rhamnoides* oil.<sup>15</sup> However, the feeding of plant pigment sources often produced undesirable yellowish coloration due to the lack of red xanthophylls.

Nakazoe and Hata<sup>16</sup> reported that the green algae *Haematococcus pluvialis* could be a good astaxanthin source for sea bream. However, they also noted that the direct use of *H. pluvialis* as a dietary pigment source had limited effect on pigmentation. The red yeast *Phaffia rhodozyma* was found to contain astaxanthin as a major pigment.<sup>17</sup> Johnson *et al.*<sup>18</sup> studied the pos-



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 02 / 2022

**INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)**

**Nombres – Apellidos:** Enrique Israel Román Hidalgo

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**Facultad:** *Ciencias Pecuarias*

**Carrera:** Zootecnia

**Título a optar:** Ingeniero Zootecnista



1899-DBRA-UTP-2022