



# Efecto del calentamiento óhmico en la salazón de Salmón Atlántico

## Effect of ohmic heating in the salting of Atlantic Salmon

**Gabriel Cavada**<sup>1</sup>, alumno de 6to año  
**Nicolás Quiroz**<sup>2</sup>, ingeniero  
**Ricardo Simpson**<sup>2</sup>, profesor titular

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Técnica Federico Santa María

<sup>2</sup>Centro regional de estudios en alimentos saludables (CREAS)

\*Autor de correspondencia: ricardo.simpson@usm.cl

**Gabriel Cavada**<sup>1</sup>, 6th year student  
**Nicolás Quiroz**<sup>2</sup>, engineer  
**Ricardo Simpson**<sup>2</sup>, full professor

<sup>1</sup>Department of Chemical and Environmental Engineering, Universidad Técnica Federico Santa María

<sup>2</sup>Regional center for studies on healthy foods (CREAS)

\*Corresponding author: ricardo.simpson@usm.cl

## RESUMEN

Las ventas de salmón ocuparon el segundo lugar de las exportaciones de nuestro país durante el año 2014, superando US\$3.655 millones. Un porcentaje importante de las exportaciones de los distintos productos de salmón, corresponde a productos salados. El proceso de salado tiene como objetivo extender la vida útil y mejorar las propiedades organolépticas, sin embargo, a pesar de las características positivas que entrega este proceso, esta técnica presenta el inconveniente de emplear tiempos de procesamiento excesivos.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la aplicación de calentamiento óhmico (OH) en el tiempo de salado de salmón atlántico.

Para la experimentación las muestras de salmón se cortaron en pequeños bocados de forma cilíndrica y luego fueron salados por inmersión en una solución salina durante 24 horas. Este procedimiento fue replicado a diferentes concentraciones de salmuera (6%, 15%, 18% y 24% NaCl) con y sin calentamiento óhmico. El proceso fue controlado a 15 °C y con 5 Volts durante 24 horas, se pesaron las muestras y se midió la concentración de sal a diferentes tiempos de procesos. El color y la textura fueron medidos al inicio y final de cada experimento.

Los resultados muestran que el tratamiento óhmico no afecta la fenomenología de la cinética de salazón, sin embargo, se detectó una aceleración en el proceso de salado para las muestras tratadas con OH. Las pruebas de color y textura no presentaron diferencias significativas. En cuanto a la retención de agua, solo las muestras inmersas en salmuera al 24% muestran una caída de peso, mientras que para las otras concentraciones, el tratamiento OH provocó un aumento en la masa de cada muestra respecto de las pruebas realizadas sin OH.

*Palabras clave: salado, calentamiento óhmico, salmón atlántico.*

## ABSTRACT

Salmon sales ranked second in the exports of our country for 2014, with more than US\$3,655 million. Salted products account for a significant percentage of exports of the different salmon products. The salting process is intended for extending the shelf life and improving organoleptic properties. However, despite the beneficial traits provided by this process, this technique has the disadvantage of taking excessive processing times.

The goal of this research is to study the effect of applying Ohmic Heating (OH) in the salting time for Atlantic salmon.

For experimentation, salmon samples were cut in small cylindrical bits and were salted by dipping them in a salt solution for 24 hours. This procedure was replicated to different brining concentrations (6%, 15%, 18% and 24% NaCl) with or without Ohmic Heating. The process was controlled at 15 °C with 5 Volts for 24 hours, samples were weighed and salt concentration was measured at different processing times. The color and texture were measured at the beginning and end of each experiment. The results show that Ohmic treatment does not affect the phenomenology of the salting kinetics. However, an acceleration was detected in the salting process for samples treated by OH. Color and texture testing did not show significant differences. For water retention, the only samples that showed a weight decline were those that were dipped in brine at 24%, while for other concentrations, OH treatment resulted in an increase in the mass of every sample against the tests performed without OH.

*Keywords: salting, ohmic heating, atlantic salmon.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los usos de la sal por parte de los humanos se remonta a tiempos muy lejanos y en todas las culturas. El uso de la sal en los alimentos tiene como fin de prolongar su vida útil y también para realzar su sabor. La sal genera nuevas capacidades sensoriales en el paladar de los consumidores. Esta técnica se ha perfeccionado en el tiempo, generándose en la actualidad diversos protocolos de uso. El efecto conservante de la sal se debe a la disminución en la actividad del agua, reduciendo la posibilidad de ataque microbiano en tejidos animales y generando mejoras en las propiedades funcionales de estos, lo cual conduce a un aumento de la

## 1. INTRODUCTION

Salt use by humans traces back further in time and across cultures. Salt use in food aims at extending its shelf life and also enhancing its flavor. Salt gives rise to new sensory skills in consumer's taste. This technique has evolved over time, resulting in several usage protocols today. Salt's preservative effect arises from reduction in water activity, lowering the probability of a microbial attack in animal tissue and improving its functional properties, thus leading to a longer shelf life of the product. The main constraint for this technique is the long processing time to reach the proper salt concentration around the food. Typically, the salting

vida útil del producto. La principal limitante de esta técnica corresponde a los prolongados tiempos de proceso para alcanzar la concentración de sal adecuada en todo el alimento. Generalmente el proceso de salado se utiliza como un pre-tratamiento en productos de valor agregado de salmón. Por lo tanto es importante minimizar el tiempo de proceso de esta etapa. La salazón de salmón debe alcanzar niveles de sal sobre 3,5% para garantizar la inocuidad del alimento [1]. El calentamiento óhmico ha demostrado ser útil para mejorar la velocidad de secado y acelerar la deshidratación osmótica [2]. Se ha demostrado que la aplicación de un campo eléctrico moderado en carnes, genera el fenómeno de “electroporación” en el tejido acelerando significativamente el proceso de difusión de sal. [3], indicaron que cuando un tejido animal es expuesto a una corriente eléctrica moderada, aumenta la permeabilidad de la membrana plasmática celular, generándose poros a través de esta, lo que finalmente radica en la agilización del transporte de materia hacia el tejido.

El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la aplicación de calentamiento óhmico (OH) en la aceleración del proceso de salado de salmón atlántico.

## 2. EXPERIMENTACIÓN

### 2.1 Metodología

El salmón se cortó en muestras cilíndricas de 2,5 cm de diámetro y de alto, las cuales fueron inmersos en la salmuera, se utilizaron 4 concentraciones 6, 15, 18, y 24% (p/p). La metodología experimental consiste en una situación base, donde el proceso de salado en salmuera se llevó a cabo durante 24 horas a 15 °C con y sin la aplicación de calentamiento óhmico. Para el tratamiento usando calentamiento óhmico se utilizaron 5 V, generando una corriente de 0,2 A en la solución. Las mediciones experimentales se resumen en la **Tabla 1**.

### 2.2 Equipamiento experimental

La configuración experimental consiste en una celda cilíndrica de acero inoxidable donde cada cilindro actúa como un electrodo. Para mantener la temperatura se utiliza un baño termostático (BS-21 JEIO Tech, Korea). Termopares tipo T (cobre/constantan) se utilizaron para monitorear la temperatura en la solución y en las muestras.

process is used as a pre-processing stage for added value salmon products. Therefore, it is important to minimize the processing time of this stage. Salmon salting must reach salt levels over 3.5% to ensure the food's safety [1]. Ohmic Heating has proved to be useful for improving drying speed and accelerating osmotic dehydration [2]. Applying a moderate electric field on meat has proved to give rise to an “electroporation” phenomenon in tissue, significantly accelerating the salt diffusion process. [3], They indicated that when animal tissue is exposed to a moderate electrical current, cell plasma membrane permeability increases, forming pores through it, which ultimately lies on speeding matter transport towards the tissue.

The goal of this research is to study the effect of Ohmic heating application (OH) in accelerating the salting process of Atlantic salmon.

## 2. EXPERIMENTATION

### 2.1 Methodology

Salmon was cut in cylindrical samples of 2.5 cm diameter and height, which were dipped in brine, using 4 different concentrations 6, 15, 18, and 24% (p/p). The experimental methodology lies in a base situation, where the brine-salting process was conducted for 24 hours at 15 °C with or without Ohmic Heating application. 5 V were used for the processing with Ohmic Heating, generating a 0.2 A current in the solution. Experimental measurements are summarized in **Table 1**.

### 2.2 Experimental Equipment

Experimental setup consists of a stainless steel cylindrical cell, with each cylinder acting as an electrode. In order to maintain temperature, a shaking water bath is used (BS-21 JEIO Tech, Korea). Type T Thermocouples (copper/constantan) were used to monitor temperature both in the solution and the samples. Temperature data and voltage

**Table 1.** Experimental measurements and sampling times.

Measurements	Concentrations [%p/p]	Sampling times [h]
Salt Concentration	6 and 24	0, 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 8, 12, 14, 20 and 24
Changes in mass	6, 15, 18 and 24	0, 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 8, 12, 14, 20 and 24
Color	6, 15, 18 and 24	0 and 24
Texture	6, 15, 18 and 24	0 and 24



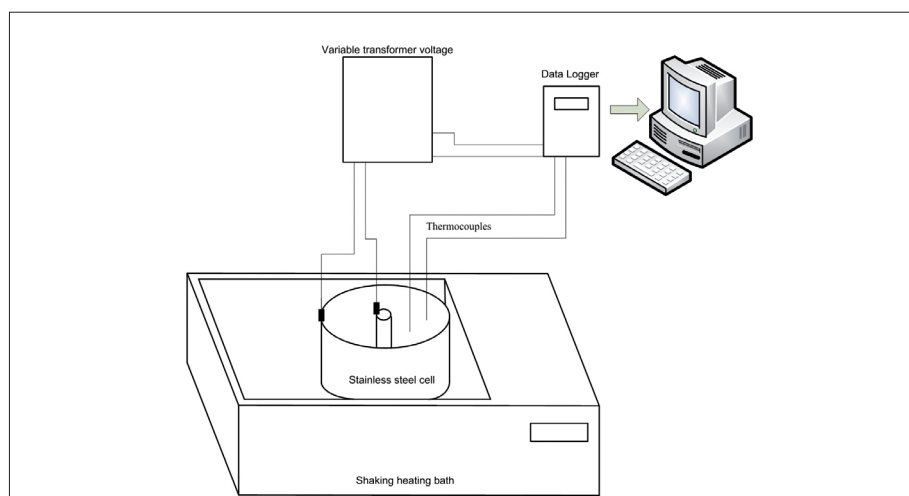


Figura 1. Equipo experimental.

Figure 1. Experimental equipment.

Los datos de temperatura y el voltaje se registraron cada tres segundos usando un registrador de datos Omega 320 (Omega Engineering, Stamford, EE.UU.) El equipamiento experimental se muestra en la **Figura 1**.

### 2.3 Determinaciones analíticas

El contenido de sal de todas las muestras se determinó por medio del equipo Dichromat II Salt analyser (PCL Control Instruments, Leicester, UK).

Para determinar la variación de la masa se identifica cada muestra de manera previa al tratamiento ( $n=3$ ). El proceso consiste en medir la masa de cada muestra en una balanza analítica modelo JD400-3, la variación de la masa se calcula de acuerdo a la Ecuación (1), donde  $M_0$  corresponde a la masa inicial de las muestras de salmón fresco y  $M_t$  a la masa de las muestras de salmón a un tiempo determinado de tratamiento.

$$\Delta M t = \frac{M_t - M_0}{M_0} \quad [1]$$

El color de la muestra de salmón se midió utilizando un colorímetro (Minolta, CR-400, Tokio, Japón), basándose en el espacio de color CIELab. Los cambios de color se midieron por evaluación colorimétrica de los tres parámetros CIE: luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) y coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ). Las coordenadas de color CIE  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se calculan teniendo en cuenta el iluminante estándar  $D_{65}$ .

La diferencia total de color  $\Delta E$  entre la materia prima y después de 24 h de tiempo de procesamiento se calculó por la ecuación. (2)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad [2]$$

Las propiedades de textura se midieron por compresión utilizando un analizador de textura CT3 (BROOKFIELD, EEUU) equipado con una celda cilíndrica plana (34,5 mm de

were recorded every three seconds using an Omega 320 data logger (Omega Engineering, Stamford, US). Experimental equipment is shown in **Figure 1**.

### 2.3 Analytical Assessments

Salt content of all the samples was determined using the Dichromat II Salt Analyzer (PCL Control Instruments, Leicester, UK)

In order to determine the changes in mass, every sample is identified before the processing ( $n=3$ ). The process involves measuring each sample in a JD400-3 analytical balance, the changes in the mass are computed based on the Equation (1), where  $M_0$  refers to the initial mass of fresh salmon samples and  $M_t$  refers to the mass of salmon samples at a specified processing time.

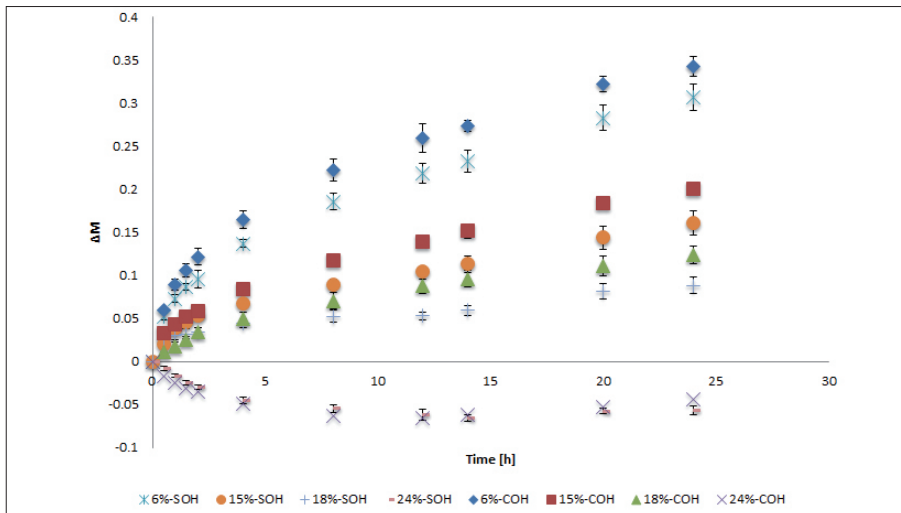
$$\Delta M t = \frac{M_t - M_0}{M_0} \quad [1]$$

The color sample of salmon was measured using a colorimeter (Minolta, CR-400, Tokyo, Japan), based on the CIELab color space. Color changes were measured by colorimetric assessment of the three CIE parameters: lightness ( $L^*$ ), greenness-redness ( $a^*$ ) and blueness-yellowness ( $b^*$ ) coordinates. CIE  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  color coordinates are calculated considering the standard illuminant  $D_{65}$ .

The full difference in color  $\Delta E$  between the raw material and after the 24 h of processing time was calculated by the equation. (2)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad [2]$$

Texture properties were measured by compression using a CT3 texture analyzer (BROOKFIELD, US) equipped with a cylindrical plunger (diameter: 34.5 mm. Force (N) is



**Figura 2.** Variación de la masa para todas las concentraciones de NaCl.

**Figure 2.** Changes in mass for all NaCl concentrations.

diámetro). La fuerza (N) se registró durante la compresión en una curva de perfil de textura con una celda de carga de 10 kg, a una velocidad de deformación de 1 mms<sup>-1</sup> hasta que se alcanzó el 60% de compresión de la muestra. La fuerza máxima de la primera compresión de la curva de fuerza-tiempo (dureza), se calculó como se describe en [4].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Variación de la masa

En la **Figura 2**, se muestran las variaciones de la masa para las muestras de salmón en las diferentes concentraciones de salmuera para los dos tratamientos, con calentamiento óhmico (C/OH) y sin calentamiento óhmico (S/OH). Al analizar los datos es posible verificar que para las concentraciones de NaCl 6%, 15% y 18%, se produce un aumento de la masa, observándose que medida que disminuye la concentración de NaCl mayores son las ganancias de peso.

Al comparar los tratamientos para las concentraciones 6%, 15% y 18% es posible afirmar que existen diferencias significativas en cuanto a la variación de la masa ( $P < 0,05$ ). La solución de concentración 24% no mostró diferencias significativas a los diferentes tratamientos.

#### 3.2. Concentración de sal

En las **Figuras 3 y 4**, se muestran los resultados experimentales obtenidos para la ganancia de sal de las muestras de salmón. Cada gráfica compara los datos obtenidos para el proceso de salado tradicional (S/OH) y para aquel con calentamiento óhmico (C/OH). Analizando los datos, es posible verificar que el porcentaje de sal en las muestras aumentó de manera significativa con el incremento de la concentración de NaCl ( $P < 0,05$ ). [5] realizó un estudio similar para salmón atlántico y obtuvo resultados similares al comparar la ganancia de sal para concentraciones de salmuera de 15 y 25%.

logged during compression in a texture profile curve with a loading plunger of 10 kg, to a crosshead speed of 1 mms<sup>-1</sup> until 60 % of the compression of the sample is reached. The maximum force of the first compression of the force-time curve (hardness) was calculated as described in [4].

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

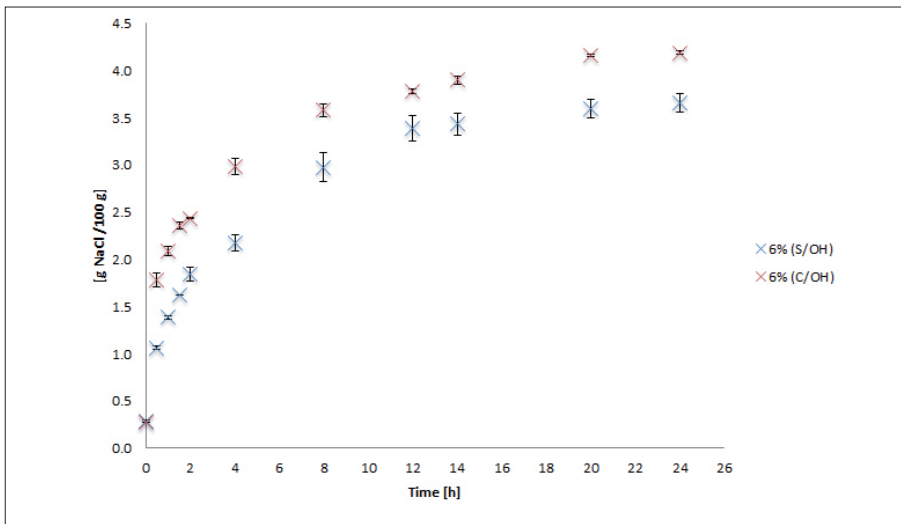
#### 3.1. Changes in mass

**Figure 2** shows changes in mass for salmon samples in different brine concentrations for two treatments, with and without Ohmic Heating (OH). In analyzing data, it is possible to verify there is a mass increase for NaCl concentrations of 6%, 15% and 18%, observing that as NaCl concentrations decline, the higher the weight gains.

In comparing treatments for concentrations of 6%, 15% and 18%, it is possible to state there are significant differences in terms of changes in mass ( $P < 0.05$ ). The concentration solution of 24% did not show any significant differences from the different treatments.

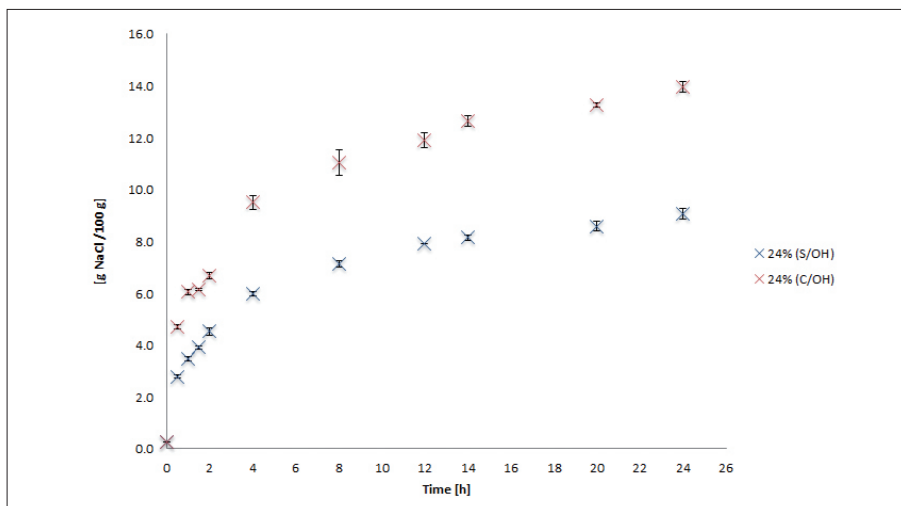
#### 3.2. Salt Concentration

**Figures 3 and 4** show the experimental results for salt gain in salmon samples. Each graph compares the data collected for the traditional salting process (without OH) and that with Ohmic Heating (with OH). In analyzing data, it is possible to verify that the salt percentage in samples grew significantly due to the increase of NaCl concentration ( $P < 0.05$ ). [5] Conducted a similar study for Atlantic salmon and got similar results in comparing salt gain for brine concentrations of 15 and 25%.



**Figura 3.** Porcentaje de sal v/s tiempo (concentración 6%).

**Figure 3.** Salt percentage against time (concentration of 6 %).



**Figura 4.** Porcentaje de sal v/s tiempo (concentración 24%).

**Figure 4.** Salt percentage against v/s time (concentration of 24 %).

Con respecto a los tiempos de tratamiento, es posible afirmar que estos se redujeron cuando se aplicó el calentamiento óhmico. Esto se debe posiblemente a la electroporación que produce la aplicación del campo eléctrico, [2] acopló un campo eléctrico a la deshidratación osmótica de frambuesas, logrando reducir el tiempo en un 50% en comparación al tratamiento convencional.

### 3.3 Textura

La **Figura 5** muestra los resultados obtenidos de textura. Al analizar la gráfica es posible verificar que a medida que la concentración de NaCl es más alta, los valores de dureza aumentan. La explicación de este aumento en la dureza, se debe a que durante el proceso de salado ocurren cambios en las proteínas musculares, lo que genera a su vez cambios en la textura. A medida que aumenta la concentración de salmuera, mayor es el contenido de sal en las muestras al finalizar los tratamientos, lo que provoca una mayor desnaturalización de las proteínas [6].

It is possible to assert that processing timing was reduced when Ohmic Heating was applied. This is probably due to electroporation, which produces the application of the electric field, [2] coupled an electric field to the osmotic dehydration of raspberries, successfully reducing time by 50% compared to conventional processing.

### 3.3 Texture

**Figure 5** shows the results for texture. In analyzing the graph, it is clear that the higher the NaCl concentration, the higher the hardness values. This hardness increase arises from the changes in muscle proteins that occur during the salting process, resulting in texture changes in turn. As the brine concentration grows, the higher the salt content in samples by the end of the processing, leading to higher protein denaturalization [6].

**Table 2.** Difference in color ( $\Delta E$ ) for the different treatments (t=24 h).

NaCl Concentration [%]	$\Delta E$	
	W/O OH	W OH
6	9.93 1.57 <sup>a</sup>	9.15 3.29 <sup>a</sup>
15	4.83 1.18 <sup>a</sup>	3.69 1.21 <sup>a</sup>
18	6.14 1.25 <sup>a</sup>	5.39 1.02 <sup>a</sup>
24	6.32 0.76 <sup>a</sup>	6.85 1.67 <sup>a</sup>

Values obtained as an average  $\pm$  standard deviation for measurements performed in triplicate. In this case, same letters within a row of the table indicate there are no significant differences between both treatments.

### 3.4 Color

En la **Tabla 2** se encuentran los resultados de las diferencias de color para las muestras tratadas durante 24 horas. Los resultados muestran que al comparar los distintos tratamientos con sus respectivas concentraciones, el valor de  $\Delta E$  fue menor en los tratamientos donde se aplicó calentamiento óhmico. Solo para la concentración de 24% con C/OH el valor de  $\Delta E$  fue mayor. A pesar de esto, el análisis estadístico muestra que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ).

## 4. CONCLUSIONES

La aplicación del calentamiento óhmico reduce significativamente el tiempo de salado en un 67 y 83%, logrando aumentar la concentración de sal en las muestras finales en aproximadamente un 15 y 55% para las concentraciones de NaCl al 6 y 24%, respectivamente.

Con respecto a la variación de la masa en las muestras, la aplicación del campo eléctrico tuvo un efecto significativo, causando un aumento de hasta un 40% para la concentración de NaCl al 18%. En cambio para la concentración de 24%, se registró una disminución de la masa sin presentar efectos significativos cuando se comparó con el tratamiento convencional. Respecto a los parámetros de calidad, color y textura, es posible afirmar que no se obtuvieron diferencias de color entre los tratamientos, mientras que la dureza de las muestras aumentó para las concentraciones

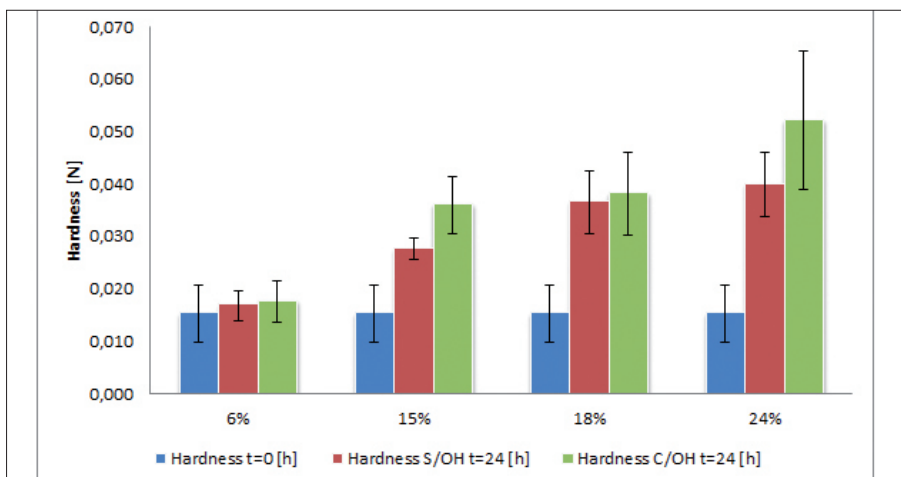
### 3.4 Color

**Table 2** shows the results of the differences in color for the samples processed for 24 hours. The results show that, in comparing the different processing treatments with their respective concentrations, the  $\Delta E$  value was lower in those treatments where Ohmic Heating was applied. The only concentration where the  $\Delta E$  value was higher was the concentration of 24% with OH. Regardless, statistical analysis shows there are no significant differences between the treatments ( $p > 0.05$ ).

## 4. CONCLUSIONS

The application of Ohmic Heating significantly reduces salting time by 67 and 83%, leading to an increase of salt concentration in final samples of around 15% and 55% for NaCl concentrations of 6% and 24% respectively.

The application of the electric field had a significant effect on the variation of the mass in the samples, leading to an increase of up to 40% for the NaCl concentration of 18%. On the other hand, a mass decrease was reported for the concentration of 24%, showing no significant effects when compared to the conventional treatment. We can also say that no significant color differences between both treatments were found in terms of quality, color and texture parameters, while the hardness of samples increased by 70% and 50% for concentrations of 15% and 24% respectively,



**Figura 5.** Valores de dureza para los distintos tratamientos.

**Figure 5.** Hardness values for different treatments.

15 y 24% en un 70 y 50% respectivamente, cuando se les compara con el tratamiento S/OH.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONICYT por el financiamiento otorgado a través del proyecto FONDECYT N°1151380.

when compared to a treatment without OH.

## ACKNOWLEDGMENTS

We, the authors, thank CONICYT for the funding granted through project FONDECYT No. 1151380.

## GLOSARIO

**CALENTAMIENTO ÓHMICO:** proceso térmico en el cual el calor es generado internamente en el alimento, el cual actúa como resistencia al paso de corriente eléctrica alterna (CA).

**ELECTROPORACIÓN:** aumento significativo de la conductividad eléctrica y la permeabilidad de la membrana plasmática celular mediante un campo eléctrico aplicado externamente

## GLOSSARY

**OHMIC HEATING:** heating process whereby food is internally heated, which acts a resistor to the passage of the electric Alternating Current (AC).

**ELECTROPORATION:** significant increase in electric conductivity and the permeability of the cell plasma membrane caused by an externally applied electric field.

## PRINCIPIO CIENTÍFICO

El proceso de calentamiento óhmico utilizado corresponde a la aplicación de un campo eléctrico moderado, el cual, produce perforaciones de las membranas celulares que componen el salmón, este fenómeno se conoce como electroporación y permite que la salmuera penetre de forma más rápida hacia el interior de la célula, permitiendo que los tiempos de salado sea más menores en comparación con el proceso de salado tradicional.

## SCIENTIFIC PRINCIPLE

The Ohmic Heating process that was used involves the application of a moderate electric field, which punches holes in the cell membrane of salmon. This phenomenon is known as electroporation and allows brine to penetrate more quickly into the cell, reducing salting times even further in comparison with the traditional salting process.

## REFERENCES

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Cultured Aquatic Species Information Programme *Salmo salar*. Revised September 25, 2015, [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo\\_salar/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Salmo_salar/en)
2. Simpson, R., Carevic, E., Grancelli, R., Moreno, J. (2007). Ohmic Heating Behavior of Foods. 3. Barbosa-Cánovas V. G. (2006). Pulsed electric fields processing of foods
4. Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62–66, p. 72.
5. Gallart-Jornet, L., Barat, J.M., Rustad, T., Erikson, U., Escriche, I., Fito, P., (2007). Influence of brine concentration on Atlantic salmon fillet salting. *Journal of Food Engineering* 80 (1), 267–275.
6. Barat, J. M., Rodríguez-Barona, S., Andrés, A., & Fito, P. (2002). Influence of increasing brine concentration in the cod salting process. *Journal of Food Science*, 65(7), 1922–1925.

## EQUIPO DE INVESTIGADORES / RESEARCH TEAM



Gabriel  
Cavada



Nicolás  
Quiroz



Ricardo  
Simpson