

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA



**PIGMENTACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN FASE
DE ACABADO, DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN Y
PROCESO DE COCCIÓN. EN EL CENTRO PISCÍCOLA EL INGENIO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

LÁZARO CASTRO, Roxana Iris

Tingo María - Perú

2014



**T
ZOO**

Lázaro Castro, Roxana Iris

Pigmentación de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en fase de acabado, durante el almacenamiento en refrigeración y proceso de cocción, en el Centro Piscícola El Ingenio. Tingo María 2014

59 páginas, 6 cuadros, 14 figuras, 76 ref. , 30 cm.

Tesis (Ingeniero Zootecnista) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María Perú. Facultad de Zootecnia.

**1- CAROPHYLL ROSADO 2- COCCIÓN 3- DELTAXANTINA
4- PIGMENTACIÓN 5- REFRIGERACIÓN 6- TRUCHA ARCO IRIS**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA

Av. Universitaria Km. 2 Tel: (062) 561280
TINGO MARÍA

"Año de la Promoción de la Industria y del Compromiso Climático"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 16 de mayo de 2014, a horas 7:00 p.m. para calificar la tesis titulada:

"PIGMENTACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN FASE DE ACABADO, DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN Y PROCESO DE COCCIÓN, EN EL CENTRO PISCÍCOLA "EL INGENIO".

Presentada por la Bachiller **ROXANA IRIS LAZARO CASTRO**; después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobada con el calificativo de **"MUY BUENO"**.

En consecuencia, la sustentación queda apta para optar el **TÍTULO DE INGENIERO ZOOTECNISTA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título, de conformidad con lo establecido en el Artículo 95, inciso "i" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 19 de mayo de 2014

Dr. RIZAL ROBLES HUAYNATE
Presidente



MSc. JUAN LA O GONZALES
Miembro

MSc. MEDARDO DÍAZ CÉSPEDES
Miembro

Blgo. Pesq. CARLOS ÁLVAREZ JANAMPA
Miembro-Asesor

DEDICATORIA

A mis padres Doña **NELIDA CASTRO AGUILAR** y Don **CIPRIANO LÁZARO GUTIERREZ** por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, la comprensión, el apoyo incondicional y la confianza en cada momento de mi vida.

A mis tíos **LUIS CASTRO AGUILAR**, **BERTHA CASTRO AGUILAR** y **FELIX CASTRO AGUILAR** y a mi abuelita **MARTINA AGUILAR HINOSTROZA**, por fomentar en mi el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A mis primos **PAOLA HUILCAMISA CASTRO** y **DANNY AIRE CASTRO**, por la confianza depositada, ayuda y cariño durante estos años.

A mis hermanos **WALTER LÁZARO CASTRO**, **LILIANA LÁZARO CASTRO** Y **FRANKLIN LÁZARO CASTRO**, por su aliento, cariño y apoyo emocional durante el tiempo que duro el trabajo de investigación.

A mis sobrinos **ANTHONY NIÑO LÁZARO**, **DAYANNA KEYLA NIÑO LÁZARO**, **ALINA PALMA LÁZARO**, **ALISON PALMA LÁZARO** y **CHRISTOPHER LÁZARO SUDARIO**, por darme tanto cariño y llenarme de alegría.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, fortaleza y sabiduría para seguir adelante con mi formación profesional.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva en especial a la Facultad de Zootecnia.

A Neil Edwin Castro Mendoza, por el amor, cariño, confianza, apoyo emocional y aliento, durante estos tres últimos años y aún más durante la ejecución del trabajo de investigación.

A mi asesora de tesis Dra. Elizabeth Susana Ordoñez Gómez por su ayuda y paciencia en este proyecto, ejecución y finalización de la tesis.

Ing. Walter Paredes Orellana y al Blgo. Carlos Álvarez Janampa por su tiempo prestado en el trabajo de investigación.

A mis compañeros de estudios, Rocio del Pilar Lázaro, Lezly Ccori Rufino, y Yesenia Montesinos Ortega, por su amistad y su compañerismo.

Al Lic. Pool Robinson Ávila Marín, por su apoyo incondicional durante la ejecución de trabajo de investigación.

Al Blgo. Rubel Sarzo Suarez, por su apoyo, confianza y facilidades brindadas durante la estadía en el CPI.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades de la trucha arco iris	4
2.1.1. Clasificación taxonómica de la trucha arco iris	5
2.2. Pigmentación en truchas	5
2.2.1. Fuentes de carotenoides para truchas.....	6
2.2.2. Funciones de los carotenoides	9
2.2.3. Metabolismo de los carotenoides en truchas	10
2.2.4. Factores que afectan la pigmentación de las truchas	12
2.3. Evaluación del color en músculos de truchas.....	17
2.4.1. Evaluación visual	17
2.4.2. Evaluación instrumental	18
2.4. Expresión final del color.....	18
2.5. Características de <i>Haematococcus pluvialis</i>	19
2.5.1. Utilización de Deltaxantina®	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Lugar y fecha de ejecución del trabajo experimental.....	22
3.2. Tipo de investigación	21
3.3. Población y muestra	21
3.4. Instalaciones, equipos, materiales e insumos	22
3.4.1. Instalaciones.....	22

3.4.2.	Equipos	22
3.4.3.	Materiales e insumos	22
3.5.	Material biológico.....	23
3.6.	Metodología experimental	23
3.6.1.	Preparación de los estanques e instalaciones de las unidades experimentales	23
3.6.2.	Suministro del alimento.....	23
3.6.3.	Acondicionamiento y evaluación instrumental del músculo de trucha durante la fase de acabado	24
3.6.4.	Acondicionamiento y evaluación visual del músculo de trucha durante la fase de acabado.....	25
3.6.5.	Acondicionamiento y evaluación del músculo de trucha almacenado en refrigeración.....	27
3.6.6.	Acondicionamiento y evaluación del músculo de trucha después de la cocción	27
3.6.7.	Evaluación de los parámetros físico químico del agua.....	30
3.7.	Variable independiente	30
3.8.	Tratamientos.....	30
3.9.	Croquis de distribución de los tratamientos y repeticiones.....	31
3.10.	Análisis estadístico	32
3.11.	Variables dependientes	33
3.11.1.	Evaluación del color del músculo de trucha arco iris durante la fase de acabado.....	33

3.11.2. Evaluación del color del músculo de trucha arco iris durante el almacenamiento en refrigeración	33
3.11.3. Evaluación del color del músculo de trucha arco iris después de la cocción	33
IV. RESULTADOS	34
4.1. Grado de pigmentación del músculo de truchas arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado	34
4.1.1. Evaluación del color a través del sistema CIELa*b*	34
4.1.2. Evaluación a través de la regla <i>SalmoFan</i> [™]	38
4.2. Grado de pigmentación del músculo de truchas arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema CIELa*b*, durante el almacenamiento en refrigeración	39
4.3. Grado de pigmentación del músculo de truchas arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema CIELa*b*, después de la cocción.....	40
V. DISCUSIÓN	44
5.1. Grado de pigmentación del músculo de truchas arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado	44
5.1.1. Evaluación del color a través del sistema CIELa*b*	44
5.1.2. Evaluación del color a través de la regla <i>salmofan</i> [™]	49
5.2., Grado de pigmentación del músculo de truchas arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema CIELa*b*, almacenamiento en refrigeración	50

5.3. Grado de pigmentación del músculo de truchas arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema CIE $L^*a^*b^*$, después de la cocción.....	53
VI. CONCLUSIONES.....	56
VII. RECOMENDACIONES	57
ABSTRACT	58
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	60
ANEXO.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición químico proximal de la dieta base.	24
2. Resultados de L , a^* y b^* del músculo de trucha arco iris, pigmentados con carophyll rosado y deltaxantina a los 45 días	34
3. Resultados de L , a^* y b^* del músculo de trucha arco iris, pigmentados con carophyll rosado, durante la fase de acabado	35
4. Resultados de color (regla <i>SalmoFan</i>) del músculo de trucha arco iris pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina	39
5. Resultados de color del músculo de truchas arco iris, pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, almacenados en refrigeración	40
6. Resultados de la evaluación de color del músculo de trucha arco iris, pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, después de la cocción	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Estructura molecular de la astaxantina.....	7
2. Diagrama de la toma de muestra en la fase de acabado.....	26
3. Diagrama de la toma de muestra para el almacenamiento en refrigeración.	28
4. Diagrama de la toma de muestra durante la cocción.	29
5. Distribución de los tratamiento y repeticiones.	31
6. Diagrama de dispersión y recta de regresión lineal para L de los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado.....	36
7. Diagrama de dispersión y recta de regresión lineal para L de los músculos de truchas pigmentadas con deltaxantina.....	36
8. Diagrama de dispersión y recta de regresión lineal para a^* de los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado.....	37
9. Diagrama de dispersión y recta de regresión lineal para a^* de los músculos de truchas pigmentadas con deltaxantina.....	37
10. Diagrama de dispersión y recta de regresión lineal para b^* de los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado.....	38
11. Diagrama de dispersión y recta de regresión lineal para a^* de los músculos de truchas pigmentadas con deltaxantina.....	38
12. Comportamiento del carophyll rosado y deltaxantina a través de la regla <i>SalmoFan</i> de los músculos de truchas, en la fase de acabado.	39

13. Comportamiento de L , a^* y b^* para los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, almacenadas en refrigeración.	41
14. Comportamiento de L , a^* y b^* para los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, después de la cocción.	43

RESUMEN

La investigación fue realizada entre los meses de julio y agosto del 2013 en las instalaciones del Centro Piscícola El Ingenio y en el Laboratorio de Planta de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los objetivos fueron: Determinar el efecto de pigmentación del músculo de truchas arco iris, en la fase de acabado, adicionando al alimento balanceado dos pigmentantes, deltaxantina y carophyll rosado, durante el almacenamiento en refrigeración y después de la cocción, bajo dos sistemas de medida; para ello se utilizaron 600 kilos de truchas de la variedad arco iris, con 165 ± 5 g de peso vivo y 22 cm de talla, las truchas fueron distribuidas en un Diseño Completamente al Azar con 2 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos fueron: T1: Dieta con 90 ppm de carophyll rosado y T2: Dieta con 100 ppm de deltaxantina. Para comparar el efecto de ambos pigmentantes a los 45 días, se realizó una prueba de Hipótesis pareadas; así mismo a los resultados de las variables ($CIE L^*a^*b^*$) en función al tiempo se le realizó un análisis de varianza, una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) y un ajuste de regresión para cada una de estas independientemente. Los datos de la evaluación visual se sometieron a una prueba de Friedman. Así mismo para los datos obtenidos durante el almacenamiento en refrigeración y después de la cocción, en función al tiempo, se realizó un análisis de varianza con una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Los resultados durante el periodo de experimentación muestran respuestas positivas en ambos tratamientos, determinándose como mejor, aquel en que la concentración fue 90 ppm de pigmento sintético. Entretanto, para la deltaxantina y el carophyll rosado hubo

diferencia ($P < 0.05$), el carophyll rosado tuvo mejores valores en el sistema CIEL a^*b^* y regla *salmofan*, en el músculo de trucha arco iris, en la fase de acabado. La estabilidad de color durante los 7 días almacenados en refrigeración pigmentada con carophyll rosado fue buena mientras que la deltaxantina sufre la mayor pérdida en a^* y b^* en un 26,8% y en la cocción provoca un aumento de L , aclaramiento en a^* y b^* , presentando mayor estabilidad el carophyll rosado que la deltaxantina. Por lo que se concluye utilizar el carophyll rosado como pigmentante en truchas arco iris.

Palabras clave: Carophyll rosado, cocción, deltaxantina, pigmentación, refrigeración, trucha arco iris.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, la acuicultura ha tenido un importante desarrollo en los últimos años, destacándose el cultivo de numerosas especies como concha de abanico, camarones, langostinos, truchas arco iris y otras que aún están en cultivo experimental; siendo la trucha arco iris juzgada por su talla, textura, frescura, sabor y precio, pero el criterio clave de decisión, es el impacto visual que provoca la coloración de su carne que varía de un rosado-pálido a un rojo-anaranjado; así, el grado de pigmentación se constituye un factor esencial para la comercialización de estas especies cualquiera sea su forma de presentación final.

La necesidad de pigmentar a las truchas de acuerdo a un nivel de exigencia del mercado, ha generado una mayor demanda de pigmentos sintéticos, teniendo el inconveniente de poseer un precio muy elevado, representando el 15 a 20% del costo de alimentación, utilizando pigmentantes sintéticos; frente a esta situación se crea la necesidad de recurrir a fuentes naturales y económicas de pigmento, entre ellos tenemos: la deltaxantina[®], pigmento natural alimentario de mayor disponibilidad y de menor costo, con una concentración de 5% de astaxantina, extraído de microalgas *Haematococcus pluvialis*, este producto puede ser una alternativa natural y de bajo costo en cuanto a la pigmentación del músculo de la trucha arco iris.

Por tanto, considerámos que es de mucha importancia realizar dicha investigación, para averiguar ¿Cuál será el efecto de la deltaxantina[®] incorporado en el alimento balanceado, sobre la pigmentación del músculo de la trucha arco iris, en la fase de acabado, durante el almacenamiento en refrigeración y después de cocción?

En tal sentido se plantea la siguiente hipótesis. Adicionando deltaxantina[®] en el alimento balanceado a una concentración de 100 ppm, ocasionará mayor pigmentación del músculo de trucha arco iris, en la fase de acabado y mayor estabilidad de color del músculo en el almacenamiento en refrigeración y después de la cocción, por ser un pigmento natural a base de microalgas *Haematococcus pluvialis*, conteniendo un 5% de astaxantina. Para demostrar esto se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Determinar el efecto de pigmentación del músculo de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), por la adición al alimento balanceado de dos pigmentantes; deltaxantina[®] y carophyll rosado[®], en la fase de acabado, durante el almacenamiento y después de la cocción, bajo dos sistemas de medida, en el Centro Piscícola El Ingenio.

Objetivos específicos:

- Evaluar el grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con deltaxantina[®] y carophyll rosado[®], utilizando la regla de *Salmofan*[™] y el sistema del *CIELa*b**, en la fase de acabado.

- Evaluar el grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con deltaxantina[®] y carophyll rosado[®], utilizando el sistema del CIELa*b*, durante el almacenamiento en refrigeración.
- Evaluar el grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con deltaxantina[®] y carophyll rosado[®], utilizando el sistema del CIELa*b*, después de la cocción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la trucha arco iris

La trucha es un pez que se alimenta en su ambiente natural de presas vivas, como insectos en estado larvario, moluscos, crustáceos, gusanos, renacuajos y peces pequeños; encontrándose en los ríos, lagos y lagunas de agua fría, limpia y cristalina; típica de las altas montañas, prefiriendo las corrientes moderadas y ocupa generalmente los tramos medios de fondos pedregosos y moderada vegetación; se distribuye en casi todo los ambientes dulces acuícolas de las zonas alto andinas del Perú (BLANCO, 1995).

Su distribución en los ríos se encuentra continuamente alterada por su gran movilidad, pues migran de una zona a otra, dependiendo de la estación del año, estadio biológico, de las horas del día, del tipo de alimento, épocas de reproducción; en estado libre puede alcanzar dimensiones, de 50 a 70cm. de longitud y de 4 a 5 kg de peso, esta especie muestra una mayor docilidad a la cautividad, tolerancia y adaptación social a la alta densidad poblacional, con comportamientos menos agresivo que la trucha común; tiene un amplio margen de adaptación a las temperaturas de las aguas y a las diversas condiciones ambientales de los recintos artificiales donde se encuentra confinada, acudiendo con gran avidez al alimento (FONDEPES, 2006).

2.1.1. Clasificación taxonómica de la trucha arco iris

BLANCO (1995), señala la siguiente clasificación taxonómica para la trucha arco iris.

Reino	:	Animal
Phylum	:	Chordata
Sub Phylum	:	Vertebrata
Clase	:	Osteichthyes
Sub clase	:	Actinopterygios
Orden	:	Salmoniformes
Sub orden	:	Salmonoidei
Familia	:	Salmonidae
Género	:	Oncorhynchus
Especie	:	mykiss
Nombre científico	:	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Nombre común	:	trucha "arco iris"

2.2. Pigmentación en truchas

La calidad de las truchas puede ser medida a través de la textura, contenido graso y del color, siendo este último uno de los criterios más importantes a la hora de la comercialización; el color está determinado por el depósito de pigmentos como la astaxantina y cantaxantina que se identifican en el grupo de los carotenoides, los cuales deben ser incluidos en la dieta para poder lograr el color característico de los peces, el cual se encuentra afectado por numerosos factores que dependen principalmente del alimento, de la genética del pez y condiciones ambientales (VIDAL, 2003).

La trucha no poseen la habilidad metabólica inherente para sintetizar los pigmentos por esto son necesario incluidos dentro de la dieta como moléculas preformadas que son absorbidas y depositadas en los tejidos, dando como resultado una coloración rosada de las truchas; la coloración está dada por la presencia de carotenoides oxigenados en su tejido muscular, como la cantaxantina y en forma abundante la astaxantina, aunque también se pueden encontrar pequeñas cantidades de otros carotenoides como zeaxantina, luteína, capsantina, etc. (BJERKENG, 2000).

La tasa de retención de los pigmentos en las truchas, definida por la proporción entre los carotenoides fijados en el tejido muscular y los ingeridos (STOREBAKKEN y NO, 1992) alcanza un rango de 1 a 18%, y varía con factores como tamaño, especie, tipo de pigmento, madurez sexual y concentración de carotenoides en el alimento (TORRISEN *et al.*, 1989).

2.2.1. Fuente de carotenoides para truchas

Bajo condiciones naturales (lagunas, ríos o mar), las truchas obtienen su color característico bebido a la ingesta de crustáceos, zooplancton y pequeños peces, cuyo pigmento es la astaxantina, este ha sido utilizado con éxito durante los últimos años, por ser el único pigmento disponible a gran escala en la truchicultura, mientras que en condiciones de cultivo, la pigmentación de las truchas a base de carotenoides, corresponde mayoritariamente a astaxantina sintética(LARRAIN, 2002); sin embargo, algunas investigaciones señalan que la cantaxantina otorga un color más amarillento que la astaxantina (SOSA, 1997).Dentro de las fuentes de carotenoides tenemos:

Astaxantina, es un carotenoide rojo liposoluble de gran capacidad antioxidante, es ampliamente utilizado en la acuicultura como aditivo para la pigmentación de la trucha, camarón, algunos peces ornamentales y crustáceos (LORENZ y CYSEWSKI, 2000).

La astaxantina (3,3'-dihidroxi-4,4'-diceto- β,β -caroteno), cuya fórmula molecular es $C_{40}H_{52}O_4$, se distingue por tener una cadena poliénica de once dobles enlaces conjugados, responsables del intenso color rojo brillante del cromóforo; presenta un anillo cíclico en cada extremo de la molécula, un grupo funcional hidroxílico en cada uno de los carbonos 4 y 4' (Figura 1); la existencia de dichos radicales oxigenados en los extremos lo caracteriza entre los carotenoides como un oxicarotenoide o xantofila, (SÁNCHEZ y FLORES, 1999).

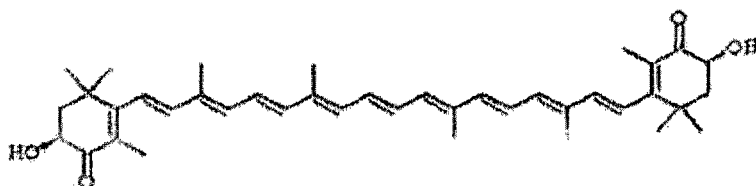


Figura 1. Estructura molecular de la astaxantina.

Astaxantina natural, en la naturaleza, la astaxantina es producida por el plancton y algunos tipos de algas, los cuales son ingeridos por diversas especies acuáticas, incluyendo a los crustáceos, entre los que se encuentran los langostinos, que almacenan el pigmento en su cubierta, dando lugar a su color rojizo externo, a su vez, los crustáceos son ingeridos por los peces (trucha) o por las aves (flamencos, ibis rojo)(HERRERO *et al.*, 2006); sin embargo las algas son fuente natural con un alto contenido de astaxantina alcanzado hasta 5 g/kg de materia seca (ALMENDRAS y SABELLE, 2000).

La astaxantina se presenta en la naturaleza como astaxantina libre, mono o diéster ya que puede esterificarse con ácidos grasos; en el plasma y musculatura se encuentra astaxantina en la forma libre, mientras que en la piel se encuentra esterificada (HARDY *et al.*, 1994).

Industrialmente solo se han utilizado algunos crustáceos, algas y levaduras para la producción de este carotenoide; los crustáceos se han utilizado para la pigmentación de salmón y trucha, a diferencia de los demás contiene baja concentración de astaxantina, además contiene un alto nivel de cenizas, quitina y humedad, lo que ocasiona problemas técnicos en la formulación de las dietas (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2007).

Astaxantina sintética, el cultivo de truchas no puede depender de un aporte natural de astaxantina, por lo tanto son utilizados productos sintéticos como la astaxantina y la cantaxantina para alcanzar el grado de coloración deseado en la carne; estos productos estandarizados con una alta concentración de carotenoides, de fácil manejo, más biodisponibles, estables y confiables son la principal fuente de pigmento para más del 90% de los truchas cultivados en el mundo (HARDY *et al.*, 1994; NICKEIL Y BROMAGE, 1998); la astaxantina por ser muy sensible al oxígeno, una vez sintetizada debe ser recubierta o empacada en un protector, básicamente en una matriz de gelatina y carbohidratos (ALMENDRAS y SABELLE, 2000).

Los pigmentos sintéticos producidos en laboratorio por Hoffman la Roche (Basilea, Suiza), en 1964 sacaron al mercado la cantaxantina sintética llamada Carophyll Red 10%[®], siendo la principal fuente de pigmento empleada en la década pasada; años más tarde, con muchas

investigación, en los años 1985 se puso al mercado la astaxantina sintética denominada Carophyll Pink 8%[®], teniendo una mayor eficiencia de pigmentación que la cantaxantina en salmónidos y truchas en alta escala de producción, ya que absorbe, deposita y retiene más su color a la congelación (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

2.2.2. Funciones de los carotenoides

Los carotenoides tienen importancia metabólica en las truchas, por lo que existe un interés por conocer estas funciones debido al impacto que ellos representan en la comercialización del producto final (BAKER *et al.*, 2002).

Precusores de vitamina A, se encontró que la astaxantina, zeaxantina y cantaxantina son precursores de vitamina A en truchas, el rango de incorporación es dependiente del peso, edad y la concentración de vitamina A dentro del organismo, la cantaxantina se convierte en vitamina A, siendo el β -caroteno el intermediario de la vitamina A₁ que por deshidrogenación pasa a A₂ (TORRISSEN *et al.*, 1989).

Acción antioxidante, en truchas congeladas por 18 meses se encontró que en aquellas alimentadas con 40 ppm de astaxantina versus las que recibieron 70 y 100 ppm, con adición de vitamina E (α -tocoferol) a las dietas, concluyendo que la astaxantina actúa como antioxidante solo en estados tempranos de oxidación lipídica mientras que el α -tocoferol lo hace en estados más avanzados de oxidación lipídica, siendo más efectivo como antioxidante (JENSEN *et al.*, 1998).

Promotor de crecimiento, al trabajar con alevinos de primera alimentación reportan que una concentración de 3,8 ppm produjo menores mortalidades y tasas de crecimiento satisfactorias, cuando se compara con dietas sin astaxantina, lo que también se observa en juveniles de salmónidos y truchas, por lo tanto se infieren que la astaxantina tiene un valor nutricional y que es esencial en los truchas, no debiendo considerarse un aditivo sino un nutriente dentro de la dieta (CHRISTIANSEN y TORRISSEN, 1997).

2.2.3. Metabolismo de los carotenoides en truchas

En el proceso metabólico de la astaxantina, ocurren varios pasos que pueden alterar la cantidad y tasa de depositación de pigmento en el músculo, los cuales son dependientes de su digestión, eficiencia de absorción, capacidad de transporte, mecanismo de depósito en diferentes tejidos, metabolismo y excreción (NICKEL y BROMAGE, 1998).

Digestión y absorción, la absorción de los carotenoides es afectada por la digestión de los pigmentos de distintas fuentes, la trucha arco iris absorbe astaxantina del intestino en su forma libre, atribuyéndose esto a la limitada capacidad de hidrolizar ésteres y diésteres de astaxantina en la pared intestinal; esta limitación, en la hidrólisis de los ésteres, indica que la eficiencia en la pigmentación de la carne depende de la forma molecular de la astaxantina, por lo tanto la astaxantina mono y diéster no son de uso habitual en las dietas de truchas, empleándose la astaxantina sintética (forma libre) TORRISSEN *et al.*, 1989; NICKELL y BROMAGE, 1998).

La astaxantina es más digestible que la cantaxantina, debido a diferencias estructurales, que hacen que tenga menor absorción a nivel intestinal, menor fijación y menor estabilidad en el músculo que la astaxantina (LARRAÍN, 2002; NICKELL y BROMAGE, 1997).

La absorción de astaxantina ocurre en el ciego pilórico, mientras que la cantaxantina se absorbe a lo largo del tracto digestivo; los carotenoides al ser liposolubles probablemente emulsificados incorporándose en el micelio junto a la bilis y otros componentes lipofílicos, siendo metabolizados en el hígado (TORRISSEN *et al.*, 1990).

Transporte de los carotenoides, el mecanismo por el cual los carotenoides son tomados desde el plasma hacia los tejidos y devueltos nuevamente al plasma desde los tejidos específicos aún no está determinado claramente (OLSON, 1993), pero se sabe que es realizado principalmente por lipoproteínas de alta densidad (HDL) y baja densidad (LDL), lipoproteínas de muy alta densidad VHDL y lipoproteínas de muy baja densidad VLDL (CHOUBERT *et al.*, 1994). Además, se ha demostrado la participación de ácidos grasos esenciales (w_3) y, especialmente el ácido docohexaenoico (DHA) en el transporte de carotenoides, como parte integral de las lipoproteínas transportadoras (BIRD y SAVAGE, 1990).

Depósito de los carotenoides en el músculo, después de la esmoltificación, el depósito de los carotenoides en el músculo incrementa y la acumulación de estos; la astaxantina se encuentra relacionada con la porción proteica del músculo de las truchas, pero no se encuentra

uniformemente distribuido en los filetes del pez, las truchas poseen diferencias en concentración con respecto a diversas áreas de estos, considerando la figura del pez linealmente, por lo tanto se ha estimado que la zona del caudal contiene entre un 30 a 40% superior en relación a la parte anterior y posterior del filete (TORRISSEN *et al.*, 1990).

Por otro lado se determinó un incremento radial en pigmentación hacia la espina dorsal, cortes en áreas dorsales y medias contienen más carotenoides que los tejidos adiposos (sección abdominal del pez) y la parte conectiva de los miotones (McCALLUM *et al.*, 1987).

Metabolismo y excreción, al alimentar truchas de la variedad arco iris con astaxantina libre se encontró una tasa de retención del 10%, pero los valores de digestibilidad son más altos con un rango de 25 a 90%; esto sugiere que un alto porcentaje de carotenoides dietarios son absorbidos y metabolizados a otros productos o bien excretados por la bilis; el hígado actúa como el principal órgano almacenador de compuestos transportados por lipoproteínas y consecuentemente una alta proporción de carotenoides absorbidos son metabolizados en él y excretados por la bilis, lo que hacen que no estén disponibles para la pigmentación muscular (BRAVO, 2000).

2.2.4. Factores que afectan la pigmentación de las truchas

El proceso de pigmentación se encuentra afectado por numerosos e importantes factores observándose importantes variaciones en la absorción y depósito de carotenoides.

Factores genéticos, existe una gran variación en la tasa de retención de pigmento entre diferentes especies de salmonídeos; destacándose mayormente, en cuanto a la tasa de retención de pigmento, la trucha arco iris, seguida por el salmón coho y finalmente el salmón del atlántico (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

Peso del pez, se ha mencionado que en truchas existe un peso mínimo, aproximadamente de 100 g, sobre el cual los carotenoides son depositados eficientemente en el músculo; aparentemente, los carotenoides no son transportados al músculo o bien son transformados en compuestos derivados incoloros (MARCH *et al.*, 1990).

Maduración sexual, durante este periodo los pigmentos son transportados desde el músculo hacia los ovarios (en el caso de las hembras) y la piel (para los machos); en esta época el proceso de pigmentación es ineficiente y extremadamente difícil, lo cual debe ser considerado, junto con antecedentes de maduración temprana de los truchas, para decidir cuándo mover los smolts al mar y planificar épocas de cosecha para evitar que se llegue a la época de maduración antes de alcanzar los niveles de pigmentación requeridos de la carne (TORRISSEN *et al.*, 1989 y HARDY *et al.*, 1994).

En el tiempo de maduración sexual, los carotenoides almacenados son transportados por lipoproteínas de muy alta densidad (VHDL) o lipoproteínas de alta densidad (HDL) a los ovarios y finalmente a la progenie (TORRISSEN y CHRISTIANSEN, 1995).

Estado de salud del pez, las truchas al estar afectados por enfermedades ya sean de origen viral, bacteriano, parasitario o cualquier otra situación altamente estresante, se va a ver notablemente disminuido el consumo de alimento, recibiendo por ende menor cantidad de pigmento de lo deseado por el productor; por otra parte, al aumentar la mortalidad puede provocar un gran impacto en la cantidad de pigmento utilizado por biomasa final cosechada (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

Bajo condiciones estresantes de la trucha, la astaxantina puede ser transformada a idoxantina, la cual produce una coloración amarillenta; después de largos días de ayuno (38 días), la concentración de astaxantina en el músculo no cambia, sin embargo, aumenta el catabolismo de proteínas y lípidos (PUTNAM, 1991). Esto demuestra que durante condiciones de ayuno existe una redistribución interna del pigmento dentro del organismo de la trucha (CHOUBERT, 1992).

Factores del alimento, existen diversos factores que afectan la pigmentación de las truchas, sin embargo un factor importante es la composición de la dieta proporcionada a las truchas, así la calidad de los insumos que se utilicen en la formulación de las dietas balanceadas deben ser de mejor calidad, tanto en peletizado o extrusado (TORRISSEN, 1985; NICKELL y BROMAGE, 1998).

La elaboración de alimentos de calidad es una necesidad vital para el desarrollo industria acuícola, y este está determinada por el tipo, calidad y composición de ingredientes que utilicen, la formulación y métodos de procesamiento empleados en su elaboración (CAMPABADAL y CELIS, 2000).

Lípidos, los lípidos empleados para nutrición acuícola constituyen la fuente de energía para los peces, pero no solo se utilizan como fuente de energía sino como fuente de ácidos grasos omega 3 y omega 6, siendo el aceite de pescado, el de bacalao y el de soya los más utilizados(CAMPABADAL y CELIS, 2000).

Se ha reportado que el aumento en el contenido de lípidos en la dieta tiene un efecto positivo en la depositación de pigmento en truchas debido probablemente a un aumento en la absorción intestinal (NICKELL y BROMAGE, 1998).

La influencia de la fuente del aceite adicionado al alimento y la composición de ácidos grasos en relación a la depositación de pigmento ha recibido muy poca atención lo cual puede explicar algunas de las aparentes discrepancias con respecto al tema (BJERKENG *et al.*, 1999).Al aumentar el nivel de lípidos en la dieta, se aumenta el nivel de energía del alimento y el crecimiento de los truchas; esto produce una mayor biomasa que debe ser pigmentada (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

Fabricación del alimento, el proceso empleado en la elaboración del alimento, ya sea extrusión o peletizado, puede provocar severos daños a los carotenoides debido a las diversas condiciones de temperatura y humedad, efectos mecánicos y exposición al oxígeno involucrados en el proceso a los cuales son extremadamente sensibles las moléculas pigmentantes; se ha observado que las pérdidas de carotenoides en el proceso de extrusión en la elaboración del alimento es de aproximadamente 5 a 10% (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

Tipo de pigmento, la astaxantina libre es considerada eficiente que la cantaxantina para pigmentar el músculo de los truchas puesto que el coeficiente de retención de la astaxantina es 1,3 y 1,5 veces mayor en relación con la cantaxantina debido a diferencias de digestibilidad y a que la astaxantina se une firmemente a la actomiosina en el músculo que la cantaxantina; además con astaxantina se logra un color del músculo mucho más rojizo (STOREBAKKEN y NO, 1992).

Periodo de entrega del alimento, la tasa de retención de pigmento se puede optimizar haciendo largos los periodos de entrega de alimento ya que de esta forma la dosis de pigmento necesaria para alcanzar la meta fijada de nivel de pigmento es menor; por lo que es más beneficioso utilizar bajas dosis por periodos largos que altas dosis por periodos cortos y tratando de que la trucha consuma la totalidad de la dosis empleada durante el día, la distribución manual es una de los mejores métodos en cuando inspección diaria de las truchas (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

Temperatura del agua, existe relación entre la temperatura del agua y el depósito de astaxantina observándose que truchas cultivados a temperaturas cálidas (15°C) poseen mayores depósitos de pigmento en el músculo (NO y STOREBAKKEN, 1991).

Calidad del agua, muchos factores unidos a la calidad del agua son de importancia para mantener un estado de salud óptimo; la transparencia del agua también puede tener un efecto sobre la toma de

alimento, afectando el consumo de pigmento en una población; cambios en el oxígeno disuelto, amonio y concentración de microalgas son estresantes para los peces, por lo tanto, mientras estas condiciones se mantengan cerca del nivel óptimo, favorecerán el rendimiento del proceso de pigmentación (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

2.3. Evaluación del color del músculo en truchas

Para la industria truchícolas es importante clasificar la trucha por color en forma rápida y económica; se usan fundamentalmente dos métodos, uno basado en la comparación del color del músculo con cartillas visualmente y el otro es una medida instrumental (CHRISTIANSEN y TORRISSEN, 1997).

2.2.1. Evaluación visual

La medición visual de color es usada para clasificar truchas en planta de proceso y para medir el color en estudios de investigación; en la evaluación visual del color se usa la cartilla Roche™, el abanico o regla colorimétrico *SalmoFan*™, este último tiene una gama amplia de colores que va desde el 20 al 34, donde 20 es igual a un color rosa muy pálido y el 34 llega a un color rojo-anaranjado, lo cual permite una mejor estimación de la coloración del músculo en campo (POKNIAK *et al.*, 2001).

La evaluación visual tiene limitaciones, está sujeta a factores ambientales como calidad y tipo de luz, color de fondo, además de ser un método subjetivo; es decir, dos medidores con visión normal y bajo las mismas condiciones de iluminación pueden clasificar un mismo filete en dos categorías diferentes (BJERKENG, 2000).

El ojo humano es capaz de captar diferencias de color relativamente pequeñas, pero tiene habilidad limitada para separar matices cuando el color es intenso, es decir, tiende a no discriminar cuando la concentración de pigmento en el músculo es alta; además el cerebro humano tiene limitada habilidad para recordar y describir el valor del color observado (CARRIÓ, 2009).

2.2.2. Evaluación instrumental

Es considerado objetivo y preciso, dado por su carácter instrumental; se basa en la luz reflectada, utilizando un colorímetro; su principio se fundamenta en el hecho de que la sensación que se tiene es triparamétrica, es decir en función del tono, la claridad y la saturación, los colores pueden ser representados por coordenadas en un espacio tridimensional; la información se basa en un sistema de valores establecido por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE); el espacio cromático es definido por coordenadas rectangulares ($L a^* b^*$), donde L es luminosidad, a^* es la cromaticidad rojo(+) o verde (-) y b^* es la cromaticidad amarillo (+) o azul (-) (CASTRO, 1992).

2.4. Expresión final de color

Son muchos los factores que determinarán la expresión de un color; sin embargo, en ciertas ocasiones a pesar de tener suficiente pigmento depositado en el músculo, puede que no se exprese el color esperado; dentro de los factores que pueden incidir se encuentran la velocidad de crecimiento, infiltración de grasa y características de la composición muscular del pez (ALMENDRAS y SABELLE, 1999).

2.5. Características de *Haematococcus pluvialis*

Haematococcus pluvialis es considerado un alga unicelular de agua dulce, con un tamaño celular entre 8 y 50 μm , que se caracteriza por presentar dos flagelos con los que se desplaza; con una coloración rojiza, debido a la producción de astaxantina como medio de protección frente a los rayos ultravioletas (FÁBREGAS *et al.*, 2001); se puede encontrar en diferentes estados o fases de crecimiento durante su ciclo de vida, en donde se da la acumulación de astaxantina, se denomina aplanóspora en esta última fase se produce la acumulación de astaxantina en grandes cantidades, adquiriendo una coloración rojiza gracias a la astaxantina (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2007; HAGEN *et al.*, 2002).

2.5.1. Utilización de deltaxantina[®]

Características generales, la deltaxantina es una fuente de pigmentación obtenida de la extracción de microalgas *Haematococcus pluvialis*, para truchas y crustáceos; la mezcla estabilizada y homogenizada de deltaxantina[®] contiene astaxantina al 5% micro encapsulado en una matriz de gelatina y carbohidratos, conteniendo también ethoxyquin y ascorbil palmitato como antioxidante de esta forma se protege la astaxantina en los procesos de elaboración del alimento, no contiene organismos genéticamente modificados ni ingredientes potencialmente alergénicos; la deltaxantina es un pigmentante natural disponible para depositarse en el músculo de la trucha arco iris, brindando una consistente pigmentación para obtener un color rojizo-anaranjado comercialmente (DELTAGEN, 2012).

Beneficios como pigmentante natural, la deltaxantina®

como producto natural presenta beneficios que lo hace recomendado en la utilización como pigmentante en la industria acuícola, las cuales son:

- Los componentes de deltaxantina entre ellos la astaxantina tienen un efecto antioxidante que mejora el tiempo de vida del alimento balanceado, mejora su dispersión en la mezcla además de la calidad de la carne producida.
- Es fácil de incorporar en alimentos balanceados por su fluidez sin variar su palatabilidad.
- Permite procesos de alta temperatura durante la extrusión y peletizado.
- Permite ahorrar maíz en el alimento.
- Producto sano y seguro para los peces, crustáceos, consumidores y medio ambiente, es biodegradable.
- Aporta antioxidantes derivados de la astaxantina que pueden ser declarados como beneficio nutricional (DELTAGEN, 2012)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de ejecución del trabajo experimental

La presente investigación se realizó en dos fases: fase de campo, en las instalaciones del Centro Piscícola El Ingenio (CPI) perteneciente a la Dirección Regional de la Producción-Junín (DIREPRO), geográficamente ubicado en el distrito de Ingenio, provincia de Huancayo, departamento de Junín, situado a una altitud promedio de 3 451 m.s.n.m. a 75° 16' 07'' de longitud oeste y 11° 53' 25'' de latitud sur. Limita al norte con la provincia de Concepción, al oeste y al sur con el distrito de Quilcas, y al oeste con el distrito de Quichuay, y la fase de laboratorio, en las instalaciones de Planta Piloto de Alimentos de La Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva ubicado en Tingo María. La investigación tuvo una duración de 52 días, consecutivos entre los meses de julio y agosto del 2013.

3.2. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación experimental.

3.3. Población y muestra

La muestra empleada en el presente estudio fue de 600 kilos de truchas arco iris, que corresponden al Centro Piscícola El Ingenio.

3.4. Instalaciones, equipos, materiales e insumos

3.4.1. Instalaciones

Se utilizó 6 estanques construidas de concreto armado con dimensiones de 11 m de largo y 1 m de ancho; con una pendiente del 1%; 1,40 m de profundidad y 1 m de tirante de agua, dichos estanques dispuestos paralelamente; cada estanque cuenta con sistema de abastecimiento de 0,41 cm x 0,30 cm y sistema de vaciado de 0,31 cm x 0,60 cm; así como mallas de protección, lo cual facilitó la limpieza y el manejo de los peces.

3.4.2. Equipos

Se utilizó un colorímetro marca Kónica Minolta CR-400 dando como resultado valores de L (luminosidad), a^* (cromaticidad de rojos-verdes) y b^* (cromaticidad de amarillos-azules) y una regla de color estandarizado *SalmoFan*TM con una escala de 20 (rosado pálido) a 34 (rojo-anaranjado); un kit portátil marca Hach modelo Ft-2 para análisis de agua; un ictiómetro de 50 cm; balanza digital marca AND con capacidad máxima de 20 kilos y con 0.1 g. de precisión.

3.4.3. Materiales e insumos

Se utilizó, mallas de diferentes medidas, en la entrada y salida del agua, así mismo fue necesario redes de pesca, un calcal (captura de los peces), canastillas de diferente medida, una carretilla, un trípode, baldes de diferentes tamaños, una caja de tecnopor, bandejas de porcelana, bisturí; bolsas de plástico, escobillas, cuaderno de apuntes, lapicero, plumón; calculadora y 35 kg de cal agrícola.

3.5. Material biológico

Los peces evaluados fueron de la especie *Oncorhynchus mykiss*, de siete meses de edad, con peso promedio inicial de 165 ± 5 g y 22 cm de talla, según las características correspondieron a la fase de acabado.

3.6. Metodología experimental

3.6.1. Preparación de los estanques e instalaciones de las unidades experimentales

Se realizó una limpieza previa de los estanques, juntamente se preparó en una carretilla 35 kg de cal agrícola, con la finalidad de desinfectar y regular el pH de los estanques; luego de encalado se dejó en reposo; se limpió, desinfecto y finalmente se habilitó las mallas de protección.

Las unidades experimentales se identificaron según a los tratamientos y repeticiones distribuidos al azar; se reguló la cantidad de agua de cada estanque colocando tablillas de maderas a una distancia de 10 cm detrás de las mallas de protección de la salida de agua; la densidad de siembra fue de 10 kg de truchas/m³; es decir, se colocó 100 kg de truchas en cada estanque y finalmente se colocaron las mallas que cubrieron los estanques.

3.6.2. Suministro del alimento

El alimento balanceado fue preparado en la Planta de Alimentos balanceados de la empresa Alimec S.A., situada en la ciudad de Huancayo, se realizó un análisis químico proximal de la dieta base (Cuadro 1); así mismo para el tratamiento control se utilizó la dieta base más carophyll rosado[®] a una concentración de 90 ppm y para el tratamiento experimental se

utilizó la dieta base más dextaxantina[®] a una concentración de 100 ppm; individualmente, los insumos de ambos tratamientos fueron mezclados, pasado el proceso de mezclado, fueron extrusados, finalmente envasados en sacos de polietileno de 40 kilos, estos fueron almacenados en la oscuridad a una temperatura ambiental para evitar la degradación de los pigmentos.

Cada alimento extrusado tuvo un diámetro de 5,5 mm; el sistema que se utilizó para la distribución del alimento fue manual, la dosis diaria de alimentación fue el 2 % de la biomasa, las raciones diarias estuvieron divididas en tres horarios, la primera a las 8:00 am, la segunda a las 12:00 m y la tercera a las 4:00 pm proporcionalmente a la dosis citada.

Cuadro 1. Composición químico proximal de la dieta base

Nutrientes	Unidad	Valor
Humedad	%	10
Proteína	%	40
Lípidos	%	24
Ceniza total	%	13
Fibra cruda	%	3

Fuente: ALIMEC S. A. (2013)

3.6.3. Acondicionamiento y evaluación instrumental del músculo de trucha durante la fase de acabado

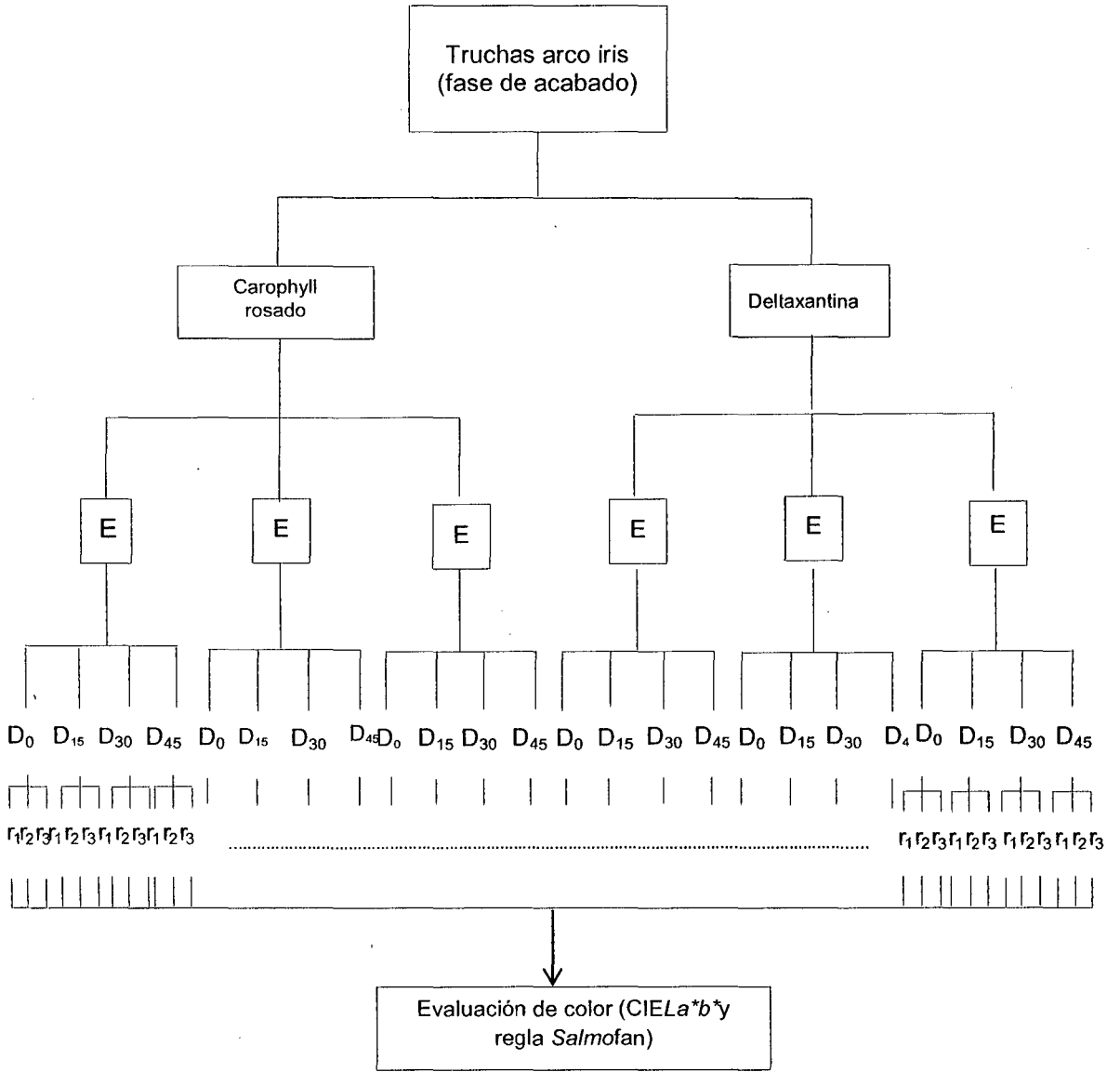
El día cero (0) de la evaluación, antes de suministrar el alimento se tomó tres truchas al azar de cada repetición, con ayuda de un calcal se colocó en los baldes, y se llevó al área de eviscerado; después de eviscerar las truchas una por una, fueron llenados en bolsas plásticas,

rotulados de acuerdo a sus respectivos tratamientos y repeticiones, luego fueron acondicionadas en una caja de tecnopor acompañado de bloques de hielo, para el transporte al laboratorio; llegado al laboratorio de la Planta Piloto de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se retiraron las muestras y se colocaron en las bandejas.

Para cada evaluación de color se tomó una trucha de cada tratamiento y repetición, se realizó el corte de 2 cm² aproximadamente del músculo a la altura de la primera aleta dorsal, procedimiento que se siguió para todas las muestras, finalmente los músculos quedaron preparados para la evaluación con el colorímetro, el mismo procedimiento se siguió para los 15, 30 y 45 días que duró la fase de acabado como se muestra en la Figura 2.

3.6.4. Acondicionamiento y evaluación visual del músculo de trucha durante la fase de acabado

De las muestras de músculos que quedaron de la evaluación con el colorímetro, se prosiguió a realizar la evaluación visual utilizando la regla de colores estandarizados *salmoFan*TM, las muestras se colocaron en bandejas de fondo blanco y se compararon cada una las muestras con los colores de la regla estandarizada para salmónidos, con una escala de 20 a 34 tonalidades variando de un color rosado pálido a un rojo anaranjado respectivamente, el mismo procedimiento se siguió para los 15, 30 y 45 etapas de evaluación, durante la fase de acabado, tal como se muestra en la Figura 2.



E: Unidad experimental.
D₀, 15, 30, 45: Tiempo de evaluación.
r₁, 2, 3: Repeticiones de las muestras.

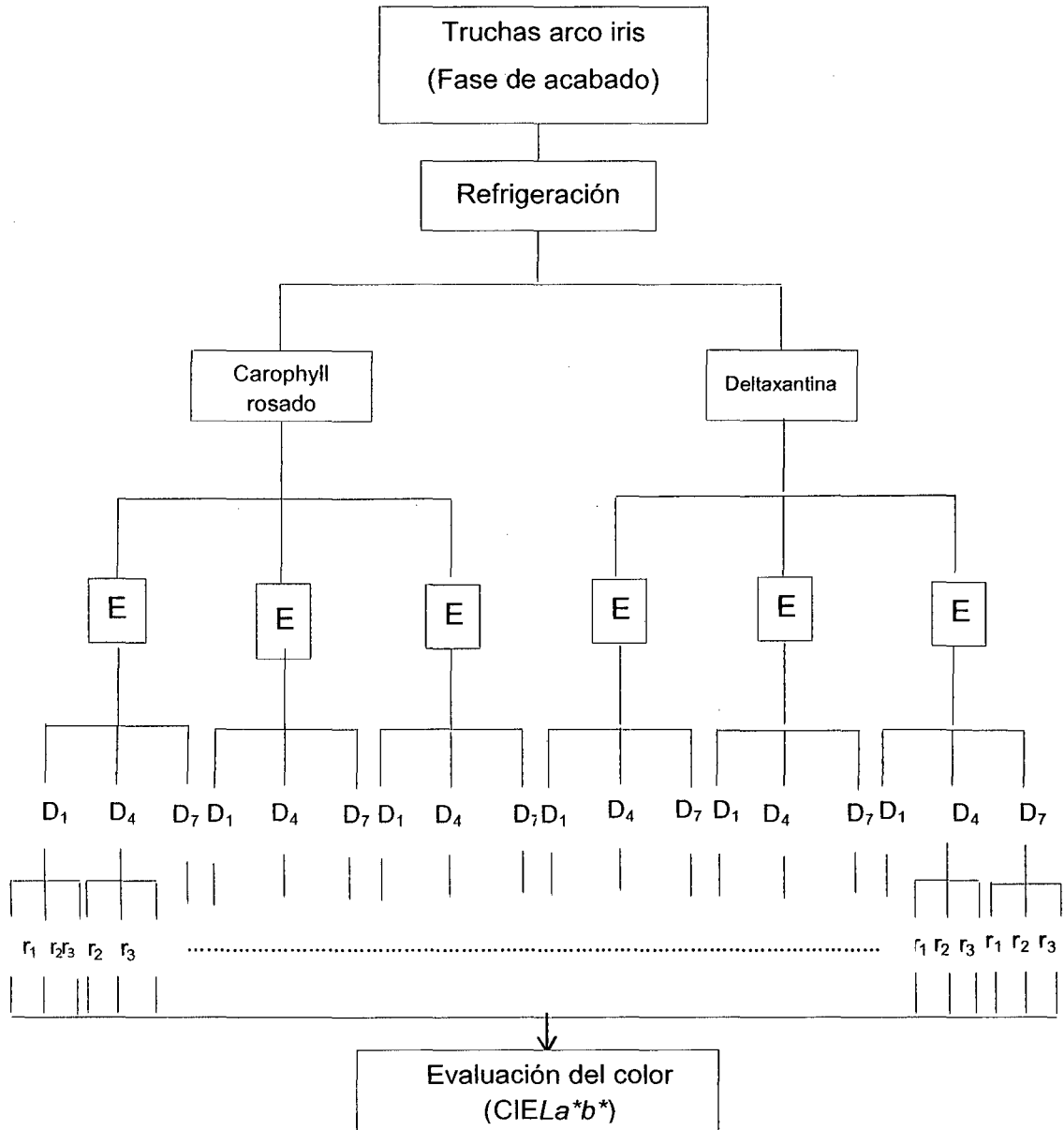
Figura 2. Diagrama de la toma de muestra en la fase de acabado.

3.6.5. Acondicionamiento y evaluación del músculo de trucha almacenado en refrigeración

El acondicionamiento y el almacenamiento en refrigeración de las truchas se dio al final de la evaluación en campo (día 45), las truchas se colocaron en las bandejas, previamente rotulados de acuerdo a los tratamientos y repeticiones, se adicionó hielo picado a cada una de ellas, tratando de que cubra casi toda la altura de la trucha para asegurar su conservación, finalmente se llevó a refrigerar, cuya temperatura promedio fue 1-2°C; para cada evaluación se tomó un trucha y se realizó el corte del músculo a la altura de primera aleta dorsal, aproximadamente 2 cm², dichos músculos quedaron preparados para la evaluación de color, se siguió con lo mencionado para el día 1, 4 y 7 tiempo que duro el almacenamiento en refrigeración, como se muestra en la Figura 3.

3.6.6. Acondicionamiento y evaluación del músculo de trucha después de la cocción.

De las mismas muestras sometidos en refrigeración y evaluadas, estas fueron acondicionadas en una olla vaporera, para luego ser llevado a fuego lento durante 10 minutos, pasado el tiempo se retiraron de la olla las muestras cocidas con ayuda de una pinza y se colocó en platos de porcelana previamente rotuladas, finalmente fueron llevadas para la evaluación del color, el mismo procedimiento se realizó el día 1, 4 y 7, como se muestra en la Figura 4.



E: Unidad experimental.
D₁, 4, 7: Tiempo de evaluación.
r₁, 2, 3: Repeticiones de las muestras.

Figura 3. Diagrama de la toma de muestra para el almacenamiento en refrigeración.

3.6.7. Evaluación de los parámetros físico-químico del agua

En el monitoreo de la calidad de agua se consideró los parámetros físico químicos que fueron calculados con un kit para análisis de agua, se evaluaron el oxígeno disuelto, el amoniaco y la alcalinidad; también se evaluó el pH y la temperatura del agua (Anexo1).

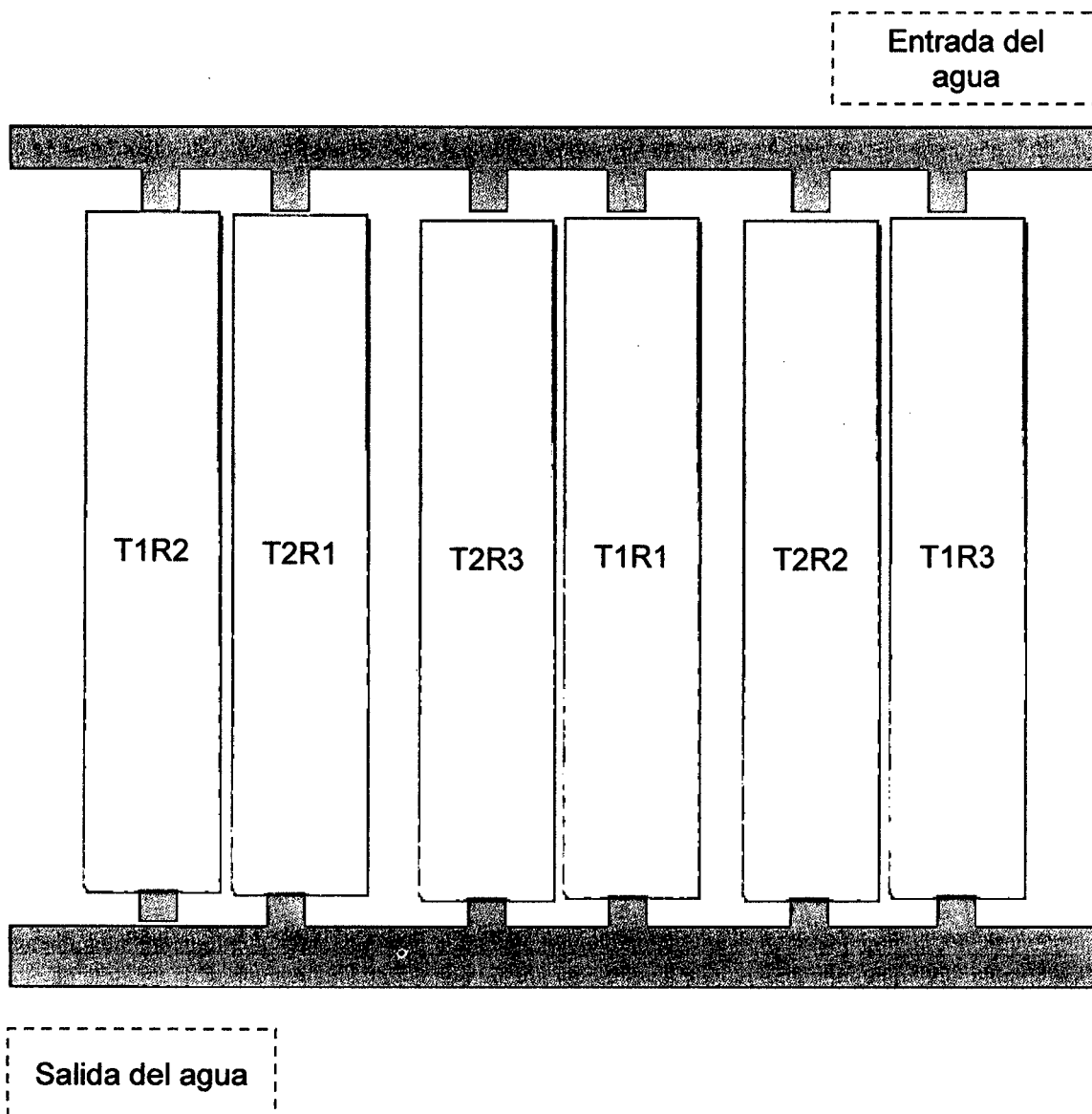
3.7. Variable independiente

- Deltaxantina[®] (astaxantina al 5%)

3.8. Tratamientos

- T1: Control, dieta base más 90 ppm de Carophyll rosado[®].
- T2: Experimental, dieta base más 100 ppm de Deltaxantina[®].

3.9. Croquis de distribución de los tratamientos y repeticiones



T1 (adición de 90 ppm de Carophyll rosado®)
T2 (adición de 100 ppm de Deltaxantina®)

Figura 5. Distribución de los tratamientos y repeticiones.

3.10. Análisis estadístico

A los resultados de las variables obtenidos bajo el sistema del CIE $L^*a^*b^*$ al final de la fase de acabado (a los 45 días) de los músculos de trucha arco iris se realizó una prueba de hipótesis de medias pareadas (SAS, 1998), para comparar el efecto de ambos pigmentantes; así mismo para evaluar cada tratamiento en función al tiempo (0, 15, 30 y 45) se realizó un análisis de varianza, posteriormente se contrastaron las diferencias significativas entre medias utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), los datos se presentan como: promedio \pm desviación del error estándar ($X \pm S.E.M$); a la vez se realizó un ajuste de regresión para cada uno de las variables evaluadas de manera independiente.

Para los resultados obtenidos de la evaluación visual de color de cada tratamiento, se realizó un análisis no paramétrico utilizando el InfoStat y para el contraste entre medias se utilizó la prueba de Friedman.

Así mismo para las variables obtenidos de los músculos de trucha arco iris almacenados en refrigeración y después de la cocción, independientemente para cada pigmentante en función al tiempo, se realizó un análisis de varianza y para contrastar las diferencias significativas entre medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), los datos se presentan como: promedio \pm desviación del error estándar ($X \pm S.E.M$). Para ello se usó un Diseño Completamente al Azar (DCA); los resultados del ensayo fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS (SAS, 1998). El modelo aditivo lineal empleado fue:

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : j-ésimo evaluación en el i-ésimo tratamiento.

U: media poblacional

T_i : efecto del i-ésimo tratamiento

E_{ij} : Error experimental

3.11. Variables dependientes

3.11.1. Evaluación del color del músculo de trucha arco iris

durante la fase de acabado

- Parámetros de color L , a^* y b^*
- Escala de color estandarizado para salmónidos.

3.11.2. Evaluación del color del músculo de trucha arco iris

durante el almacenamiento en refrigeración

- Parámetros de color L , a^* y b^*

3.11.3. Evaluación del color del músculo de trucha arco iris

después de la cocción

- Parámetros de color L , a^* y b^*

IV. RESULTADOS

4.1. Grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado.

4.1.1. Evaluación del color a través del sistema CIELa*b*

En el Cuadro 2 se observa los resultados de la comparación de L , a^* y b^* de los músculo de trucha arco iris alimentadas con dietas incluidas como pigmentante el carophyll rosado y la deltaxantina al final de fase de acabado (a los 45 días).

Cuadro 2. Resultados de L , a^* y b^* del músculo de trucha arco iris, pigmentados con carophyll rosado y deltaxantina a los 45 días.

Variables	n	Media	DE	EE
L Carophyll rosado	9	39.84	0,29	0,1
L Deltaxantina	9	48.06	0,47	0,16
P	0,0001			
a^* Carophyll rosado	9	19.86	0.44	0.15
a^* Deltaxantina	9	14.97	0.22	0.07
P	0,0001			
b^* Carophyll rosado	9	27.96	0.43	0.14
b^* Deltaxantina	9	18.62	0.47	0.16
P	0,0001			

Los resultados se presentan en columnas para cada variable evaluada utilizando la prueba de Hipótesis.

L : Luminosidad, a^* : Cromaticidad rojos-verdes y b^* : Cromaticidad amarillos-azules.

En el Cuadro 3 se observa los resultados de L , a^* y b^* del músculo de trucha arco iris alimentadas con dietas incluidas como pigmentante el carophyll rosado y la deltaxantina, durante los 0, 15, 30 y 45 días que duró la fase de acabado.

Cuadro 3. Resultados de L , a^* y b^* del músculo de trucha arco iris, pigmentados con carophyll rosado y deltaxantina, durante la fase de acabado

Variables	Días	Carophyll rosado	Deltaxantina
L	0	59,98±0,15 ^a	60,63±0,18 ^a
	15	55,25±0,18 ^b	59,83±0,12 ^b
	30	49,90±0,10 ^c	55,32±0,21 ^c
	45	39,84±0,10 ^d	48,06±0,16 ^d
CV		0,7958	0,9038
P		0,0001	0,0001
R		L	L
a^*	0	1,07±0,04 ^d	1,01±0,19 ^d
	15	9,30±0,15 ^c	7,16±0,18 ^c
	30	15,08±0,14 ^b	11,22±0,21 ^b
	45	19,86±0,15 ^a	14,97±0,07 ^a
CV		3,3961	4,9806
P		0,0001	0,0001
R		L	L
b^*	0	4,36±0,12 ^d	3,90±0,07 ^d
	15	11,32±0,16 ^c	8,10±0,10 ^c
	30	14,10±0,04 ^b	11,20±0,11 ^b
	45	27,96±0,14 ^a	18,62±0,16 ^a
CV		2,6427	3,0204
P		0,0001	0,0001
R		L	L

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=9) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

L : Luminosidad, a^* : Cromaticidad rojos-verdes y b^* : Cromaticidad amarillos-azules.

R: Regresión, L: Regresión lineal.

En las Figuras 6 y 7 se presenta el diagrama de dispersión y la recta de regresión lineal negativa de la variable dependiente L (luminosidad) e independiente (tiempo en días), de los músculos de trucha pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina respectivamente, durante la fase de acabado.

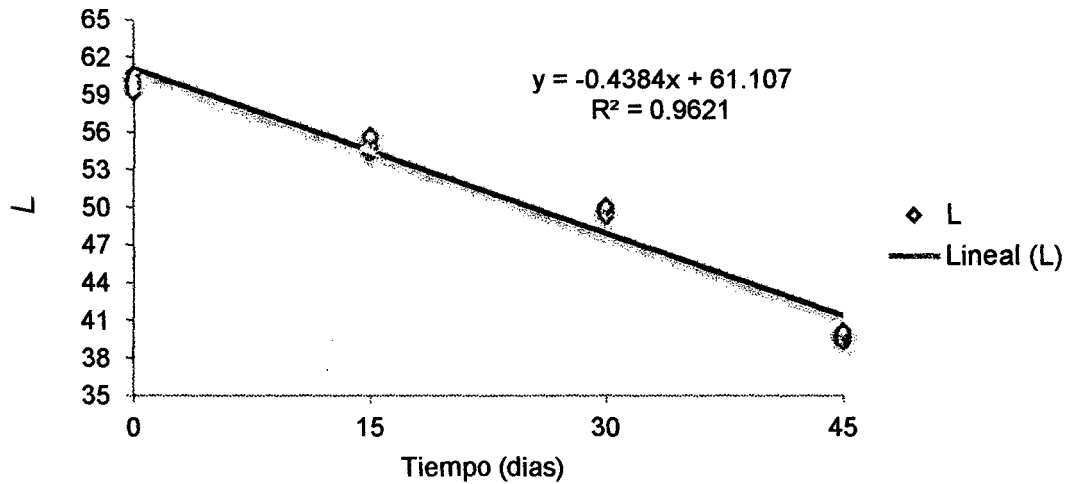


Figura 6. Diagrama de dispersión y recta de la regresión lineal para L de los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado.

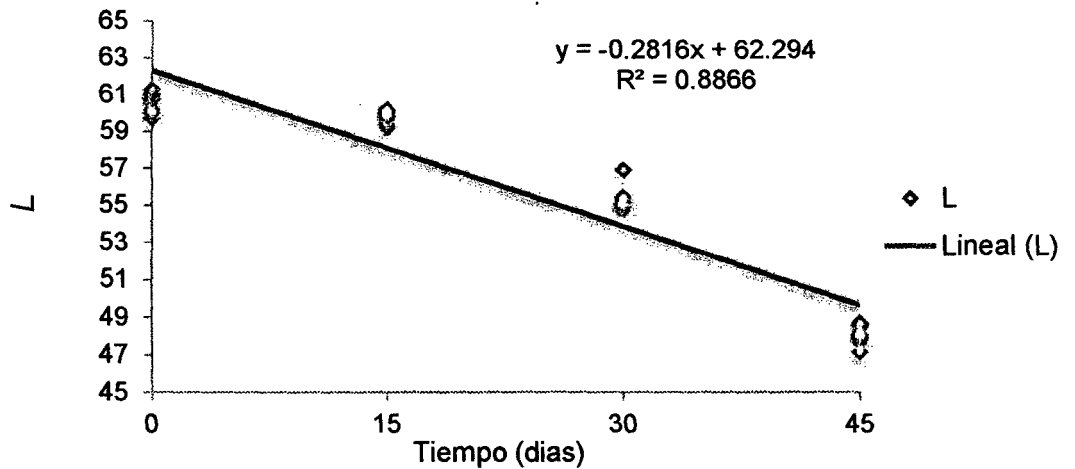


Figura 7. Diagrama de dispersión y recta de la regresión lineal para L de los músculos de truchas pigmentadas con deltaxantina.

En las Figuras 8 y 9 se muestra el análisis de regresión para las variables independiente (tiempo en días) y dependiente a^* (cromaticidad rojos-verdes) de las muestras de los músculos de trucha pigmentadas con carophyll rojo y deltaxantina durante la fase de acabado.

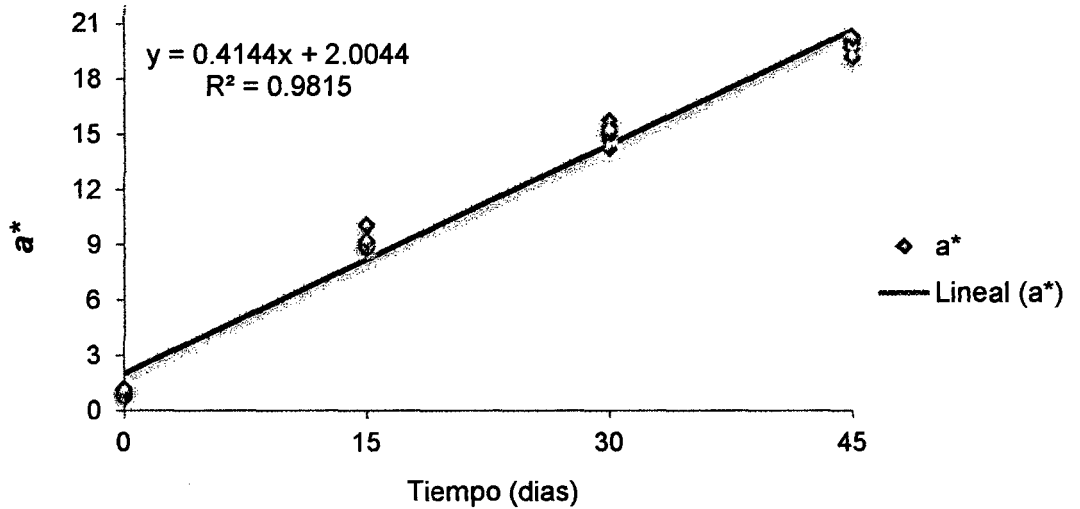


Figura 8. Diagrama de dispersión y recta de la regresión lineal para a^* de los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado.

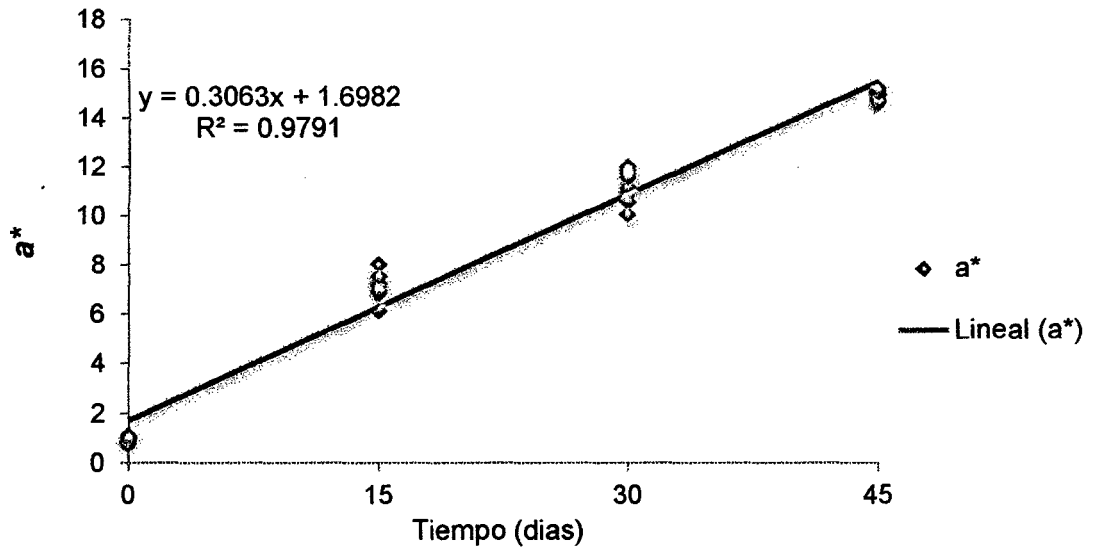


Figura 9. Diagrama de dispersión y recta de la regresión lineal para a^* de los músculos de truchas pigmentadas con deltaxantina.

Figuras 10 y 11 se presenta el diagrama de dispersión y recta de regresión lineal de las variables dependiente b^* (cromaticidad amarillos-verdes) y como variable independiente (tiempo en días), de las evaluaciones obtenidas de las muestras de músculos de truchas arco iris, en las etapas de evaluación (0, 15, 30 y 45), durante la fase de acabado.

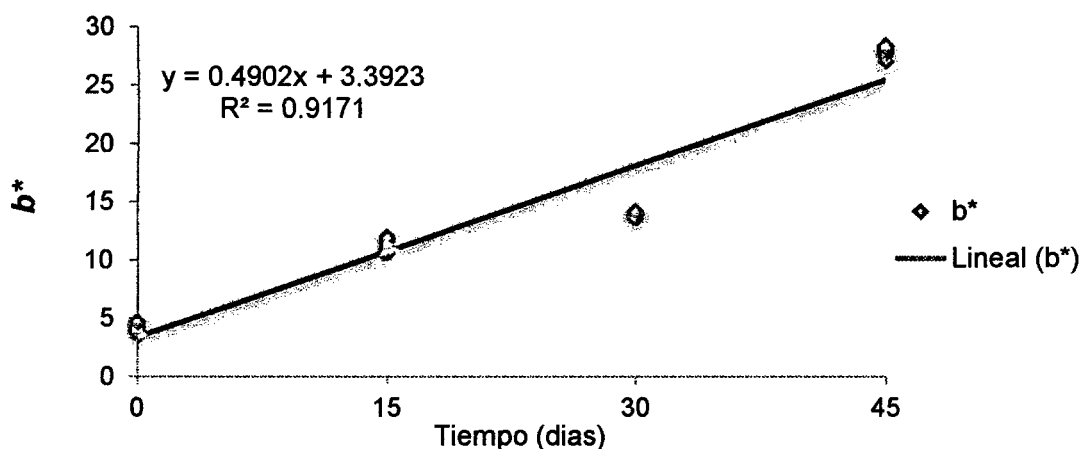


Figura 10. Diagrama de dispersión y recta de la regresión lineal para b^* de los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado.

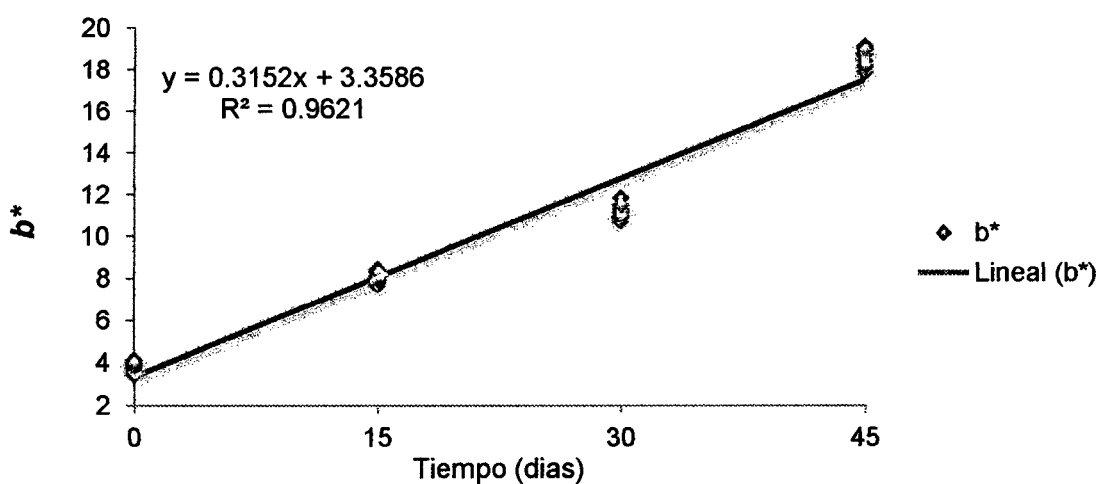


Figura 11. Diagrama de dispersión y recta de la regresión lineal para b^* de los músculos de truchas pigmentadas con deltaxantina.

4.1.2. Evaluación del color a través de la regla *SalmoFan*[™]

En el Cuadro 4 se muestra los resultados de la evaluación de color con la escala de colores estandarizados con un rango de 20 al 34, del músculo de trucha arco iris, para el 0, 15, 30 y los 45 días, durante la fase de acabado.

Cuadro 4. Resultados de color (regla *SalmoFan*) del músculo de trucha arco iris pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina.

Día	Carophyll rosado	Deltaxantina	P
0	20,33±0,17 ^a	20,22±0,15 ^a	0,5943
15	22,44±0,18 ^a	20,88±0,20 ^b	0,0001
30	25,00±0,24 ^a	22,22±0,22 ^b	0,0001
45	28,00±0,17 ^a	24,33±0,17 ^b	0,0001

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=9) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos, según la prueba de Friedman (p≤0,05).

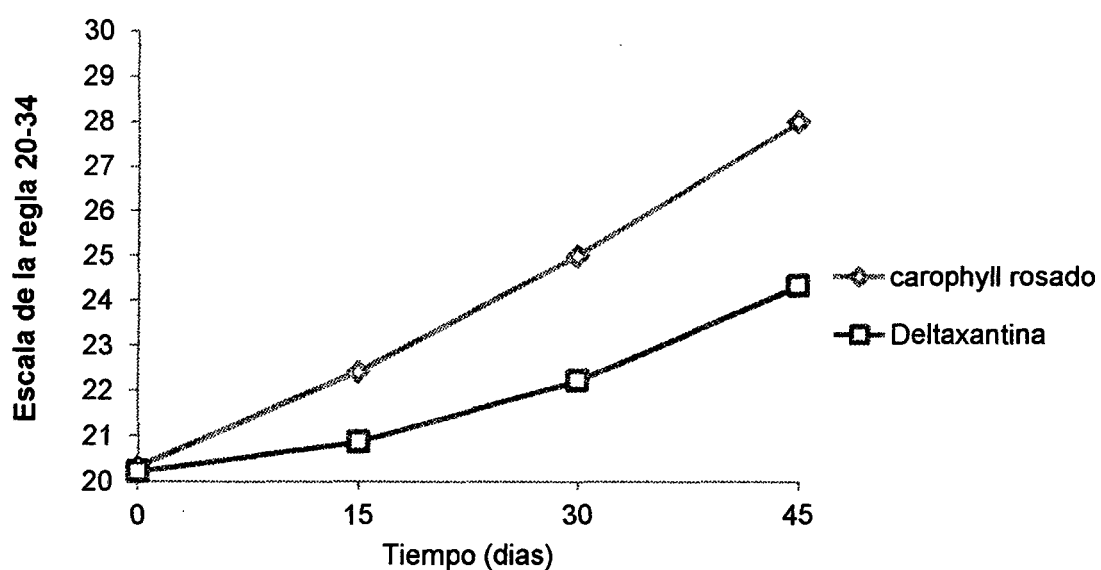


Figura 12. Comportamiento del carophyll rosado y deltaxantina a través de la regla *SalmoFan* de los músculos de trucha, en la fase de acabado.

4.2. Grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema del CIELa*b* durante el almacenamiento en refrigeración

En el Cuadro 5 se presenta los resultados de las evaluaciones de las variables L , a^* y b^* , de los músculos de trucha arco iris alimentado con dietas incluidas como pigmentante sintético al carophyll rosado y pigmentante natural a la deltaxantina, durante el almacenamiento en refrigeración, las cuales fueron medidas los días 1, 4 y 7.

Cuadro 5. Resultados de color del músculo de trucha arco iris, pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, almacenados en refrigeración

Variable	Días	Carophyll rosado	Deltaxantina
L	1	40,78±0,15 ^a	52,57±0,19 ^a
	4	41,61±0,36 ^a	50,83±0,10 ^b
	7	41,74±0,51 ^a	50,04±0,09 ^c
CV		2,6905	0,7919
P		0,1615	0,0001
a^*	1	20,16±0,09 ^a	15,03±0,07 ^a
	4	19,03±0,08 ^b	13,35±0,21 ^b
	7	18,36±0,15 ^c	11,00±0,15 ^c
CV		1,7317	3,5065
P		0,0001	0,0001
b^*	1	28,62±0,14 ^a	18,16±0,10 ^a
	4	27,62±0,13 ^b	14,52±0,19 ^b
	7	25,91±0,14 ^c	13,20±0,07 ^c
CV		1,5175	2,5433
P		0,0001	0,0001

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=9) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos, según la prueba de Tukey al 5%.

L: Luminosidad, a^* : Cromaticidad de rojos-verdes y b^* : Cromaticidad de amarillos-azules.

En la Figura 13 observa el comportamiento de las variables L , a^* y b^* de ambos pigmentantes, carophyll rosado y deltaxantina, almacenamiento en refrigeración evaluadas en etapas de 1, 4 y 7 días.

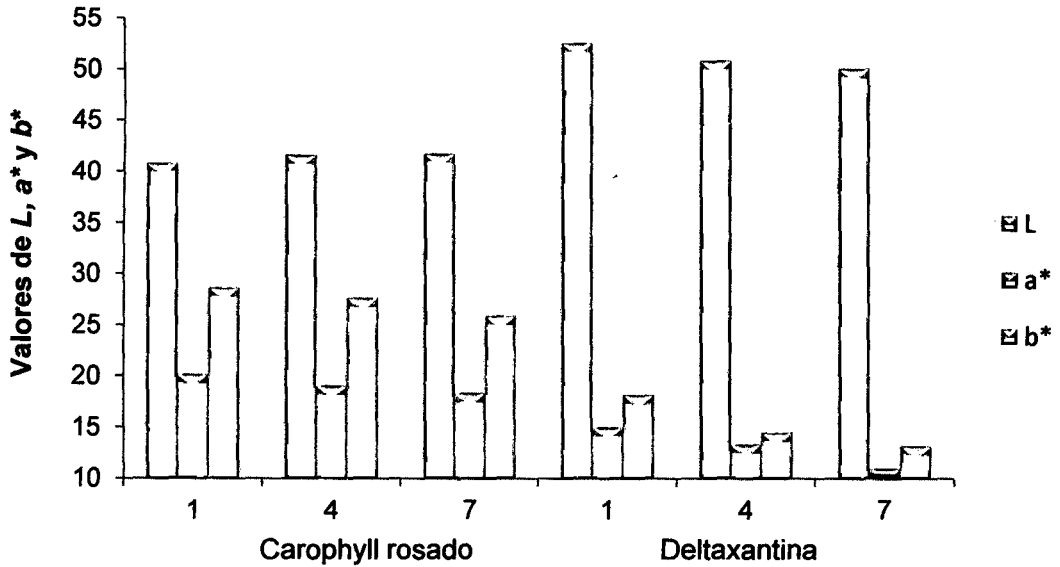


Figura 13. Comportamiento de L , a^* y b^* para los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, almacenadas en refrigeración.

4.3. Grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema $CIE L^*a^*b^*$, después de la cocción.

Los resultados de la evaluación de L , a^* y b^* del músculo de trucha arco iris pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, después de la cocción, están presentadas en el Cuadro 6; los resultados fueron de las muestras obtenidas al final de la fase de acabado (45 días), luego

almacenados en refrigeración, finalmente cocidas y evaluadas durante el día 1, 4 y 7. Así mismo en la Figura 14 se muestra el comportamiento de L , a^* y b^* de los músculos de truchas arco iris pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina y después de un proceso de cocción durante 1, 4 y 7 días que duro el periodo de almacenado en refrigeración.

Cuadro 6. Resultados de la evaluación de color del músculo de trucha arco iris, pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina, después de la cocción

Variable	Días	Carophyll rosado	Deltaxantina
L	1	79,46±0,43 ^b	76,86±0,17 ^c
	4	80,46±0,25 ^{ab}	81,91±0,08 ^b
	7	81,42±0,22 ^a	88,09±0,08 ^a
CV		1,1710	0,4319
P		0,0008	0,0001
a^*	1	8,81±0,14 ^a	8,01±0,10 ^a
	4	7,10±0,07 ^b	6,13±0,06 ^b
	7	6,09±0,08 ^c	5,34± 0,12 ^c
CV		4,2129	4,3255
P		0,0001	0,0001
b^*	1	23,07±0,06 ^a	19,36±0,64 ^a
	4	18,77±0,18 ^b	17,97±0,16 ^a
	7	15,45±0,45 ^c	15,39±0,24 ^b
CV		4,4299	6,9393
P		0,0001	0,0001

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=9) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos ($p \leq 0,05$), según la prueba de Tukey.

L : Luminosidad, a^* : Cromaticidad de rojos-verdes y b^* : Cromaticidad de amarillos-azules.

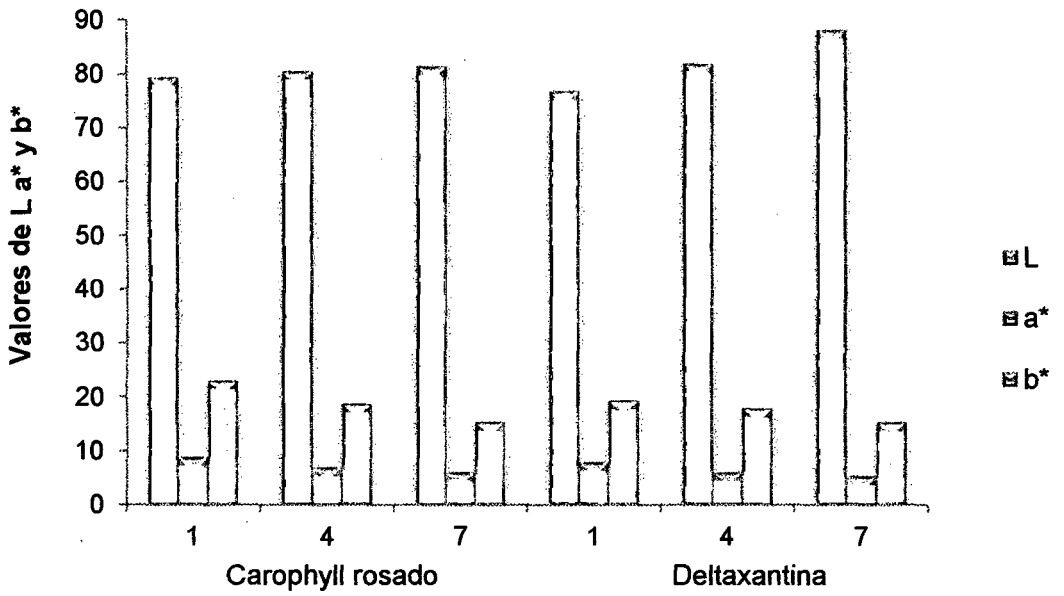


Figura 14. Comportamiento de L , b^* y a^* para los músculos de truchas, pigmentadas con carophyll rosado y deltaxantina después de la cocción.

V. DISCUSIÓN

5.1. Grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema del $CIE L^* a^* b^*$ y regla *Salmofan*, en la fase de acabado

5.1.1 Evaluación del color a través del sistema $CIE L^* a^* b^*$

En el Cuadro 2 se presenta los resultados de las variables L , a^* y b^* de los músculos de trucha arco iris evaluadas al final de la etapa de acabado (día 45) y la comparación entre los pigmentantes, tanto para el carophyll rosado como para la deltaxantina, dando como mejores resultado los músculos de truchas pigmentadas con carophyll rosado tanto para Luminosidad, cromaticidad rojos-verdes y cromaticidad de amarillos-azules.

En el Cuadro 3 se presenta los resultados de la evaluación del color a través del sistema $CIE L^* a^* b^*$, con respecto a la luminosidad (L) presentado en el músculo de trucha podemos indicar que utilizando el carophyll rosado y la deltaxantina para los días de evaluación, ambos presentaron diferencia estadística altamente significativa, realizando la comparación de promedios de los tratamientos por tiempo, mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) podemos indicar para el carophyll rosado presentó una luminosidad inicial $59,98 \pm 0,15$ y la deltaxantina $60,63 \pm 0,18$; a medida que el L tiende a 100 se acerca al color blanco.

Al respecto SINNOTT *et al.* (1989) indican que los cultivos intensivos de truchas no pueden depender de un aporte natural de pigmentos, por lo cual se recurre a la suplementación de productos sintéticos como la astaxantina, cantaxantina y algunas que se encuentran en muy poca proporción en el músculo, para alcanzar el grado de pigmentación deseado por el piscicultor en la carne.

Del mismo cuadro podemos apreciar, que a medida que avanza el tiempo (15, 30 y 45 días) tanto para el carophyll rosado y la deltaxantina, el valor de L va disminuyendo paulatinamente, este comportamiento puede ser explicado por CHOUBERT (1994) quien indica que la luminosidad disminuye a medida que la concentración de pigmento en el músculo aumenta.

El valor final de L a los 45 días para el carophyll rosado (90 ppm) fue $39,84 \pm 0,10$ y para la deltaxantina (100 ppm) $48,06 \pm 0,16$, como podemos apreciar el valor final es mayor en la deltaxantina esto indica que este músculo presentó mayor luminosidad que el carophyll rosado, encontrándose una diferencia estadística significativa entre los dos tratamientos. Comparando nuestros resultados con los reportes de otros autores podemos indicar que el carophyll rosado presentó una menor luminosidad y esto da como resultado un mejor color de músculo; RONCARATI *et al.* (2011) obtuvo en el tratamiento con astaxantina (90 ppm) $42,4 \pm 1,9$ y harina de krill (150 ppm) $43,6 \pm 2,8$ en truchas de 353 ± 57 g. a los 60 días de evaluación.

El tiempo de acabado en la investigación fue de 45 días hasta alcanzar un peso promedio 250 g, tiempo que permite alcanzar en una

trucha el peso, talla y grado de pigmentación comercial deseado. Al respecto GARCÍA *et al.* (2004) obtuvo valores de L $46,51 \pm 0,93$ (457 g) y $47,21 \pm 0,59$ (461 g), en truchas pigmentadas con 80 ppm de astaxantina, esto indica que a medida que alcanza la madurez sexual el valor L tiende a aumentar posiblemente debido al depósito de pigmento en los ovarios en caso de las hembras y en la piel en caso de los machos (GARZON, 2002).

En las Figuras 6 y 7 se muestran los diagramas de dispersión y la recta de regresión para las variables X (tiempo) y variables $Y(L)$ para el carophyll rosado y la deltaxantina respectivamente, donde podemos afirmar que el ajuste del modelo lineal negativo es el adecuado, dando como resultado un valor de $R^2=0,9621$ para carophyll rosado y $R^2=0,8866$ para la deltaxantina; el coeficiente de determinación indica el porcentaje de ajuste que se ha conseguido con el modelo, es decir el porcentaje de la variación de Y que se explica a través del modelo que se ha estimado, es decir a través del comportamiento de X (HERNANDEZ *et al.*, 2001).

En el mismo Cuadro 3 se presenta los resultados de a^* que está referido a la cromaticidad de rojo en el músculo de trucha en la fase de acabado, como podemos apreciar que para ambos pigmentantes se encontró diferencia estadística significativa, en el día cero el carophyll rosado tubo $a^*=1,07 \pm 0,04$ y la deltaxantina $a^*=1,01 \pm 0,19$ siendo los valores muy similares en ambos casos; al respecto en otras informaciones se tiene en el día cero los valores fueron mucho menores como lo citado por RONCARATI *et al.* (2011) quien encontró valores de a^* al día cero de su evaluación $0,6 \pm 1,1$ en truchas de 180 ± 57 g. y con 24 ± 2 cm de longitud.

Del mismo cuadro observa que a medida que avanza el tiempo de alimentación el valor de a^* se va incrementando y la luminosidad (L) va disminuyendo tal como indica NO y STOREBAKKEN (1991); cabe resaltar que en la pigmentación de la trucha arco iris, trucha café y salmón atlántico se encontró que la concentración de pigmento más alto lo presentó la trucha arco iris, seguido por la trucha café y por último el salmón (POKNIAK *et al.*, 2000).

Después de haber alcanzado los 45 días de alimentación con los pigmentantes el carophyll rosado tuvo a^* $19,86 \pm 0,15$ y la deltaxantina $14,97 \pm 0,07$, encontrándose una diferencia estadística significativa entre los dos tratamientos, esta diferencia entre los pigmentantes también se encontró en el reporte de GARZON (2002) obtuvo valores de a^* de $6,05 \pm 2,85$ y $9,09 \pm 1,93$ para concentraciones de oleorresina a base de paprika de 80ppm y 120 ppm respectivamente durante 63 días ambos tratamientos, con truchas arco iris en la fase de acabado.

En las Figuras 8 y 9 se muestran los diagramas de dispersión y la recta de regresión para el carophyll rosado y la deltaxantina, para las variables X (tiempo) y variable Y (a^*), donde podemos afirmar que el ajuste del modelo lineal es bueno, teniendo como resultado $R^2=0,9815$ para carophyll rosado y $R^2=0,9791$ para la deltaxantina; como se observa el coeficiente de determinación es la proporción de la variable dependiente explicada por la variable independiente, a medida que el R^2 se acerca a 1, la ecuación de regresión es más confiable (GUJARATI, 1990).

Realizando el análisis del cuadro 3 referido a la cromaticidad de amarillo b^* , cabe resaltar que durante la evaluación los

resultados tuvieron valor positivo lo que indica el asentamiento del color amarillo. Según el cuadro ambos pigmentantes presentaron diferencia estadística significativa, en función al tiempo de evaluación. En el día cero presentaron los valores más bajos tanto el carophyll rosado $4,36 \pm 0,12$ y la deltaxantina $3,90 \pm 0,07$. SAENZ *et al.* (2011) reporta en día cero valores de b^* $4,8 \pm 1,4$ en trucha arco iris de 135 ± 10 g y RONCARATI *et al.* (2011) reporta en el día cero b^* $3,0 \pm 1,5$ en truchas de 180 ± 08 g, según este reporte nuestro resultado se encuentra dentro del rango.

Del mismo cuadro podemos apreciar que a medida que avanza el tiempo de alimentación el valor b^* tiende a subir, así mismo lo refiere BJERKENG (2000) quien indica que está demostrado que a medida que el color rojo-anaranjado de los salmónidos es más intenso, L disminuye; mientras que a^* y b^* aumentan.

A los 45 días de alimentación se encontró valores de b^* para el carophyll rosado de $27,96 \pm 0,14$ y para la deltaxantina $18,62 \pm 0,16$, encontrándose una diferencia estadística significativa, según nuestros resultados se encuentra dentro del rango de reportes donde utilizan pigmentantes en la fase de acabado de truchas. GARZON (2002) obtuvo valores de b^* de $12,96 \pm 4,09$ y $17,70 \pm 3,87$ para concentraciones de oleorresina a base de paprika de 80 ppm y 120 ppm en truchas arco iris en la fase de acabado (63 días), obteniendo también una diferencia significativa para ambos tratamientos.

En las Figuras 10 y 11 se observan los diagramas de dispersión de los músculos de las truchas alimentados con carophyll rosado y

deltaxantina, para las variables independientes (tiempo) y variable dependiente (b^*), y la recta de regresión, donde el $R^2=0,0,9171$ para el carophyll rosado y $R^2=0,9621$ para la deltaxantina, lo que indica que el ajuste del modelo de la regresión lineal es el adecuado, así mismo lo refiere GUJARATI (1990) quien indica que en cuanto R^2 es más cercano a 1 hay una buena relación entre las variables, siendo 1 una relación perfecta entre las variables.

5.1.2. Evaluación del color a través de la regla de *Salmofan*TM

En el Cuadro 4 se presenta los resultados de color del músculo de trucha arco iris alimentados con carophyll rosado y deltaxantina a través de la regla *Salmofan*, realizando el análisis estadístico encontramos que durante el tiempo de evaluación existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos a los 15, 30 y 45 días de experimentación; el menor promedio lo presentaron en el día cero para el carophyll rosado $20,33 \pm 0,17$ y para la deltaxantina $20,22 \pm 0,15$, estos valores se encuentran en el rango reportado por POKNIAK *et al.* (2001) quienes encontraron valores utilizando 80 ppm de astaxantina, valores de 20 siendo el límite inferior, así mismo RONCARATI *et al.* (2011) reporta en el día cero $19,5 \pm 0,05$ en truchas de 180 ± 08 g.

En relación a los resultados de la evaluación visual de color a través de la regla *Salmofan*, se observa que desde los primeros 15 días los tratamientos con carophyll rosado y deltaxantina provocan un cambio favorable de color en el músculo de la trucha arco iris, obteniendo la mejor evolución en la escala de color con el carophyll rosado seguido de la deltaxantina, predominando el croma rojo y amarillo (figura 12).

La escala de colores de *Salmofan Roche* son muy recomendados para esta actividad comercial ya que se puede transportar con mayor facilidad que otros equipos, ya que consiste en una lámina donde tiene impresa la variación de color para salmónidos, según POKNIAK *et al.* (2000) menciona que es recomendable utilizar en truchas la regla de colores estandarizados de *Salmofan Roche*, ya que incorpora más tonos a la escala de 20 a 34 para obtener una mejor comparación con el color de la carne pigmentada.

Del mismo cuadro podemos apreciar que a los 45 días se tiene para el carophyll rosado $28,00 \pm 0,17$ y para la deltaxantina $24,33 \pm 0,17$ según los resultados estos valores se encuentran dentro de una coloración anaranjado de la regla *Salmofan*, al respecto POKNIAK *et al.* (2001) además, al ver el efecto que tiene la pigmentación sobre la coloración observó que sobre 100 ppm de astaxantina sintética en la dieta, se logró un color del filete equivalente a un valor de 30 que corresponden a los mínimos comerciales.

5.2. Grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema del $CIE L^*a^*b^*$, durante el almacenamiento en refrigeración

En el Cuadro 5 y Figuras 13 se presentan los resultados del color del músculo de trucha arco iris durante el almacenamiento en refrigeración en ella podemos indicar con respecto a L que durante los 7 días de almacenamiento no se encontró diferencia estadística significativa para el carophyll rosado pero si para la deltaxantina. Sin embargo comparando L en la cosecha y después de 24 horas momento que se inicia el control del

refrigerado, el carophyll rosado ha perdido L 2,3% y la deltaxantina 9,4%, esta pérdida puede deberse a lo reportado por BADUI (1991) que los pigmentos de color rojo-amarillo son sensibles a la luz, oxígeno y al calor. Según MONTEJANO *et al.* (1994) indica que las especies de musculatura anaranjada-roja son más estables en congelación que las especies con músculos blancos.

Durante los 7 días de almacenamiento el carophyll rosado perdió L en 2,3% y la deltaxantina gano L en 4,8% pero las pérdidas y ganancias no son significativas, al respecto NO y STOREBAKKEN (1991), al congelar y refrigerar filetes de truchas arco iris, con concentraciones de 7 ppm astaxantina sintética en el músculo, por 6 meses entre $<20^{\circ}\text{C}$ y $<80^{\circ}\text{C}$, no se registraron pérdidas significativas, observándose una coloración más roja y brillante que los obtenidos al comienzo del almacenamiento en congelación de estos músculos de truchas.

Realizando el análisis del mismo cuadro y figura podemos indicar que con respecto a^* , los resultados se encuentran dentro del croma rojo, realizando el análisis estadístico se encontró para ambos pigmentantes durante el tiempo de almacenamiento existe diferencia estadística significativa, comprando el primer control en el almacenamiento con respecto a la cosecha el carophyll rosado perdió a^* 1,5 % y la deltaxantina 0,4%, como podemos apreciarlas pérdidas fueron mínimas esto puede ser explicado por ARCOS (2004) indica que el músculo de la trucha desde el momento que el pez es sacrificado comienza un proceso de deshidratación con liberación de radicales libres y rancidez de las grasas, que llevan a un gran consumo de antioxidantes.

Analizando los resultados en los 7 días de almacenamiento podemos apreciar que el a^* para el carophyll rojo sufre una pérdida 8,9% y la deltaxantina 26,81%, esto puede deberse a lo reportado por ARCOS (2004) que indica que al descongelar los filetes, estos aparte de liberar agua, liberan una gran cantidad de grasa de color anaranjado, lo que indica un secuestro de pigmentos desde el músculo hacia el exterior; así mismo SMITH (1992), indica que el almacenamiento en congelación provoca una mayor pérdida de propiedades funcionales en los músculos de pescados, comparado con los músculos de res, puerco y aves.

Del Cuadro 5 y Figura 13 podemos observar el comportamiento de la cromaticidad de amarillos b^* en ella se aprecia que durante el almacenamiento b^* presentó diferencia estadística significativa, después de los siete días. Comparando los resultados del momento de la cosecha y el primer control en el almacenamiento se puede apreciar que el carophyll rosado tuvo una pérdida 2,4% y la deltaxantina 2,5 % al respecto podemos indicar SMITH (1992), que desde un punto de vista sanitario, este proceso de almacenamiento es muy conveniente, porque preserva los alimentos periodos, contra la putrefacción microbiana y la autólisis enzimática; sin embargo presenta cambios en la calidad e incrementa la pérdida de agua.

Del mismo cuadro podemos indicar que durante los siete días el carophyll rosado perdió el croma b^* 9,47% y la deltaxantina 27,3%, esto puede ser explicado por SHEEHAN *et al.* (1998), quienes reportan que en pruebas de estabilidad de astaxantina en salmón atlántico en la cual después de doce semanas de congelado la concentración de astaxantina no presenta variación.

Así mismo, ANDERSEN *et al.* (1990), demostraron que en filetes congelados de peces del género de *Oncorhynchus* al aumentar la rancidez a nivel muscular disminuye la concentración de astaxantina muscular situación que se acentúa al pasar el tiempo. Cabe aclarar que nuestros resultados fueron mejores en el croma b^* comparado a lo indicado por SATHIVEL (2005) b^* $11,4 \pm 2,0$ para músculos de *Oncorhynchus gorbuscha*, durante 3 días de almacenamiento en refrigeración.

5.3. Grado de pigmentación del músculo de trucha arco iris, con carophyll rosado y deltaxantina, utilizando el sistema del CIELa $^*b^*$ después de la cocción.

Los resultados de la evaluación de color del músculo de trucha arco iris después de la cocción se presenta en el Cuadro 6 y Figura 14, en ella podemos apreciar con respecto a la luminosidad la diferencia estadística significativa, comparando los promedios después de 7 días de conservación se encontró que a medida que pasas el tiempo va aumentando la luminosidad para el carophyll rosado día 1 ($79,46 \pm 0,43$) al día 7 ($81,42 \pm 0,22$) y para la deltaxantina día 1 ($76,86 \pm 0,17$) y día 7 ($88,09 \pm 0,08$) notamos que a medida que pasa el tiempo (días) va aclarándose.

Comparando la carne cocida con la cruda también presento diferencia, en carne cruda para el carophyll rosado fue $40,78 \pm 0,15$ y cocido $79,46 \pm 0,43$ ganó un 94,8% de L y para la deltaxantina en carne cruda fue $52,57 \pm 0,19$ y cocido $76,86 \pm 0,17$ ganó un 45,7% de L el mismo efecto sucedió en el trabajo de SATHIVEL (2005) referido al filete de trucha crudo $38,00 \pm 2,1$ y

cocido $68,6 \pm 2,7$ ganando un 80,5% de L , los valores de L aumentan debido al escurrimiento del colágeno que está localizado entre los segmentos de los músculos. PRINCE y SCHEWEIRGT (1994), indica que el color final de la carne cocida depende del tipo, duración y temperatura de cocinado.

Los resultados presentados en el Cuadro 5 y Figura 14 se aprecia el comportamiento de a^* , realizando al análisis estadístico encontramos que existe diferencia significativa, el mayor valor de a^* para el carophyll rosado se encontró en el día 1 ($8,81 \pm 0,14$) y el menor el día 7 ($6,09 \pm 0,08$).

Para el caso de deltaxantina tuvo un comportamiento muy similar el día 1 ($8,01 \pm 0,10$) y el día 7 ($5,34 \pm 0,12$), la pérdida de croma rojo puede deberse a lo explicado por ALMACHE (2007) quien menciona que durante la cocción, la musculatura de los pescados, disminuye la succulencia y la capacidad de retención de agua y hay modificaciones inestables en la textura como endurecimiento, granulosis o grumosidad y resequeza; también afecta negativamente las propiedades funcionales como su capacidad de emulsificación, ligado de grasa, retención de agua o hidratación y de gelificación.

Así mismo si comparamos entre la trucha cruda pigmentada con carophyll rosado el valor de a^* fue $20,16 \pm 0,09$ y el músculo cocinado fue $8,81 \pm 0,14$ perdiendo un croma de 43,70% y para la deltaxantina cruda fue $15,03 \pm 0,07$ y cocinada $8,01 \pm 0,10$ perdiendo un croma de 53,2% esto indica que el color rojo paso a color rosado, esto es reafirmado por INGLE (1996), quien indica que la estabilidad de la pigmentación también se ve alterada por el proceso de cocción, disminuyendo su luminosidad y su tonalidad rojiza, según

SATHIVEL (2005) tuvo un valor de a^* $8,2\pm 1,3$ para músculos de *Oncorhynchus gorbuscha* durante la cocción a 95°C durante 5 min, este valor reportado es muy similar al encontrado en la investigación.

Del mismo Cuadro 5 y Figura 14 se presenta los valores del croma b^* para el músculo de trucha arco iris cocida, pigmentada con carophyll rojo y deltaxantina, realizando el análisis estadístico se encontró que existe diferencia significativa, comparando los promedios podemos apreciar para el carophyll rosado el día 1 ($23,07\pm 0,06$) y el día 7 ($15,45\pm 0,45$) y la deltaxantina en el día 1 fue ($19,36\pm 0,64$) y el día 7 ($15,39\pm 0,24$) este comportamiento indica que a medida que pasa el tiempo se va dando la pérdida del color amarillo, esto posiblemente se debe a que la luz y el oxígeno interactúan con la mioglobina y causan decoloraciones de los músculos de las truchas arco iris (PEREZ y ALDUJAR, 2000).

Comparando el croma b^* entre carne cruda de la trucha arco iris para el músculo pigmentado con carophyll rosado fue $28,62\pm 0,14$ y cocida $23,07\pm 0,06$ y para la deltaxantina en carne cruda $18,16\pm 0,10$ y cocida $19,36\pm 0,64$ como podemos apreciar el valor del croma amarillo ha disminuido. SATHIVEL (2005), afirma que los carotenoides se blanquean cuando son expuestos a condiciones adversas incluyendo, luz directa, prolongado tiempo de calentamiento, ácidos fuertes o peróxidos y la pérdida de humedad hace que se incremente el color amarillo y rojo.

VI. CONCLUSIONES

- Durante el período de experimentación se obtuvo respuestas positivas en ambos tratamientos, determinándose como mejor, aquel en que la concentración fue 90 ppm de pigmento sintético.
- El carophyll rosado (90ppm) tuvo mejores valores en el sistema CIELa*b* y regla *salmofan*, en el músculo de trucha arco iris durante los días de alimentación en la fase de acabado existiendo diferencia estadística siendo mejor que la deltaxantina
- La estabilidad del color del músculo de trucha arco iris durante los 7 días almacenados en refrigeración pigmentada con carophyll rosado fue buena mientras que la deltaxantina sufre la mayor pérdida en la cromaticidad de rojos y verdes en un 26,8%.
- La cocción provoca un aumento de la luminosidad, aclaramiento de la cromaticidad rojo y amarillo, presentando mayor estabilidad el carophyll rosado que la deltaxantina.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos con distintas dosis de deltaxantina en las dietas de trucha arco iris, con el fin de obtener la dosis óptima para una pigmentación deseada por el piscicultor.
- Realizar estudio sobre la estabilidad de color en trucha arco iris almacenado en refrigeración y congelación.
- Evaluar sistemas de cocción de músculo de truchas donde se pueda mantener la estabilidad del color.

ABSTRACT

PIGMENTATION OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) FINISH ON STAGE, DURING REFRIGERATED STORAGE AND COOKING PROCESS, IN THE FISH FARMING CENTER "EL INGENIO"

The research was conducted between July and August 2013 in the Fish Farming Center "El Ingenio" and in the Laboratory of Plant Food, Faculty of Food Industry of the National Agrarian Forest University. The objectives were: to determine the effect of pigmentation of rainbow trout muscle, adding two pigmented balanced food, dextaxantin and Carophyll pink, in the finishing stage, during chilled storage and after cooking, under both systems of measurement. Six hundred kg of rainbow trout variety were used with 165 ± 5 g weight and 22 cm in length; the fishes were distributed in a completely randomized design with 2 treatments and 3 replications. The treatments were: T1: Basal diet plus 90 ppm Carophyll pink and T2: Basal diet plus 100 ppm of dextaxantin. To compare the effect of both pigment sat 45 days, paired hypothesis test was performed; likewise results of the variables (CIELa* b*) in function of time was performed by analysis of variance, Tukey's test ($p \leq 0,05$) and a regression fit for each of these independently were done. Data of the visual evaluation were analyzed by Friedman test; likewise for the data obtained during refrigerated storage and after cooking, depending on the time, an analysis of variance with Tukey's test ($p \leq 0,05$) was performed. The results during the experiment showed positive responses in both treatments (determined as the best, one in which the concentration was 90 ppm synthetic pigment). Meanwhile, for dextaxantin and

pink Carophyll no difference ($p \leq 0,05$) was found however pink Carophyll had better values in the CIEL a^*b^* system and *salmofan* rule, in rainbow trout muscle in the finishing phase. Color stability at 7 days refrigerated pigment pink Carophyll was good while deltaxantin suffers greater loss in a^* and b^* 26,8% and cooked causes an increase in L and b^* clearance in a^* and b^* , presenting enhanced stability that Carophyll pink deltaxantin. As concluded Carophyll use pink as a pigmentation in rainbow trout.

Keywords: Pink carophyll, deltaxantin, cooking, pigmentation, refrigerated, rainbow trout.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALMENDRAS, F. Y SABELLE, M. 2000. Uso de pigmentos en salmónidos bajo condiciones comerciales. Productos Roche Ltda. Parque Industrial, Puerto Montt, Chile. Alpha.97p.
- ALMENDRAS, F. Y SABELLE, M. 1999. Guía práctica: Uso de pigmentos salmónidos. Productos Roche Ltda. Parque Industrial, Puerto Montt, Chile. Alpha. 150p.
- ANDINO, D. Y LÓPEZ, D. 2011. Aplicación de pigmentos naturales (extracto de aji) en dieta balanceada para truchas arco iris y su fijación con selenio orgánico. Tesis Ingeniero en Ciencias Agropecuarias. Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército. 114p.
- ALMACHE, F. 2007. Estudio de crioprotectores en el almacenamiento congelado de trucha (*Oncorhynchus*) y tilapia (*Oreochromis sp*). Tesis Ingeniero en Alimentos. Ambato, Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 107p.
- ALIMEC, S. 2012. Empresa fabricante de alimento balanceado en todo Latinoamérica. Lima. Perú. [En línea]: (<http://www.linkedin.com/company/deltagen-del-peru-s-a-/deltaxantina-pigmentante-acuicola-1228488/product>, documento, 20 Ene 2013).

- ANDERSEN, H., BETELSEN, A., CHRISTOPHERSEN, A., OHLEN, L. 1990. Development of rancidity in salmonid steaks during retail display. A comparison of practical storage life of wild salmon and farmed rainbow trout. *Leb.Unt. Forsh.* 19(2):119-122.
- ARCOS, C. 2004. Utilización de una astaxantina natural (Naturöse®) en la pigmentación de Salmon Coho (*Oncorhynchus kisutch*). Tesis Médico Veterinario. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 192p.
- BADUI, S. 1991. Diccionario de tecnología de los alimentos. 2 ed. México. Alhambra Mexicana 300p.
- BAKER, R., PFEIFFER, A., SCHÓNER, F., SMITH-LEMMON, L. 2002. Pigmentating efficacy of astaxanthin and canthaxanthin in fresh-water reared Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Animal Feed Science and Technology.* 99(1):97-106.
- BARROS, M., PINTO, E., COLEPICOLO, P., Y PEDERSÉN, M. 2001. Astaxanthin and Peridinin Inhibit Oxidative Damage in Fe² Loaded Liposomes: Scavenging Oxyradicals or Changing Membrane Permeability *Biochemical and Biophysical Research Communications* 288(1):225-232.
- BIRD, J., SAVAGE, P. 1990. Carotenoid pigmentation in aquaculture. *Proceedings of the Nutrition. Society of New Zealand.* 15:45-56.
- BJERKENG, B., HATLEN, B., WATHNE, E. 1999. Deposition of astaxanthin in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with herring, capelin, sandeel, or peruvian high PUFA oils. *Aquaculture.* 180:307-319.

- BJERKENG, B. Carotenoid pigmentation of salmonid fishes – recent progress.
In: Simposium Internacional de Nutritioa ciculae (5., 2000, Yucatán, Mérida).2000. Universidad Autónoma. p. 71-89.
- BLANCO, M. 1995. La Trucha: Cría industrial. 2 ed. Madrid, España, Mundi Prensa. 503p.
- BRAVO, E. 2000. Evaluación de la pigmentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en respuesta a la incorporación de dos niveles de astaxantina a la dieta de crecimiento-engorda. Optar el título de Médico Veterinario y Pecuario. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 540p.
- CAMPABADAL, C., CELIS, A. 2000. Factores que afectan la calidad de los alimentos acuícolas. Avances en nutrición acuícola. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición acuícola. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán. 523-540.
- CARRIÓ R. 2009. Evaluación de dos sistemas de medición de color en filetes de salmónidos. Tesis optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 125p.
- CASTRO, E. 1992. Métodos de evaluación y certificación de pigmentación para La industria salmonera. V International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. Foundation, Chile. Santiago, Chile.
- CURSO DE PRODUCCION DE TRUCHAS. (4., 2000 Perú). 2000. Programa de producción de truchas; curso. Ed. por M. Bedriñana Sosa. Huancayo, Perú, Gobierno Regional Junín. 90p.

- CURSO SOBRE PRODUCCION DE TRUCHAS (5., 1998, Perú). 1998. Avances en Nutrición y alimentación de truchas; curso. Ed. por V. Vergara Rubín. Huancayo, Perú. 90 p.
- CHOUBERT, G. 1992. Pigmentation of the salmonidae: dynamics and factors of variation. *Productions – animals*. 5:(4)235-246.
- CHOUBERT, G., MILICUA, C., GÓMEZ, R. 1994. The transport of astaxanthin in mature rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* serum. *Comp. Biochem. Physiol.* 108A(2):245-248.
- CHRISTIANSEN, R., TORRISSEN, J. 1997. Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed different dietary levels of astaxanthin. *Aquaculture Nutrition*. 2 (1):55-62.
- CHRISTIANSEN, R., STRUKSNAES, G., ESTERMANN, R., TORRISSEN, O. 1995. Assessment of flesh colour in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* 26(1): 311-321.
- CIE. 1986. Colorimetry. Commission Internationale de l'Éclairage. 2 ed. Vienna, Austria. Bureau central de la CIE. 83p.
- DELTAGEN, S. 2012. Empresa fabricante de alimento balanceado en todo Latinoamérica. Lima. Perú. [En línea]: (<http://www.linkedin.com/company/deltagen-del-peru-s-a-/deltaxantina-pigmentante-acuicola-1228488/product>, documento, 20 Ene 2013).
- DOMÍNGUEZ, B., PONCE, N., TORRES, M. J. 2007. Astaxanthin production by *Phaffiarhodozyma* and *Haematococcus pluvialis*: a comparative study. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 75(4): 783-791.

- FÁBREGAS, J., OTERO, A., MASEDA, A., DOMÍNGUEZ, A. 2001. Two-stage cultures for the production of Astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Biotechnology*. 89(1):65-71.
- FONDO NACIONAL DE DESARROLLO PESQUERO. 2006. Manual de cultivo de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). 2 ed. Limusa. Lima, Perú. 95p.
- GARCÍA, J., NÚÑEZ, F., CHACÓN, O., ALFARO R., ESPINOSA, M. 2004. Calidad de canal y carne de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) producida en el noroeste del estado de chihuahua. *Hidrobiológica*. 14(1):19-26.
- GARZON, A. 2002. Determinación del color muscular, el efecto de dos oleorresinas en la palatabilidad del alimento y su variación con respecto al tiempo. Tesis Licenciado en Hidrología. Iztapalapa, México. Universidad Metropolitana Iztapalapa. 120p.
- GODOY, M. 2002. Truchicultura. Ayacucho, Perú, Gama S. A. 247p.
- GUJARATI, D. 1990. Econometría. 2 ed. Bogotá, Colombia, Mc Graw Hill. p. 71-72.
- HAGEN, C., GRÜNEWALD, K., XYLÄNDER, M., ROTHE, E. 2001. Effect of cultivation parameters on growth and pigment biosynthesis in flagellated cells of *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Applied Phycology*. 13(1): 79-87.
- HARDY, R., CASTRO, E., CAPDEVILLE, A. 1994. Pigmentations of salmonids: sources, retention, programs and regulation. Fundación Chile Santiago, Chile 19p.

- HEPHER, B. 1993. Nutrición de peces comerciales en estanques. México D.F, México, Alhambra Mexicana.250p.
- HERRERO, M., CIFUENTES, A., IBAÑEZ, E. 2006.Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae: A review. Food Chemistry. 98(1):136-148.
- HERNÁNDEZ, B., FERNANDEZ, G., BAPTISTA, L. 2001. Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill. México. 154 p.
- INGLE, G. 1996. Efectos de pigmentación en el músculo de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante el uso de extractos pigmentantes de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) y paprika (*Capsicum annuum*) incorporados en el alimento balanceado. Tesis. Grado de maestro con especialidad en ecología acuática y pesca. Monterrey, México. Universidad Autónoma de León. 150p.
- JENSEN, C., BIRK, E., JOKUMSEN, A., SKIBSTED, L., BERTELSEN, G. 1998. Effect of dietary levels of fat, alpha-tocopherol and astaxanthin on colour and lipid oxidation during storage of frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and during chill storage of smoke trout. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 20(3):189-196.
- LARRAIN, C. 2002. Alternativas de pigmentación: nuevos antecedentes. Salmonicultura. 27(4):78-79.
- LA ROCHE, H. 2000. Carophyll® Pink-The Pigment of Choice for Salmonids. [En línea]:http://www.roche.com.cn/vitamin/vutamin_doc/a, documento, 10 de Mar, 2014.

- MANTILLA, B. 2004. Acuicultura: Cultivo de Truchas en Jaulas Flotantes. Lima, Perú. Alhambra. p 150-165
- MARTINEZ, A. 2010. Evaluación del crecimiento celular y de los pigmentos obtenidos de la microalga *Haematococcus pluvialis* (*Chlorophyta: volvocales*) cultivadas en diferentes medios. Tesis Doctoral en Tecnología Avanzada. México. Instituto Politécnico Nacional.91p.
- MARCH, E., HAJEN, E., DEACON, G., MACMILLAN, C., WALSH, M. 1990. Intestinal absorption of astaxanthin, plasma astaxanthin concentration body weight and metabolic rate as determinants of flesh pigmentation in salmonid fish. *Aquaculture*. 90:(3-4)313-322.
- MEYER, S., WINGFIELD, D., DU PREEZ, C. 1994. Genetic analysis of astaxanthin over-producing mutants using RAPD's. *Biotechnol. Techniques*. 8(1):1-6.
- McCALLUM, M., CHENG, M., MARCH, E. 1987. Carotenoid pigmentation in two strains of Chinook salmon (*Oncorhynchus sp*) and their crosses. *Aquaculture*. 67(1):291-300.
- NICKELL, C., BROMAGE, R. 1998. The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout. *Aquaculture*. 161(2):237-251.
- MONTEJANO, G., MORALES, G., DIAZ, R. 1994. Propiedades reológicas de geles de surimi liofilizado de trucha (*Oncorhynchus*) y tilapia (*Oreochromis sp*). *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.* 34(2):165-177.
- NO, H., STOREBAKKEN, T. 1991. Color stability of rainbow trout fillets during frozen storage. *Journal of Food Science*. 56(4):969-971.

- OLSON, A. 1993. Absorption, transport and metabolism of carotenoids in humans. 10th Int. Symp. Carotenoids, Trondheim, 20-25 June 1993.
- PEREZ, D., ALDUJAR, G. 2000. Cambios de coloración de productos cárnicos. Revista Cubana: Alimentaria y nutrición. 64(2):114-123.
- POKNIAK, J., BRAVO, I., BATTAGLIA, J., CORNEJO, S. 2001. Pigmentation of rainbow trout's (*Oncorhynchus mykiss*) fed two levels of astaxanthin in their growing-fattening diets. Arch. Med. Vet. 33 (2):155-164.
- POKNIAK, J., BRAVO, I., BATTAGLIA, J., CORNEJO, S. 2000. Evaluación de dos estrategias de pigmentación en truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Arch. Med. Vet. 51(1):250-274.
- PUTNAM, M. 1991. A review of the nature, function, variability, and supply of pigments in salmonid fish. Aquaculture and the environment. 16:245-263.
- PRICE, J. F., SCHEWEIGERT, B. S. 1994. Ciencia de la carne y los productos cárnicos. 2 ed. Zaragoza, España, Acriba S. A. 581p.
- RAMIREZ, F. Contaminación, conservación de los recursos hídricos e importancia de la limnología en la producción de truchas. In: Curso Nacional de Truchas (2., 1989, Huancayo, Perú). 1989. Huancayo. p 150-155.
- RONCARATI, A., SIRRI, A., FELICI, L., STOCCHI, P., MELOTTI, A., MELUZZI, A. 2011. Effects of dietary supplementation with krill meal on pigmentation and quality of flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Animal Science. Italian. 10(e27):39-43.
- SAENZ, P., SAYED, M., ABDEL, A., DOMINIQUE, P. 2011. Effects of corn gluten meal on pigmentation of rainbow trout. Aquafeed. (2):142-150

- SÁNCHEZ, A., FLORES, L. (1999). Carotenoides: Estructura, Función, Biosíntesis, Regulación y Aplicaciones. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 41(2): 175-191.
- SALAZAR, J. 1994. Control de calidad de insumos y dietas acuícolas. Laboratorios de formulación de dietas computarizadas para peces. [Enlínea]:FAO,(<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S19.htm#ch18>, documento, 30 de Mar. 2013).
- SATHIVEL, S. 2005. Chitosan and protein coatings affect yield, moisture loss, and lipid oxidation of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fillets during frozen storage. *Journal of food science*. 70(8):455-459.
- SINNOTT, R. 1989. Keep them in the pink to stay competitive. *Fish Farmer* 12(5):23-26.
- SOSA, F. 1997. Comparación del color muscular de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) obtenido por la adición a la dieta de pigmentos vegetales de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) y paprika (*Capsicum annum*). Tesis Licenciado Hidrobiológica. Iztapalapa, México. Universidad Metropolitana Iztapalapa. 150p.
- SHEEHAN, M., OCONNOR., SHEEHY, D., BUCKLEY, R., FITZGERALD, R. 1998. Stability of astaxanthin and canthaxanthin in raw and smoke atlantic salmon (*Salmo salar*) during frozen storage. *Food Chemistry*. 63(3):313-317.
- SMITH, B., HARDY, R., TORRISSEN, O. 1992. Synthetic astaxanthin deposition in pansize Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*. 104(3):105-119.

- STOREBAKKEN, T., NO, H. K. 1992. Pigmentation of rainbow trout. *Aquaculture*. 100:(1-3)209-229.
- TEIMOURI, M., ABDOLSAMAD, K., SEKINEB, Y. 2013. The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout. *Aquaculture*. 65(3):150-168.
- TELLEZ, M. 1998. Dinámica de pigmentación en *Oncorhynchus kisuch*, *Oncorhynchus mykiss* y *Salmo salar* en fase marina de cultivo. Tesis Lic. Medicina Veterinaria. Valdivia. Chile. Universidad Austral Chile. 120p.
- TORRISSEN, J., CHRISTIANSEN, R. 1995. Requirements for carotenoids in fish diets. *Journal of Applied Ichthyology*. 11:(3-4)225-230.
- TORRISSEN, J., HARDY, W., SHEARER, D., SCOTT, M., STONE, E. 1990. Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 88(1):351-362.
- TORRISSEN, J., HARDY, W., SHEARER, D. 1989. Pigmentation of salmonids carotenoid deposition and metabolism. *Crit. Rev. Aquat. Sci.* 1:209-225.
- TORRISSEN, J. 1985. Pigmentation of salmonids: factors affecting carotenoid deposition in rainbow trout. *Aquaculture*. 46:133-142.
- VALENCIA, C. 1995. Aspectos generales de la trucha arco iris. Tacna, Perú. Universidad Jorge Basadre Grohmann. p 125-135.
- YAMASAKI, H. 2000. Algunos datos curiosos sobre la trucha y su pesca. Huancayo, Perú. Alpha. 120p.
- VIDAL, L. 2003. Las preferencias de los consumidores de salmón. *Salmonicultura*. 17:33-36.

ANEXO

Anexo 1. Parámetros físico químicos del agua

Parámetros	Nivel
Temperatura del agua	11.7°C
Oxígeno disuelto	7.5 ml/l
pH	7.9
Dióxido de carbono	4 ppm
Alcalinidad	153.9 mg/l
Dureza	182.4 mg/l
Nitritos	0.50 mg/l

Fuente: Propia (2013)

Anexo 2. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de *L* bajo sistema del CIELa^ab^{*} para el carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	3	2017,2985	672,4328	4042,97	**
Error experimental	32	5,3222	0,1663	-----	-----
Total	35	2022,66208	-----	-----	-----

 $R^2 = 0,9973$ $CV = 0,7958$ $MSE = 0,407$ $Media = 51,24$

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	3	897,2550	299,0850	1169,13	**
Error experimental	32	8,1862	0,2558	-----	----
Total	35	905,4413	-----	-----	----

 $R^2 = 0,9909$ $CV = 0,9038$ $MSE = 0,5057$ $Media = 55,95$

Anexo 3. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de a^* bajo el sistema del CIELa*b* para el carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	3	1766,4496	588,8165	3678,49	**
Error experimental	32	4,7360	0,1480	-----	-----
Total	35	1771,1856	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9973$ CV = 3,3961 MSE = 0,3847 Media = 11,32

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	3	964,0828	321,3609	1756,11	**
Error experimental	32	5,8558	0,1829	-----	-----
Total	35	969,9387	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9939$ CV = 4,9806 MSE = 0,4277 Media = 8,58

Anexo 4. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de b^* bajo el sistema del CIELa*b* para el carophyll rosado y deltaxantina, durante la fase de acabado.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	3	2648,1141	882,7047	6076,73	**
Error experimental	32	4,6483	0,1452	-----	-----
Total	35	2652,7625	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9982$ CV = 2,6427 MSE = 0,3811 Media = 14,42

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	3	1042,1007	347,3669	3486,82	**
Error experimental	32	3,1879	0,0996	-----	-----
Total	35	1045,2886	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9969$ CV = 3,0204 MSE = 0,3156 Media = 10,44

Anexo 5. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de *L* bajo el sistema del CIELa*b* para el carophyll rosado y deltaxantina durante el almacenamiento en refrigeración.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	4,8796	2,4398	1,97	NS
Error experimental	24	29,7402	1,2392	-----	-----
Total	26	34,6199	-----	-----	-----

$R^2 = 0,1409$ CV = 2,6905 MSE = 1,1132 Media = 41,37

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	30,1293	15,0646	91,82	**
Error experimental	24	3,9374	0,1640	-----	-----
Total	26	34,0667	-----	-----	-----

$R^2 = 0,8844$ CV = 0,7919 MSE = 0,4050 Media = 51,14

Anexo 6. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de *a** bajo el sistema del CIELa*b* para el carophyll rosado y deltaxantina durante el almacenamiento en refrigeración.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	14,9018	7,4509	67,53	**
Error experimental	24	2,6481	0,1103	-----	-----
Total	26	17,5499	-----	-----	-----

$R^2 = 0,8491$ CV = 1,7317 MSE = 0,3321 Media = 19,18

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	13,8628	36,9314	174,28	**
Error experimental	24	5,0858	0,2119	-----	-----
Total	26	78,9486	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9356$ CV = 3,5065 MSE = 0,4603 Media = 13,13

Anexo 7. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de b^* bajo el sistema del CIELa*b* para el carophyll rosado y deltaxantina durante el almacenamiento en refrigeración.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	33,9170	16,9585	98,21	**
Error experimental	24	4,1441	0,1727	-----	-----
Total	26	38,0612	-----	-----	-----

$R^2 = 0,8911$ CV = 1,5175 MSE = 0,4155 Media = 27,38

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	118,9839	59,4919	393,29	**
Error experimental	24	3,6304	0,1513	-----	-----
Total	26	122,6143	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9704$ CV = 2,5433 MSE = 0,3890 Media = 15,29

Anexo 8. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de L bajo el sistema del CIELa*b* para el carophyll rosado y deltaxantina después de la cocción.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	17,3671	8,6835	9,78	**
Error experimental	24	21,3022	0,8876	-----	-----
Total	26	38,6693	-----	-----	-----

$R^2 = 0,4491$ CV = 1,1710 MSE = 0,9421 Media = 80,44

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	569,6255	284,8127	2255,21	**
Error experimental	24	3,0310	0,1263	-----	-----
Total	26	572,6565	-----	-----	-----

$R^2 = 0,4491$ CV = 0,4319 MSE = 0,3554 Media = 82,28

Anexo 9. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de a^* bajo el sistema del CIE La^*b^* para el carophyll rosado y deltaxantina después de la cocción.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	34,1460	17,0730	178,91	**
Error experimental	24	2,2902	0,0954	-----	-----
Total	26	36,4363	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9371$ CV = 4,2129 MSE = 0,3089 Media = 7,33

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	33,9521	16,9760	215,10	**
Error experimental	24	1,8941	0,0790	-----	-----
Total	26	35,8463	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9472$ CV = 4,3255 MSE = 0,2810 Media = 6,49

Anexo 10. Análisis de varianza de los resultados obtenidos de la evaluación de b^* bajo el sistema del CIE La^*b^* para el carophyll rosado y la deltaxantina después de la cocción.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	262,6380	131,3190	183,55	**
Error experimental	24	17,1701	0,7154	-----	-----
Total	26	279,8080	-----	-----	-----

$R^2 = 0,9386$ CV = 4,4299 MSE = 0,8458 Media = 19,09

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	Sig.
Días	2	73,1158	36,5579	24,58	**
Error experimental	24	35,6977	1,4874	-----	-----
Total	26	108,8135	-----	-----	-----

$R^2 = 0,6719$ CV = 6,9393 MSE = 1,2196 Media = 17,57

Anexo 11. Prueba de Hipótesis para los resultados de *L* para el carophyll rosado y deltaxantina a los 45 días de la fase de acabado.

Two Sample Paired t-test for the Means of LC and LD

Sample Statistics

Group	N	Mean	Std. Dev.	Std. Error
LC	9	39,84333	0,2873	0,0958
LD	9	48,05556	0,4704	0,1568

Hypothesis Test

Null hypothesis: Mean of (LC - LD) = 0

Alternative : Mean of (LC - LD) = 0

t Statistic Df Prob> t

-44,548 8 <.0001

Anexo 12. Prueba de Hipótesis para los resultados de *a** para el carophyll rosado y deltaxantina a los 45 días de la fase de acabado.

Two Sample Paired t-test for the Means of RC and RD

Sample Statistics

Group	N	Mean	Std. Dev.	Std. Error
RC	9	19,85778	0,4375	0,1458
RD	9	14,96556	0,2195	0,0732

Hypothesis Test

Null hypothesis: Mean of (RC - RD) = 0

Alternative : Mean of (RC - RD) = 0

t Statistic Df Prob> t

27,928 8 <.0001

Anexo 13. Prueba de Hipótesis para los resultados de b^* para el carophyll rosado y deltaxantina a los 45 días de la fase de acabado.

Two Sample Paired t-test for the Means of AC and AD

Sample Statistics

Group	N	Mean	Std. Dev.	Std. Error
AC	9	27,95667	0,4338	0,1446
AD	9	18,61667	0,4655	0,1552

Hypothesis Test

Null hypothesis: Mean of (AC - AD) = 0

Alternative : Mean of (AC - AD) = 0

t Statistic	Df	Prob> t
40.308	8	<.0001

Anexo 14. Análisis de regresión ajustado para la L obtenidas de la evaluación de los músculos de trucha arco iris alimentado con dieta incluida carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	F. tab.	Sig.
Regresión	1	1945,90	1945,90	11722,29	2.89	**
Falta de ajuste	2	71.4	35,70	215,06	3.31	**
Error experimental	32	5.32	0,166	-----		-----
Total	35	2022,62	-----	-----		-----

$R^2 = 0,9621$ $CV = 1,9313$ $MSE = 1,5021$ $Media = 51,24$

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	F. tab.	Sig.
Regresión	1	802,72	802,72	3210,88	2.89	**
Falta de ajuste	2	94,54	47,27	189,08	3.31	**
Error experimental	32	8,18	0,25	-----		-----
Total	35	905,44	-----	-----		-----

$R^2 = 0,8866$ $CV = 3,1060$ $MSE = 1,7381$ $Media = 55,95$

Anexo 15. Análisis de regresión ajustado para la a^* obtenidas de la evaluación de los músculos de trucha arco iris alimentado con dieta incluida el carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	F. tab.	Sig.
Regresión	1	1738,49	1738,49	11596,60	2.89	**
Falta de ajuste	2	27,96	13,98	93,20	3.31	**
Error experimental	32	4,740	0,15	-----		-----
Total	35	1771,19	-----	-----		-----

$R^2 = 0,9815$ CV = 8,6567 MSE = 0,9806 Media = 11,32

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	F. tab.	Sig.
Regresión	1	949,63	949,63	5275,72	2.89	**
Falta de ajuste	2	14,45	7,23	40,17	3.31	**
Error experimental	32	5,86	0,18	-----		-----
Total	35	969,94	-----	-----		-----

$R^2 = 0,9791$ CV = 8,9993 MSE = 0,7729 Media = 8,59

Anexo 16. Análisis de regresión ajustados para la b^* obtenidas de la evaluación de los músculos de trucha arco iris alimentado con dieta incluida el carophyll rosado y deltaxantina, en la fase de acabado.

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	F. tab.	Sig.
Regresión	1	2432,92	2432,92	16219,47	2.89	**
Falta de ajuste	2	215,19	107,60	717,33	3.31	**
Error experimental	32	4,65	0,15	-----		-----
Total	35	2652,76	-----	-----		-----

$R^2 = 0,9171$ CV = 17,6318 MSE = 2,5428 Media = 14,42

F.V	G.L	S.C	C.M	F. cal.	F. tab.	Sig.
Regresión	1	1005,70	1005,70	10057	2.89	**
Falta de ajuste	2	36,40	18,20	182,00	3.31	**
Error experimental	32	3,15	0,10	-----		-----
Total	35	1045,27	-----	-----		-----

$R^2 = 0,9621$ CV = 10,3272 MSE = 1,0791 Media = 10,45

Anexo 17. Prueba de Friedman para los resultados de la evaluación visual de día 0 (cero), de los músculos de truchas pigmentadas por carophyll rosado (T1) y deltaxantina (T2).

T1	T2	T ²	p
1,56	1,44	0,31	0,5943

Mínima diferencia significativa entre suma de rangos (4.157)

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n	
T2	13,00	1,44	9	A
T1	14,00	1,56	9	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.050$)

Anexo 18. Prueba de Friedman para los resultados de la evaluación visual de día 15 de los músculos de truchas pigmentadas por carophyll rosado (T1) y deltaxantina (T2).

T1	T2	T ²	p
1,94	1,06	64,00	<0,0001

Mínima diferencia significativa entre suma de rangos (2,306)

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n	
T2	9,50	1,06	9	A
T1	17,50	1,94	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.050$)

Anexo 19. Prueba de Friedman para los resultados de la evaluación visual del día 30, de los músculos de truchas pigmentadas por carophyll rosado (T1) y deltaxantina (T2).

T1 T2 T² p
2,00 1,00 1E30 <0,0001

Mínima diferencia significativa entre suma de rangos (0,000)

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n	
T2	9,00	1,00	9	A
T1	18,00	2,00	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,050$)

Anexo 20. Prueba de Friedman para los resultados de la evaluación visual del día 45, de los músculos de truchas pigmentadas por carophyll rosado (T1) y deltaxantina (T2).

T1 T2 T² p
2,00 1,00 1E30 <0,0001

Mínima diferencia significativa entre suma de rangos (0,000)

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n	
T2	9,00	1,00	9	A
T1	18,00	2,00	9	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,050$)