

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE
MEDICIÓN DE COLOR EN FILETES
DE SALMÓNIDOS**

RENATO ALONSO CARRIÓ MALDONADO

SANTIAGO, CHILE
2009

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE
MEDICIÓN DE COLOR EN FILETES
DE SALMÓNIDOS**

**EVALUATION OF TWO COLOR
MEASUREMENT SYSTEMS IN
SALMONIDS FILLETS**

RENATO ALONSO CARRIÓ MALDONADO

SANTIAGO, CHILE
2009

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE
MEDICIÓN DE COLOR EN FILETES
DE SALMÓNIDOS**

**Memoria para optar al Título
Profesional de ingeniero Agrónomo.
Mención: Producción Animal**

Renato Alonso Carrió Maldonado

PROFESORES GUÍAS	Calificaciones
Sra. Susana Muñoz M. Ingeniero Agrónomo M.Sc.	7,0
Dr. Cristian Araneda T. Ciencias Biomédicas	6,5
PROFESORES CONSEJEROS	
Sr. Roberto Neira R. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,0
Dr. Nelson Días P. Profesor de Biología y Ciencias	6,5

**Santiago, Chile
2009**

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
METODOLOGÍA	7
Análisis estadístico	10
Análisis de datos de plantas de proceso	12
Análisis de datos laboratorio CETECSAL y FONDEF D98I1069	12
Análisis de los datos de EWOS	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Repetibilidad	13
Reproducibilidad	14
Variando operario y manteniendo condición de medición	14
Variando la condición de iluminación y manteniendo operario	14
Correlaciones entre método visual e instrumental	15
Relación entre contenido de astaxantina y color medido con ambos métodos	18
Relación entre contenido de lípidos y color medido con ambos métodos	19
Modelos y áreas de medición de fotocolorímetro	19
CONCLUSIONES	22
BIBLIOGRAFÍA	23

RESUMEN

El color de la carne de salmónidos es uno de los parámetros de calidad más importante, pero su medición es compleja. En el presente estudio se evaluaron los sistemas de medición visual (cartilla Roche™ y regla *Salmofan*™) e instrumental (fotocolorímetro triestímulo Minolta Chroma Meter™) del color de la carne en salmónidos.

Se estudió la precisión (repetibilidad y reproducibilidad) de ambos métodos, la relación entre estos y la relación entre la medición de color con el contenido de pigmento y lípidos. Además, se comparó la variabilidad entre dos fotocolorímetros con distinta área de medición.

La precisión de ambos métodos se evaluó en tres plantas de proceso ubicadas en Chiloé, midiendo filetes de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y salmón del Atlántico (*Salmo salar*) en forma repetida y aleatoria. Las mediciones se hicieron con la luz normal de la planta y luz D65 en cabina de iluminación controlada. El efecto del área de medición de los fotocolorímetros se evaluó sobre filetes de salmón del Atlántico en el centro Colaco de la empresa EWOS S.A. La relación entre contenido de pigmento, de grasa y color se midió en filetes de salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*) con ambos sistemas en el laboratorio de la empresa CETECSAL S.A. Además se analizó un set de datos de un proyecto FONDEF previo, en el cual se midió color, astaxantina y lípidos en “steaks” de salmón Coho.

La repetibilidad del instrumento fue significativamente mayor a la cartilla Roche™ en la medición de trucha arcoíris y salmón del Atlántico. Las mediciones de salmón del Atlántico con regla *SalmoFan*™ no presentaron diferencias significativas con el instrumento. La reproducibilidad de la medición visual no presentó diferencias significativas al cambiar operarios ni al variar el tipo de luz.

Las correlaciones entre ambos sistemas de medición de color, y de estos con el contenido de astaxantina y lípidos fueron de baja a mediana magnitud fluctuando entre 0 a 0,62, 0,07 a 0,57 y 0,01 a 0,63 respectivamente. Se concluye que la medición de color es un mal predictor del contenido de astaxantina, independiente del método utilizado.

El fotocolorímetro de 50 mm de área de medición, para a^* , b^* y C^* presentó una variabilidad (C.V. $a^* = 6\%$, $b^* = 7\%$ y $C^* = 6\%$) significativamente menor al de 8 mm (C.V. $a^* = 20\%$, $b^* = 16\%$ y $C^* = 16\%$). Para comparar resultados de medición de color, debe tomarse en cuenta el área de medición del fotocolorímetro utilizado, pues estos no son equivalentes.

Palabras claves: Color Salmónidos, fotocolorímetro, *Oncorhynchus mykiss*, *Oncorhynchus kisutch*, *Salmo salar*.

ABSTRACT**Evaluation of two color measurement systems in salmonid fillets**

Visual color with Roche™ card and Roche Salmofan™ ruler was compared with instrumental color (Minolta Chroma Meter™) measured in salmonid fillets. Precision (as repeatability and reproducibility) of methods, relationship between visual and instrumental measurements, and relationship between color, astaxanthin and lipid content were studied. In addition, variability between two colorimeters with different measurement area was compared.

Repeatability of instrumental method was significantly higher to Roche™ card in rainbow trout and Atlantic salmon samples. Measurements of Atlantic salmon fillet using Salmofan™ ruler did not show significant differences with the instrumental color measurements.

There was not significant differences in reproducibility of visual measurement in rainbow trout and Atlantic salmon when changing personnel neither when varying illumination source.

The relationship between both color systems, and between color systems, astaxanthin and fat content in Coho salmon ranged from low to medium magnitude (0-0.62, 0.07-0.57 and 0.01-0.63 respectively). It was concluded that fillet color is a bad predictor of astaxanthin content, irrespective of the method used.

Colorimeter with 50mm of measurement area, for a*, b* and C* showed a significant smaller variability compared with the 8mm area (C.V. a*=6, b*= and C*=7 v/s C.V. a*=16, b*=16 and C*=20). Measurement colorimeter area must be taken into account in order to compare results of color measurement .

Key words: Color Salmonids, Colorimeter, *Oncorhynchus mykiss*, *Oncorhynchus kisutch*, *Salmo salar*.

INTRODUCCIÓN

El color de la carne de los salmónidos es el parámetro de calidad más importante después de la frescura. La preferencia de los consumidores por colores rojo anaranjados más intensos, se asocian a un mejor sabor, mejor textura y mayor calidad, aun cuando el color del filete no tiene impacto sobre estos parámetros (Anderson, 2000). Este color se debe a la absorción y depósito de pigmentos carotenoides que los salmones silvestres obtienen al consumir pequeños crustáceos con el alimento, ya que ellos no son capaces de sintetizarlos; en el caso de los salmónidos cultivados los pigmentos deben ser agregados a la dieta (Christiansen *et al.*, 1995).

El pigmento más utilizado en salmonicultura es la astaxantina sintética, el contenido de ésta en la carne depende de la especie de salmón cultivado y de los diferentes requerimientos de color del salmón dependiendo del mercado al que va dirigido el producto. Este pigmento tiene un alto costo, en Chile alcanza a un 35 % del costo del alimento y entre un 15 a 18 % del valor de venta del salmón como producto final (Pokniak *et al.*, 2001). A pesar de los costos, los productores tienden a agregar más pigmento a la dieta que lo que necesitan para asegurar el color exigido por el mercado, este aumento en parte se debe a que hay diferencias en la capacidad de absorción de pigmento entre los distintos individuos de una misma especie, pero también a que la evaluación de color es muy compleja.

Para la industria salmonera es importante poder clasificar el salmón por color en forma rápida y económica (Christiansen *et al.*, 1995). Para lograr esto se usan fundamentalmente dos métodos para evaluar el color, uno basado en la comparación del color del filete con cartillas de color estandarizadas y el otro basado en la medición instrumental del color usando espacios de color predefinidos por la comisión internacional para la iluminación (CIE, 1986).

La medición visual del color es usada tanto para clasificar salmones en plantas de proceso para su posterior comercialización, como para medir color en estudios de investigación. Para la evaluación visual del color en Chile se usa la cartilla Roche™ o el abanico colorimétrico *SalmoFan*™, este último ha sido reemplazado por la regla *SalmoFan*™ por razones de manejo. La cartilla Roche™ tiene una gama de colores de 11 a 18, fue creada basada en salmón del Atlántico; el gran inconveniente de esta cartilla son las limitadas alternativas de color que presenta, y que ha llevado a utilizar colores intermedios no impresos tales como 16,5 o 17,5. *SalmoFan*™ (regla y abanico) se lanzó al mercado en 1997 para reemplazar a la cartilla Roche, tiene una gama más amplia de colores que va desde el 20 al 34, lo cual permite una mejor estimación de la coloración del filete (Pokniak *et al.*, 2001), sin embargo, a pesar de esto, la cartilla Roche se sigue utilizando en algunas plantas de proceso del país.

Este método, además de ser simple y rápido, es importante porque los consumidores deciden su compra en base a la apreciación visual del color del filete (Anderson, 2000). La evaluación visual tiene limitaciones, ya que 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 (Sigurgisladdottir *et al.*, 1997; Calvo, 1989). Es recomendable que la evaluación visual se lleve a cabo en el exterior, con luz de día y de cara al norte, pero por motivos prácticos dentro de las plantas de proceso se recomienda el uso de cabinas de iluminación controlada (Anderson, 2000).

El ojo humano es capaz de captar diferencias de color relativamente pequeñas, pero tiene habilidad limitada para separar matices cuando el color es muy 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 absoluto del color observado (Sigurgisladdottir *et al.*, 1997).

Una mayor concentración de pigmento en la carne de salmón implica una coloración más rojiza, sin embargo la relación entre el contenido de pigmento y la percepción del color no es lineal, disminuye cuando la concentración de astaxantina en el músculo llega a 3-6 mg·kg⁻¹ en trucha arco iris (Foss *et al.*, 1984; Torrisen *et al.*, 1989; Bjerkeng *et al.*, 1992) y a 8 mg·kg⁻¹ en salmón del Atlántico (Bjerkeng, 2000).

La medición instrumental se ha utilizado principalmente en estudios de investigación en la medición de carne fresca de salmón debido a que ofrece resultados objetivos, cuantitativos y a que sus resultados son independientes de la iluminación del lugar donde se lleva a cabo la medición. Los fotocolorímetros miden la luz reflejada por la muestra de músculo y la comparan con un estándar de calibración blanco, permitiendo representar el color en tres ejes o componentes de cromaticidad conocidos como espacios de color (Smith *et al.*, 1992). Los espacios de color usados para la medición de la carne de salmónidos son L*a*b* y L*C*h* (CIE, 1986), este último espacio de color permite una mejor comparación del color evaluado en relación con el percibido por el ojo humano (Bjerkeng, 2000). Está demostrado que a medida que el color rojo-anaranjado de los salmónidos es más intenso, L* y h* disminuyen, mientras que a*, b* y C* aumentan (Nickel y Bromage, 1997; Christiansen *et al.*, 1995).

Choubert *et al.* (1992), encontraron correlaciones altas entre la concentración de pigmento en músculo de trucha arco iris con h* (r = -0.9), L* (r = -0.84) y C* (r = 0.95). Sin embargo, Christiansen *et al.* (1995) señalan que en salmón del Atlántico el instrumento no puede discriminar las diferencias en color medido en el filete cuando la concentración de pigmento supera los 3 a 4 mg·kg⁻¹ cuando se mide el color directamente sobre el filete. Para esta especie no encontraron relación lineal entre concentración de pigmento y los valores obtenidos con fotocolorímetro en los espacios de color L*a*b* y L*C*h*. Los valores de a* comienzan a disminuir su tasa de incremento cuando la concentración de pigmento sobrepasa los 3 a 4 mg·kg⁻¹, lo mismo ocurre con h* a concentraciones sobre 2 a 3 mg·kg⁻¹. L* presenta una correlación baja y negativa con la concentración de carotenoides mientras que C* y b* presentan gran variación para cualquier concentración de astaxantina estudiada.

El método visual tiene correlaciones más altas que el fotocolorímetro cuando la concentración de pigmento aumenta; sin embargo, ninguno de los dos métodos es un buen predictor de la concentración de pigmentos (Christiansen *et al.* 1995).

Para que el sistema instrumental preste mayor utilidad, no basta sólo con la objetividad, sino que además este método debe ser más preciso que las evaluaciones visuales realizadas con cartilla o regla. Se entiende por precisión el grado de concordancia entre los resultados de ensayos independientes obtenidos en condiciones preestablecidas. El VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) no considera este concepto, las tendencias actuales han sustituido este concepto por repetibilidad y reproducibilidad (*MetAs*©, 2003a). La repetibilidad se define como la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición; las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar y con repetición en un periodo corto de tiempo (*MetAs*©, 2003b). La reproducibilidad se define como la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian, donde una declaración válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición usada (*MetAs*©, 2003b).

También es deseable que los distintos parámetros que entrega el fotocolorímetro muestren una alta correlación con la medición visual, de manera que sea posible relacionar estos parámetros con la percepción visual del color. En condiciones de laboratorio se ha encontrado una alta correlación entre la medición instrumental y la clasificación visual realizada con personal especializado. Araneda (2003) encontró bajas correlaciones entre las variables visuales e instrumentales en salmón Coho ($-0,04 \leq r \leq 0,19$) con excepción de luminosidad (L^*), estudio en el cual no se ocupó un panel experimentado para realizar la medición de color.

La mayoría de las investigaciones realizadas en pigmentación de salmónidos apuntan a cuantificar el componente rojo del músculo (a^*). Sin embargo, se ha observado una mayor relación entre el valor del tono ($h^* = \tan^{-1} [b^*/a^*]$) y las mediciones visuales, que sólo considerando los valores de cromaticidad rojo (a^*) o amarillo (b^*) por separado (Araneda, 2003).

Para comparar resultados de medición de color, además de tomar en cuenta los factores antes mencionados deben considerarse otras variables que afectan el color, como son el contenido de lípidos y la especie de salmónido evaluada. Si el filete tiene un alto contenido de lípidos, la grasa intramuscular que carece de pigmento puede enmascarar la percepción del color (Torrissen *et al.*, 1989; Christiansen *et al.*, 1995). Al respecto Bjerkgeng (2000), señala que a iguales niveles de astaxantina, un mayor contenido de grasa en el músculo arroja valores mas altos de a^* y b^* , pero el color es menos rojo y mas amarillento. Nickel y Bromage (1997), no encontraron diferencias significativas en el color al incrementar los lípidos en la dieta, aunque si fueron observados colores mas intensos y tonos más rojos en los filetes de salmónes alimentados con niveles de lípidos mas altos.

Existen grandes diferencias entre las especies de salmónidos en la capacidad de absorber y depositar astaxantina en el músculo, la trucha arcoiris es mucho más eficiente que salmón Coho y este, a su vez, es mas eficiente que salmón del Atlántico (Almendras y Sabelle, 2000). Por esta razón, los valores ideales de color para cada una

de estas especies es diferente, alrededor de 32-34 o 16,5-17 para trucha, 30 o 16-16,5 para salmón Coho y 26 o 14,5-15 para salmón del Atlántico, correspondiendo el primer valor al *Salmofan*TM y el segundo a la cartilla Roche (Anónimo, 2004).

La coloración también puede ser afectada por factores como el sexo, grado de madurez sexual, tasa de crecimiento (Torrissen y Naevdal, 1988) y el tamaño corporal del salmón (Spinelli y Mahnken, 1978; Araneda, 2003).

Hipótesis

La medición visual e instrumental del color muestran una buena correlación entre si, que permite optimizar la utilización del fotocolorímetro en la evaluación del color en salmónidos.

Objetivo general

Evaluar los sistemas visual e instrumental en la medición del color en salmónidos bajo distintas condiciones ambientales.

Objetivos específicos

- Evaluar la precisión (repetibilidad y reproducibilidad) de los resultados de la medición de color con el método visual utilizando la cartilla de color y la regla *SalmoFan*TM de RocheTM.
- Evaluar la repetibilidad de los resultados de las mediciones con un fotocolorímetro de mayor área de medición (50mm) que el usado tradicionalmente (8mm).
- Determinar el efecto del área de medición del fotocolorímetro sobre la variabilidad de la medición del color.
- Determinar las correlaciones entre los resultados de la medición visual y los componentes de la medición instrumental del color.
- Determinar las correlaciones entre contenido de pigmento, contenido de lípidos y color medido visual e instrumentalmente.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en la X Región, se utilizó información de cuatro fuentes para cumplir con los objetivos específicos planteados, los que se describen a continuación:

1) En el laboratorio de CETECSAL S.A. ubicado en Castro, Chiloé, se realizó la medición visual e instrumental del color de 50 filetes de salmón Coho. La medición de color en estos peces se tomó en el sector equivalente al corte noruego, considerado representativo de la composición química del pez (Sigurgisladottir *et al.*, 1997).

La medición visual la realizó un operario experimentado perteneciente al laboratorio utilizando la regla de color *SalmoFan*TM y cartilla de color RocheTM (escala 11-18). Se tomó una medición por filete y se ocupó solo el filete derecho de cada pescado (figura 1).

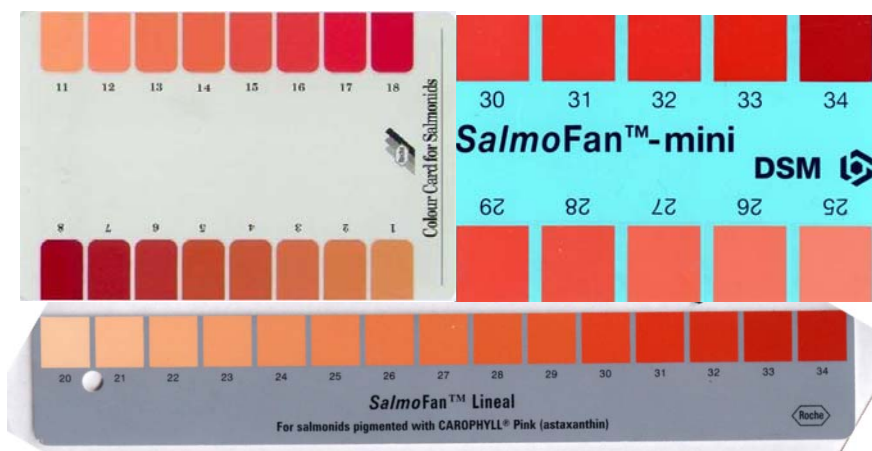


Figura 1 Cartilla RocheTM (izquierda), *SalmoFan*TM mini (derecha) y regla *SalmoFan*TM (abajo). Foto gentileza de C. Araneda.

La medición instrumental se realizó con fotocolorímetro de triestímulo Minolta Chroma MeterTM modelo CR-410 que tiene un área de medición de 50 mm. Los espacios de color utilizados fueron $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$, estos parámetros los entrega directamente el instrumento.

El primer espacio de color L^* define luminosidad, a^* corresponde al eje de cromaticidad rojo-verde y b^* al eje de cromaticidad amarillo-azul. En el caso del segundo espacio de color, L^* también define la luminosidad, C^* saturación o pureza del color y h^* al tono (CIE, 1986), (figura 2).

Las mediciones de color con ambos métodos se llevaron a cabo en la sala de muestreo, esta tiene una iluminación que equivale a D65 (Luz día con temperatura absoluta de 65000 °K). Además a estos filetes se les realizó análisis de pigmento y lípidos por

espectroscopia del infrarrojo cercano (NIR) en el mismo laboratorio. Las muestras para estos análisis químicos se tomaron del mismo filete y sector donde fue medido el color.

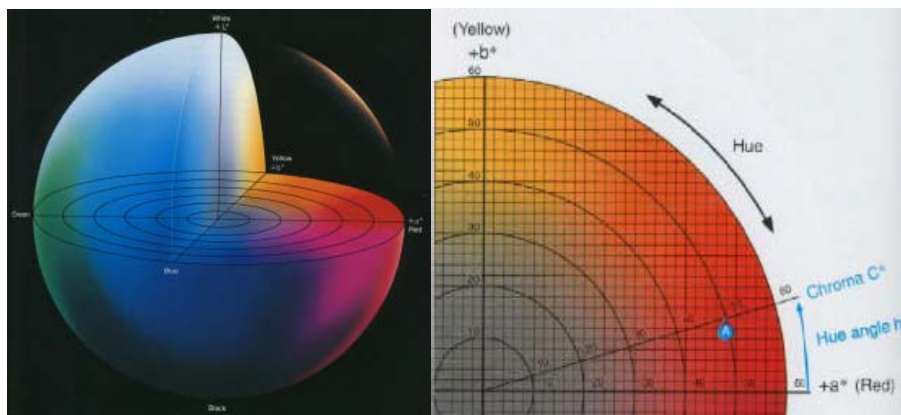


Figura 2 Espacio de color $L^*a^*b^*$ (izquierda) y Espacio de color $L^*C^*h^*$ (derecha), según CIE (1986).

2) En tres plantas de proceso ubicadas en la isla de Chiloé (Unimarc, Aguas Claras y Yadrán), se midió color de filetes de distintas especies de salmónidos con ambos métodos. Se midieron 30 filetes por planta y la medición visual la realizaron dos operarios entrenados en la clasificación y que trabajaban dentro de la planta utilizando la cartilla estandarizada que se ocupa normalmente en cada una de estas. Los nombres de las plantas serán reemplazados por las letras A, B y C no correspondiendo necesariamente al orden de nombres entregado anteriormente.

Las especies y cartillas de color utilizadas en cada planta correspondieron a:

- Planta A, 30 filetes de trucha arco iris medidos con cartilla Roche™.
- Planta B, 30 filetes de salmón del Atlántico medidos con *SalmoFan*™.
- Planta C, 30 filetes de salmón del Atlántico medidos con cartilla Roche™.

Cada operario realizó cuatro mediciones por filete en sector equivalente al corte noruego, las dos primeras en las condiciones de iluminación en que se clasifica normalmente en la planta, en la que los filetes debidamente identificados se le entregaron al azar para cada medición. Este procedimiento a su vez se repitió dentro de una cabina de iluminación controlada equipada con luz D65.

Además para estos filetes se tomaron dos mediciones con el fotocolorímetro triestímulo Minolta Chroma Meter™ modelo CR-410, una en las condiciones normales de luz una vez terminadas las dos mediciones visuales de ambos operarios y otra dentro de la cabina de iluminación controlada, también al finalizar las mediciones visuales.

Para las mediciones con fotocolorímetro en laboratorio y plantas de proceso, el equipo fue calibrado con baldosa blanca para luz D65 antes de empezar a medir en cada condición de iluminación. Los espacios de color utilizados fueron $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$,

los que entregó directamente el fotocolorímetro, la medición se realizó en el mismo sector en que se midió visualmente.

3) En las instalaciones de la empresa EWOS S.A., centro Colaco ubicado a 60 Km. de Puerto Montt se midió 40 filetes de salmón del Atlántico, estos se dividieron en tres secciones, la primera corresponde al sector cercano a la cabeza, la segunda al sector equivalente corte noruego y la tercera a la cola (Figura 3). Para esto se ocupó el fotocolorímetro Minolta Chroma Meter™ modelo CR-410 que tiene un área de medición de 50 mm y los modelos CR-300 y CR-400 ambos con un área de medición de 8 mm.

Cada medición por sector con el CR-410, CR-400 y CR-300 correspondió al promedio de tres lecturas del fotocolorímetro sobre el mismo punto. Con los modelos CR-410 y CR-300 se tomó una medición por sector. Además con los modelos CR-400 y CR-300 se tomaron dos mediciones por sector, las que fueron promediadas. El espacio de color utilizado fue $L^*a^*b^*$, y a partir de este se calcularon C^* ($C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$) y h^* ($h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$).

Figura 3. Sectores de las mediciones con fotocolorímetros CR 300, CR 400 y CR 410. Los círculos muestran los lugares en que se tomó una medición con los modelos CR-410 y CR-300. Además, dentro de estos mismos se tomó dos mediciones con los modelos CR-300 y CR-400.



4) Se analizaron datos provenientes del proyecto FONDEF D9811069 (Director: Dr. Roberto Neira), los cuales se obtuvieron de 381 "steaks" de salmón Coho. Estos datos corresponden a mediciones visuales realizadas por dos operarios con cartilla Roche escala 1-8, 11-18 y abanico colorimétrico *Salmofan*™ en cabina de iluminación controlada con luz D65 y medición instrumental con fotocolorímetro Minolta Chroma Meter™ CR 300. Todas las mediciones se realizaron sobre el corte noruego. Además, se cuenta con la información de contenido de astaxantina, lípidos, humedad y color con cartilla Roche realizado en el laboratorio de control de calidad de Productos Roche Ltda.

Análisis estadístico

Los datos recopilados se analizaron bajo un diseño completamente al azar, siendo la unidad muestral un filete por pescado para las tres primeras fuentes detalladas en la metodología y un “steak” por pescado para la cuarta fuente.

Previo al análisis de datos para todas la variables visuales e instrumentales se comprobó su distribución normal por medio de una prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1974). Cuando los datos de ambas variables a correlacionarse presentaron distribución normal se utilizó el coeficiente de correlación paramétrico de Pearson para determinar su asociación lineal. En caso de que al menos una de la variables correlacionadas no presentara distribución normal se utilizó como medida de asociación el coeficiente de correlación no-paramétrico de Sperman (Norman y Streiner, 1996).

Para comparar dos coeficientes de correlación entre si, se utilizó la transformación Z, con el fin de utilizar la distribución normal estándar para estimar si la magnitud de los coeficientes de correlación son iguales o distintos. La formula de la prueba estadística utilizada se muestra a continuación:

$$Z_{\text{cal}} = \frac{Z_1 - Z_2}{\sqrt{[1/n_1 - 3] + [1/n_2 - 3]}}$$

Donde: $Z_1 = 0,5 \ln[(1 + r_1)/(1 - r_1)]$

y $Z_2 = 0,5 \ln[(1 + r_2)/(1 - r_2)]$

Con r_1 y r_2 siendo los coeficientes de correlación a compararse y n_1 y n_2 el número de pares de datos usados en el calculo de r_1 y r_2 .

En este caso, las hipótesis a contrastarse en este análisis son:

H_0 : $\rho_1 = \rho_2$, es decir, ambos coeficientes de correlación son iguales.

H_1 : $\rho_1 \neq \rho_2$, es decir, los coeficientes de correlación son distintos

El valor de Z calculado en este análisis (Z_{cal}) se compara con el valor de Z de la tabla de distribución normal al nivel α seleccionado de 0,05 o 5%. Si el valor calculado es mayor que el de la tabla, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Para comparar promedios entre si, se utilizó la prueba t de Student. En esta prueba las hipótesis son:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (Los promedios son iguales)

$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$ (Los promedios son distintos)

La formula de t de Student asumiendo varianzas iguales entre ambos grupos es:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{S_C \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

donde S_C es la desviación estándar común:

$$S_C^2 = \frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}$$

El valor de t de Student calculado se compara con el de el valor de la tabla de distribución t de Student al nivel α seleccionado del 5% y $(n_1 + n_2 - 2)$ grados de libertad. Si el valor calculado es mayor que el de la tabla, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Para comparar dos Coeficientes de Variación entre si, se utilizó una prueba F (Zar, 1974), en la que las las hipótesis son:

$H_0: CV_1 = CV_2$ (Los coeficientes de variación son iguales)

$H_1: CV_1 \neq CV_2$ (Los coeficientes de variación son distintos)

La formula de esta dócima es:

$$F = \frac{(S^2 \log) \text{ mayor}}{(S^2 \log) \text{ menor}}$$

Donde $(S^2 \log)$ corresponde a la varianza del logaritmo de los datos de color, mayor y menor corresponde al grupo con mayor y menor varianza respectivamente:

El valor de F calculado se compara con el valor de la tabla de distribución F de Fisher al nivel α seleccionado del 5%, con n mayor -1 y n menor -1 grados de libertad, donde n corresponde a los tamaños muestrales de los grupos con mayor y menor varianza. Si el valor calculado es mayor que el de la tabla, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Análisis de datos de plantas de proceso

Se estimó la repetibilidad de la medición visual por medio de la correlación entre la primera y segunda medición de un mismo operario que se realizó bajo igual condición de luz (en línea de proceso o cabina de iluminación controlada). Para el sistema instrumental de medición de color se correlacionaron las mediciones hechas en cabina con las hechas en línea de proceso.

Se estimó la reproducibilidad del método visual correlacionando las mediciones realizadas por los diferentes operarios de una misma planta de proceso, que hayan sido tomadas en igual condición y sobre las mismas muestras de filetes, y correlacionando las mediciones de un mismo operario realizadas en diferente condición de iluminación.

La relación entre ambos métodos se obtuvo de la correlación entre el promedio de las medidas del fotocolorímetro y el promedio de las mediciones de cada operario en una condición de luz determinada.

Análisis de datos laboratorio CETECSAL y FONDEF D98I1069

Se estimaron las correlaciones entre los datos obtenidos con regla *Salmofan*TM, cartilla Roche y fotocolorímetro. Además se correlacionaron los datos de cada medición con los resultados de análisis de lípido y contenido de pigmento.

Análisis de los datos de EWOS

Se compararon y correlacionaron los datos de las mediciones de los tres fotocolorímetros con que fueron tomadas las mediciones, en el caso en que se tomó dos mediciones por sector se utilizaron los promedios de estas para los análisis.

Para comparar dos coeficientes de correlación entre si, se utilizó la transformación Z descrita anteriormente.

Para comparar la variabilidad de las mediciones se estimaron los coeficientes de variación, que fueron comparados con la formula descrita previamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Repetibilidad

Los resultados de las correlaciones entre la primera y segunda medición de color realizada con el métodos instrumental y visual, con regla *Salmofan*TM o cartilla Roche para cada planta de proceso se muestra en el Cuadro 1.

En trucha arcoiris evaluada con cartilla Roche en la planta A se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre todas las correlaciones de las mediciones visuales e instrumentales, estas últimas presentaron correlaciones más altas, lo cual indica que la repetibilidad de las mediciones instrumentales fue superior a la medición visual, ya que una correlación más alta indica que las diferencias entre la primera y segunda fue menor, es decir, el orden en que fueron clasificados los filetes la primera y segunda vez fue similar.

Al medir color en salmón del Atlántico con regla *Salmofan*TM en la planta B sólo se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las correlaciones de las mediciones visuales e instrumentales al comparar a los operarios 1 y 2 en línea de proceso con L* y al operario 2 en línea con a*, donde las mediciones instrumentales presentaron correlaciones más altas. Las mediciones de los operarios en cabina no presentaron diferencia con los parámetros del fotocolorímetro, es decir, se observó que la repetibilidad de la medición visual con *Salmofan*TM realizada en cabina de iluminación controlada fue similar a la obtenida con fotocolorímetro.

Cuadro 1. Correlaciones entre primera y segunda medición de cada operario bajo una misma condición de luz y correlación entre mediciones en línea de proceso y en cabina de iluminación controlada con fotocolorímetro.

Planta de proceso	Línea de proceso		Cabina iluminación controlada		L*	Medición instrumental Fotocolorímetro			
	Operario1	Operario2	Operario1	Operario2		a*	b*	C*	h*
A	0,48b	0,52b	0,39b	0,44b	0,95a	0,95a	0,93a	0,94a	0,95a
B	0,74c	0,80cb	0,82abc	0,88abc	0,92a	0,90ab	0,82abc	0,87abc	0,79bc
C	0,54de	0,44e	0,68cde	0,00f	0,88ab	0,92a	0,77bcd	0,86ab	0,80bc

Letras diferentes en cada fila indica que existen diferencias significativas ($P < 0,05$).

En la planta C, donde se midió salmón del Atlántico con cartilla Roche, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las mediciones visuales del operario 1 en línea de proceso con L*, a*, C* y h*, y en cabina con L*, a* y C*. Para el caso del operario 2 tanto en línea y cabina presentó diferencias significativas con L*, a*, b*, C* y h*. Las correlaciones mas bajas correspondieron a las observadas entre las mediciones visuales

realizadas por ambos operarios. Esto permite determinar que la repetibilidad fue superior para el fotocolorímetro en relación con la cartilla Roche.

Es importante destacar que el operario 2 de la planta C llevaba alrededor de un año sin realizar mediciones y que las primeras mediciones se hicieron en cabina de iluminación controlada donde la correlación entre ambas mediciones tomadas por el fue de cero, de lo cual se deduce la importancia del entrenamiento y la práctica en el caso de la medición visual.

Reproducibilidad

Variando operario y manteniendo condición de medición

Al analizar las correlaciones entre operarios bajo una misma condición de luz se observó que bajo la iluminación de la línea de proceso en que se realiza la clasificación normalmente en la planta, y en cabina de iluminación controlada no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en ninguna de las tres plantas, excepto en el caso del operario 2 de la planta C (Cuadro 1).

Al comparar los promedios de las mediciones de ambos operarios, en trucha arcoiris en la planta A, se encontraron diferencias superiores a medio punto en la cartilla Roche™ al medir en línea de proceso. Estas diferencias desaparecen en la medición en cabina de iluminación controlada (Cuadro 2). Es importante destacar que con la cartilla Roche se usan puntajes intermedios en la clasificación, a pesar de que no están impresos. Si bien estas diferencias en puntaje no son estadísticamente significativas, si pueden traducirse en diferencias en la clasificación y por ende en el valor comercial de los filetes.

En las plantas B y C donde se midió salmón del Atlántico con regla *Salmofan*™ y cartilla Roche respectivamente, no se observaron diferencias significativas en los promedios de ambos operarios, tanto en línea como en cabina.

Cuadro 2. Promedios de las mediciones de cada operario bajo diferentes condiciones de iluminación

planta	Línea de proceso				Cabina iluminación controlada			
	Operario 1		Operario 2		Operario 1		Operario 2	
A	15,4	15,3	14,5	14,5	15,6	15,7	15,6	15,5
B	27,6	27,6	27,9	27,5	27,9	28,2	27,7	28,1
C	15,1	15,1	15,5	15,6	16,0	15,9	15,6	15,8

Variando la condición de iluminación y manteniendo operario

Las correlaciones de las mediciones de un mismo operario realizadas bajo diferentes condiciones de iluminación no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en

ninguna de las tres plantas de proceso con la excepción nuevamente del operario 2 de la planta C, por las razones ya expuestas (Cuadro 1). Aún así, los promedios de las mediciones en la planta A, donde se midió trucha arcoiris con cartilla Roche™ mostraron diferencias de un punto al comparar la mediciones del operario 2 en cabina y en línea de proceso (Cuadro 2). En el caso del operario 1 la variación fue mínima.

En salmón del Atlántico el valor de las mediciones varió en menos de un punto con la regla *Salmofan*™ en la planta B, mientras que en la planta C al usar cartilla de Roche™ en la misma especie, los promedios de las mediciones variaron en más de medio punto al comparar las mediciones del operario 1 en cabina y en línea de proceso (Cuadro 2). En el caso del operario 2 la variación es menor a medio punto.

Correlaciones entre método visual e instrumental

Las correlaciones entre el método visual con cartilla Roche y regla *Salmofan*™ y cada parámetro del fotocolorímetro se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Correlaciones entre la medición visual y parámetros de la medición instrumental del color del filete en distintas especies de salmónidos

Medición	visual			Medición instrumental			
	Especie	Lugar	Cartilla	L*	a*	b*	C*
Trucha arcoiris	planta A CETECSAL	Roche	-0,46a	0,21b	0,00abcd	0,12bcd	-0,25cd
		Roche	-0,48a	0,41ab	0,05abc	0,25abc	-0,56abc
		<i>Salmofan</i>	-0,48a	0,52a	0,11ab	0,34abc	-0,62a
salmón del Atlántico	planta B	<i>Salmofan</i>	-0,32a	0,61a	0,38a	0,53a	-0,31cd
	planta C	Roche	-0,47a	0,59a	0,36ab	0,51ab	-0,32cd
salmón Coho	CETECSAL	Roche	-0,12b	0,27b	-0,01bc	0,13cde	-0,28cd
		<i>Salmofan</i>	-0,23b	0,06c	-0,22cd	-0,09de	-0,40bcd
	proyecto FONDEF	Roche	-0,36a	-0,07d	-0,27d	-0,17d	-0,55abc
		<i>Salmofan</i>	-0,33b	-0,07d	-0,29d	-0,18d	-0,61ab

Letras diferentes en cada columna indica que existen diferencias significativas ($p < 0.05$).

Es importante destacar que los “steaks” de salmón Coho fueron medidos con fotocolorímetro modelo CR 300 cuya área de medición es de 8 mm de diámetro, a diferencia del resto de las muestras que fueron medidos con el modelo CR 410, con un área de medición de 50 mm de diámetro.

Se obtuvieron correlaciones de mediana a baja magnitud entre L* y las distintas mediciones visuales (Cuadro 3). Sin embargo, las correlaciones entre las mediciones visuales y L* obtenidas para trucha arcoiris medidas en CETECSAL con regla *Salmofan*™ y cartilla Roche son significativamente superiores ($p < 0,05$) a las obtenidas

en filetes de salmón Coho medidos en esta misma empresa y a las correlaciones entre *Salmofan*TM y L* obtenidas de los “steaks”. Todas las correlaciones a pesar de su baja magnitud fueron negativas, lo que coincide con los resultados de Nickell y Bromage (1997) y Christiansen *et al.* (1995) quienes observaron que a medida que el color rojo anaranjado de los salmónidos se hace más intenso L* disminuye.

Las correlaciones entre el parámetro a* y las mediciones visuales mostraron gran variabilidad entre especies y escalas de color utilizadas. Todas fueron positivas excepto las obtenidas de las mediciones de los “steaks” de salmón Coho realizadas con ambas cartillas de color (Cuadro 3); hallazgo que difiere de lo encontrado por Nickell y Bromage (1997) y Christiansen *et al.* (1995) quienes indican que a mayor intensidad del color, el valor de a* aumenta lo que se traduce en una correlación positiva entre ambos parámetros. En el caso específico de estas muestras, esta correlación negativa podría explicarse porque estos salmones Coho presentaron la coloración más alta y se ha comprobado que cuando el color se hace más intenso en el músculo, la visión pierde habilidad para captar las diferencias de matices y por lo tanto las correlaciones son más bajas (Sigurgisladottir *et al.*, 1997).

Las truchas arcoiris medidas en CETECSAL y los filetes de salmón del Atlántico medidos en las plantas de proceso B y C presentaron las correlaciones más altas entre a* y las mediciones visuales como se observa en el Cuadro 3 ($r = 0,52$; $r = 0,61$ y $r = 0,59$, respectivamente). Las correlaciones entre a* y *Salmofan*TM para trucha arcoiris (CETECSAL), y entre a* con *Salmofan*TM y cartilla Roche para salmón del Atlántico (plantas B y C, respectivamente) son significativamente superiores a las correlaciones entre a* y ambos estándares visuales obtenidas para salmón Coho (filetes y “steaks”). Las truchas arcoiris medidas en la planta A también presentaron correlaciones de menor magnitud entre a* y las mediciones visuales al compararlas con las obtenidas en CETECSAL, y las plantas B y C.

En las mediciones de trucha en CETECSAL las correlaciones de a* con cartilla Roche fueron significativamente superiores ($p < 0,05$) a las mediciones con *Salmofan*TM en filetes y “steaks” de salmón Coho y a las mediciones con cartilla Roche en “steaks” de esta misma especie.

Las correlaciones entre el parámetro b* y la medición visual con ambas cartillas fueron muy variables, presentando correlaciones negativas y positivas (Cuadro 3). Se esperaba que las correlaciones con este parámetro fueran todas positivas, porque al aumentar el color en los salmónidos b* aumenta (Nickell y Bromage, 1997 y Christiansen *et al.*, 1995). Estas diferencias podrían deberse a los distintos contenidos de grasa, ya que a un mayor nivel de grasa e igual nivel de pigmentación, el músculo presenta un color más amarillento (Bjerkeng, 2000).

En salmón del Atlántico de las plantas B y C se encontraron diferencias significativas en las correlaciones entre el parámetro b* y las mediciones con *Salmofan*TM y cartilla Roche, al ser comparadas con las correlaciones obtenidas en filete y “steak” de salmón Coho. La correlación de b* con cartilla Roche medidas en truchas en CETECSAL presentaron diferencias significativas con las correlaciones obtenidas entre ambas escalas y el parámetro b* de los “steaks” de salmón Coho.

El parámetro C* presentó correlaciones bajas y variables con la medición visual, siendo todas positivas excepto las correlaciones con las mediciones realizadas en filetes y “steaks” medidos con ambas cartillas en salmón Coho (Cuadro 3). Esto puede deberse a la variabilidad que presentan a* y b*, ya que, C* se calcula sobre la base de estos parámetros y es en esta especie donde estos parámetros mostraron mayor variación. Se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las correlaciones entre C* y las mediciones visuales en salmón del Atlántico y trucha arcoiris, respecto de salmón Coho, donde las correlaciones de mayor magnitud las presentaron las dos especies mencionadas primero.

Las correlaciones entre las mediciones visuales de color y h* fueron variables, y todas fueron negativas (Cuadro 3), lo que coincide con lo encontrado por Nickell y Bromage (1997) y Christiansen *et al.* (1995) quienes indican que a medida que el color se intensifica el valor de h* disminuye.

Las correlaciones entre la medición visual y h* fueron negativas en todas las situaciones y fue mayor ($p < 0,05$) en magnitud en las truchas medidas con *Salmofan*TM en CETECSAL. Las mediciones con *Salmofan*TM de “steak” de salmón Coho mostraron correlaciones con h* de magnitud superiores a las de salmón del Atlántico de las plantas B y C y a salmón Coho medido en CETECSAL con cartilla Roche. Las magnitudes de las correlaciones de h* y las mediciones de trucha arcoiris en CETECSAL con cartilla Roche fueron significativamente superiores a las truchas medidas en la planta A y salmón Coho medido en CETECSAL con cartilla Roche. Las correlaciones de h* y las mediciones de “steak” de salmón Coho con cartilla de Roche solo fueron superiores a salmón Coho de CETECSAL medido con cartilla Roche.

En general, las correlaciones más altas entre las variables instrumentales y la medición visual correspondieron a trucha arcoiris medida en CETECSAL, esto podría explicarse por el color visual más bajo medido en estas, lo que mejoraría la percepción del color, ya que la visión humana distingue mejor los colores menos intensos (Sigurgisladottir *et al.*, 1997) y así habría una menor distorsión respecto al color medido por el instrumento.

Las diferencias que se produjeron con los salmones medidos en el proyecto FONDEF, podrían deberse a que estas mediciones fueron hechas en “steaks” a diferencia del resto que fue hecho en filete, estos salmones presentaron la coloración más alta medida visualmente y se usó un modelo diferente de fotocolorímetro. Las correlaciones entre la medición de color visual e instrumental en estos “steaks” son similares a las obtenidas por Moreira P. (2004)¹ en las tres especies, donde se midió color visualmente con cartilla Roche e instrumentalmente con un fotocolorímetro modelo CR 300 utilizando los parámetros L*, h* y C*.

¹ Moreira Patricia, Lic. Ingeniería Agronómica. Comunicación personal

Relación entre contenido de astaxantina y color medido con ambos métodos

En filetes de salmón Coho las correlaciones entre el contenido de astaxantina y medición de color fueron de mediana magnitud para regla *Salmofan*TM, cartilla Roche, a*, b* y C*, no presentándose diferencias significativas ($p < 0,05$) entre estas (Cuadro 4). La correlación entre L* y concentración de astaxantina en filetes fue de baja magnitud pero positiva, discrepando de lo señalado por Nickell y Bromage (1997) y Christiansen *et al.* (1995), quienes encontraron que a mayor contenido de pigmento L* disminuye. Esta correlación entre L* y contenido de astaxantina presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con cartilla Roche, a* y C*, mientras que h* presentó una correlación cercana a cero y diferente con todas las variables a excepción de L*.

Cuadro 4. Correlaciones entre la medición de color en filete y steak de salmón Coho con sistema visual e instrumental y contenido de astaxantina.

Medición color	Contenido de Astaxantina (ppm.)	
	Filete	“Steak”
Roche TM	0,57a	0,31a
<i>Salmofan</i> TM	0,44ab	0,29a
L*	0,16bc	-0,09c
a*	0,52a	0,29a
b*	0,39ab	0,15b
C*	0,48a	0,23ab
h*	0,07c	-0,24ab

Letras diferentes en cada columna indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el caso de los “steaks” de salmón Coho, se presentaron correlaciones medias a bajas entre el contenido de astaxantina y el color medido con ambos métodos, donde L* presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con todos los demás parámetros y cartillas de color. Las correlaciones de *Salmofan*TM, cartilla Roche, a*, C* y h* no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en magnitud entre si, siendo esta última negativa. La correlación entre b* y el contenido de astaxantina en “steak” no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) en magnitud con las correlaciones observadas para C* y h*. Es importante considerar que un h* negativo implica un componente de color más rojo, a la inversa que a* y C*.

Christiansen *et al.* (1995) indican que a medida que aumenta la concentración de pigmento en el filete, la relación con el color medido con ambos métodos disminuye, esto podría explicar las bajas correlaciones obtenidas en este estudio.

Las diferencias observadas entre las correlaciones correspondientes a CETECSAL y el proyecto FONDEF, además de haber sido tomadas las primeras en filete y las segundas en “steaks”, pueden atribuirse a que fueron medidas con distintos modelos de fotocolorímetro. A pesar que los operarios que midieron color en el proyecto FONDEF no tenían entrenamiento, a diferencia del medidor de CETECSAL, que estaba entrenado y tiene basta experiencia en la medición de color, la tendencia esperada para las

correlaciones, es decir, que a medida que la concentración de pigmento aumenta L^* y h^* disminuyen y a^* , b^* y C^* aumentan se aprecia mejor en los “steak” de salmón Coho.

Relación entre contenido de lípidos y color medido con ambos métodos

Las correlaciones entre contenido de lípidos y color medido con cartillas y cada parámetro del fotocolorímetro se muestran en el cuadro 5. La bibliografía mayormente informa correlaciones altas entre el contenido de grasa y los parámetros fotocolorimétricos L^* y b^* . En el caso de las mediciones del presente estudio en filetes y “steaks” de salmón Coho las correlaciones fueron bajas y similares con excepción de la correlación para L^* en filete que fue significativamente superior al resto ($p < 0,05$). Esto no concuerda con lo encontrado por Menéndez A. (2005)² quien encontró correlaciones altas y significativas entre lípidos y la medición visual con ambas cartillas de color y la medición instrumental en todos los parámetros exceptuando a^* , que fue de menor magnitud. Las correlaciones entre lípidos y b^* fueron bajas, esto tampoco concuerda con Regost *et al.* (2001) y Menéndez A. (2005) quienes encontraron correlaciones altas y significativas entre estos parámetros.

Cuadro 5. Correlaciones entre la medición de color en filete y steak de salmón Coho con sistema visual e instrumental y contenido de lípidos.

Medición Color	Contenido de lípidos	
	Filete	“Steak”
Roche™	-0,07	0,03
<i>Salmofan</i> ™	0,01	0,04
L^*	0,63a	0,16
a^*	0,30	0,24
b^*	0,34	0,22
C^*	0,34	0,23
h^*	0,23	0,01

Letras diferentes en cada columna indica que existen diferencias significativas ($P < 0,05$).

Modelos y áreas de medición de fotocolorímetro

Los promedios y los coeficientes de variación de las mediciones realizadas en la empresa EWOS S.A. en filetes de salmón del Atlántico en las que se utilizaron tres modelos de fotocolorímetro (CR 300, CR 400 y CR 410) se muestran en el cuadro 6.

Al comparar los coeficientes de variación de los diferentes modelos, se observó que el modelo CR 410 presentó los coeficientes de variación más bajos para todos los parámetros, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) con los otros modelos con una o dos mediciones por sector en a^* , b^* y C^* . Ninguno de los modelos presentó

² Menéndez Ana Maria, Ingeniero Agrónomo. Comunicación personal

diferencias significativas ($p > 0,05$) en L^* . Los coeficientes de variación para a^* con los modelos CR 300 con una medición por sector y el CR 400 con dos mediciones por sector fueron significativamente superiores ($p < 0,05$) al coeficiente de variación del modelo CR 300 con dos mediciones por sector para este mismo parámetro.

Cuadro 6. Media y coeficiente de variación (%) de las mediciones realizadas con distintos modelos de fotocolorímetro en 40 filetes de salmón del Atlántico.

	Modelo	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
Media	CR 300 ²	46,56 ± 3,40	9,48 ± 4,01	17,44 ± 2,39	20,09 ± 3,95	62,26 ± 5,31
	CR 400 ²	42,27 ± 3,46	13,54 ± 2,17	17,02 ± 2,18	21,78 ± 2,91	51,55 ± 2,54
	CR 410	50,08 ± 2,93	28,37 ± 1,74	25,11 ± 1,86	37,91 ± 2,18	41,49 ± 2,01
	CR 300	46,60 ± 4,30	8,82 ± 1,78	18,24 ± 3,01	20,31 ± 3,21	64,11 ± 4,02
C. V.	CR 300 ²	7a	42c	14b	20b	9b
	CR 400 ²	8a	16b	13b	13b	5a
	CR 410	6a	6a	7a	6a	5a
	CR 300	9a	20b	16b	16b	6ab

² corresponden al promedio de dos mediciones por sector. Letras diferentes en cada columna indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

El modelo CR 410 tiene un área de medición de 50mm a diferencia de los modelos CR 300 y CR 400 que tienen un área de 8mm, esta diferencia explicaría los coeficientes de variación más bajos, ya que las pequeñas imperfecciones del filete, manchas de sangre o las vetas de grasa que son incoloras influyen menos en la lectura al utilizar un área de medición mayor.

Las correlaciones entre las mediciones realizadas con el modelo CR 410 y las medidas con los modelos CR 300 y CR 400 con una o dos mediciones por sector, no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre sí (Cuadro 7).

Cuadro 7. Correlaciones entre las mediciones realizadas con diferentes modelos de fotocolorímetro en 40 filetes de salmón del Atlántico.

	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
300 ² / 400 ²	0,95a	0,56ab	0,90a	0,70ab	0,74a
400 ² / 410	0,66bc	0,62ab	0,55bc	0,59bc	0,55ab
300 ² / 410	0,56c	0,45b	0,34c	0,43c	0,32b
300 ² / 300	0,44c	0,63ab	0,27c	0,48bc	0,33b
410 / 300	0,78b	0,74a	0,75b	0,80a	0,67a

El promedio de dos mediciones por sector se indica con ². Letras diferentes en cada columna indica que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las correlaciones más altas para todos los parámetros colorimétricos se presentó entre los modelos CR 400 y CR 300, tomando dos mediciones por sector, esto puede explicarse porque ambos modelos tienen igual área de medición (8mm) a diferencia del

modelo CR 410 (50mm); además se observó que las correlaciones fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) para L^* y b^* que para a^* , C^* y h^* , lo que se explicaría por la gran variabilidad en las mediciones realizadas con el modelo CR 300 de a^* , parámetro que afecta directamente los valores de C^* y h^* .

Las correlaciones entre una y dos mediciones por sector realizadas con el modelo CR 300 fueron medias a bajas, siendo a^* , C^* y L^* significativamente superiores ($p < 0,05$) a b^* y h^* .

CONCLUSIONES

La repetibilidad del fotocolorímetro y la regla *Salmofan*TM son prácticamente equivalentes (siendo mayor en el primero) tanto en línea de proceso como en cabina de iluminación controlada, pero ambos son muy superiores a la cartilla RocheTM. Por lo tanto, no es recomendable usar esta última cartilla para clasificar filetes.

Ambos estándares visuales (cartilla RocheTM o *Salmofan*TM) no tienen diferencia en su reproducibilidad, sin embargo, al utilizar cartilla RocheTM se presentaron diferencias de puntaje (no significativas), pero que si pueden ser importantes en la clasificación, por lo tanto, para la medición visual es recomendable utilizar esta última escala visual, ya que entrega resultados más precisos.

Los diferentes modelos y áreas de medición de los fotocolorímetros entregan valores significativamente diferentes al medir sobre un mismo filete. El instrumento con mayor área de medición presenta una variabilidad significativamente menor a la mostrada por los instrumentos con una menor área de medición. Por lo tanto es importante a la hora de comparar los resultados de mediciones instrumentales de color tomar en cuenta el área y modelo del fotocolorímetro y al optar por estos equipos para medición de color, utilizar el de mayor área.

No se puede utilizar el fotocolorímetro para lograr una clasificación de color objetiva que sea concordante a la realizada visualmente con cartilla RocheTM o regla *Salmofan*.

La medición de color visual e instrumental del color no puede utilizarse como un predictor de los contenidos de pigmento o lípido en filetes de salmónidos, en las condiciones evaluadas en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Almendras, F. y Sabelle, M. 2000. Guía práctica: Uso de pigmentos en salmónidos bajo Condiciones comerciales. Productos Roche Ltda., División Vitaminas, Departamento de Acuicultura. Puerto Montt, Chile.

Anderson, S. 2000. [on-line]. Salmon Color and the Consumer. Disponible en el WWW: <http://oregonstate.edu/dept/IIFET/2000/papers/andersons.pdf>. consultado 23 de noviembre de 2004.

Anónimo. 2004. El color del salmón una variable fundamental. *Salmonicultura*. 57 (6): 22.

Araneda, T. 2003. Variación fenotípica, genética y molecular asociada a la pigmentación de la carne en salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*). Tesis Dr. Ciencias Biomédicas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Medicina. 79p.

Bjerkeng, B., Storebakken, T. and Liaaen-Jensen, S. 1992. Pigmentation of rainbow trout from start feeding to sexual maturation. *Aquaculture* 108, 333-346.

Bjerkeng, B. 2000. Carotenoid pigmentation of salmonid fishes - recent progress progress. AKVAFORSK, Institute of Aquaculture Research AS, N-6600 Sunndalsora, Norway. p: 71-89.

Calvo, C. 1989. Medida sensorial. Correlación sensorial / instrumental. pp 49-64 In: El color en alimentos: medidas instrumentales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, dep. de Agroindustria y Tecnología de Alimentos. Publicaciones misceláneas agrícolas, N° 31, 1989. 96p

Christiansen, R., Struksnaes, G., Estermann, R. and Torrissen, O. 1995. Assessment of flesh colour in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* 26: 311-321.

Choubert, G., Blanc, J. and Courvalin, C. 1992. Muscle carotenoid content and colour of farmed rainbow trout fed astaxanthin or cathaxanthin as affected by cooking and smoke-curing procedures. *International Journal of Food Science and Technology* 27, 277-284.

CIE. 1986. Colorimetry. 2nd edition. Commission Internationale de l'Eclairage, publicación 15.2. Vienna, Austria. 83 pp.

MetAs©. 2003a. [on-line]. Boletín de La Guía MetAs. Año 3 # 11. Aplicación Metrológica de los Estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad). Disponible en el WWW: <http://www.metas.com.mx/guiamet/La-Guia-MetAs-03-11-r&R.pdf>. Citado: 15 de diciembre de 2004.

MetAs©. 2003b. [on-line]. Boletín de La Guía MetAs. Año 3 # 06. Criterios para declaración de conformidad. Disponible en el WWW: <http://www.metas.com.mx/guiamet/la-Guia-MetAs-03-06-Conf.pdf>. Citado: 15 de diciembre de 2004.

Nickell, D. and Bromage, N. 1997. Problems of pigmentation: lipids and maturation. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling FK9 4LA.

Norman G y D. Streiner. 1996. Bioestadística.: Mosby/Doyma, Madrid. 260 pp.

Pokniak, J., Cornejo, S., Bravo, I. and Battaglia, M. 2001. [On-line]. pigmentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) tipo mar alimentadas con dos niveles de astaxantina en dietas de crecimiento-engorda. Arch. Med. Vet., vol.33, no.2. p.155-164. Disponible en el WWW: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2001000200004&lng=es&nrm=iso. consultado 07 noviembre de 2004.

Regost, C., Arzel J., Cardinal, M. Laroche, M. & Kaushik, S.J. 2001. Fat deposition and flesh quality in seawater reared triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. Aquaculture 193, 325-345.

Sigurgisladdottir, S., Torrissen, O., Lie, Ø., Thomassen, M. and Hafsteinsson, H. 1997. Salmon quality: Methods to determine the quality parameters. Reviews in Fisheries Science, 5:223-252.

Smith, B., Hardy, R. and Torrissen, O. 1992. Synthetic astaxanthin deposition in pan-size Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Aquaculture, 104:105-119.

Spinelli, J. and Mahnken, C. 1978. Carotenoid deposition in pen-reared salmonids fed diets containing extracts of red crab (*Pleuroncodes planipes*). Aquaculture 13: 213.

Torrissen, O. and Naevdal, G. 1988. Pigmentation of salmonids - Variation in flesh carotenoids of Atlantic salmon. Aquaculture, 68:305-310.

Torrissen, O., Hardy, R. and Shearer, K. 1989. Pigmentation of salmonids- carotenoid deposition and metabolism. *CRC Crit. Rev. Aquat. Sci.* 1: 209-225.

Zar J., 1974. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, NJ. 620pp.