Universidad Técnica Federico Santa María

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Valparaíso – Chile

Caracterización del Coeficiente de Difusión Aparente de Sal en Pollo por Medición de Conductancia Eléctrica de Solución Drenada

Alejandra Catalán Marchese

Memoria para Optar al Título de

Ingeniero Civil Químico

Profesora Guía: Aldonza Jaques Solís

Profesor Co-referente: Ricardo Simpson Rivera

Agosto 2018

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Profesionalmente quiero agradecer a mi Profesora Guía, Aldonza Jaques, mujer fenomenal que me mostró que el cambio que puede hacer una persona en su entorno está absolutamente infravalorado; a mi Profesor Correferente, Ricardo Simpson, presencia alentadora en mi paso por la Ingeniería de Procesos; a Helena Núñez y Marlene Pinto, organizadoras extraordinarias; a Pedro Valencia y Cristian Ramírez, siempre con una sugerencia y una risa en sus pasos por los laboratorios; y en general, a todo el personal docente, paradocente y asociados del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la UTFSM, donde siempre encontré, junto con los desafíos propios a la carrera, puertas abiertas para conversar y compartir. A Carolina, Alejandro, Álex y tantos otros compañeros de trabajos, laboratorios y disertaciones varias; cada uno amplió a su manera mi visión de la carrera y la vida. Y a Jaime Ulloa, excelente Ingeniero Químico y aún mejor amigo.

Agradecimientos al proyecto FONDECYT 1181270.

Personalmente, deseo reconocer a Julio y María Ángela, los que me enseñaron el amor más imperfecto e incondicional que jamás experimentaré; a Javier y Diego, confabuladores y rivales hasta las últimas consecuencias; a mi familia extendida, por enseñarme lo que es ser verdaderamente “aclanado”, y que los lazos de sangre no se diluyen si hay excusas para juntarnos con un buen asado o tallarinata. A Francisco, el que nunca dejó de creer y que hizo guardia en mis horas más oscuras. A Sofía, Andrea, Samuel, Mauricio, Juan y Eduardo, guardianes de la ciudad y creadores de mundos y malas decisiones. A Chiara Lubich y los Focolares, con ese “Sí” que estremeció al mundo y a mi alma, y que me enseña todos los días a ver el Amor en medio del abandono.

Este trabajo está dedicado a Josefina, el arcoíris en medio de la lluvia.

RESUMEN

El tratamiento de carnes con soluciones de cloruro de sodio, también conocido como marinado o tratamiento osmótico (*Osmotic Treatmet, OT*) es usado mundialmente por las industrias para preservar y mejorar las características organolépticas (Lemos *et al*, 1999; Schmidt *et al*, 2009). El monitoreo en tiempo real del ingreso de sal a la fibra muscular durante OT es desafiante, ya que la mayoría de los análisis implican destrucción de muestras, lo que aumenta el tiempo requerido por los laboratorios de calidad.

El objetivo de este proyecto es caracterizar el coeficiente de difusión aparente de sal en pollo D_{ap} por medición de conductancia eléctrica de solución drenada. Para esto se drenaron cortes longitudinales y transversales de dos marcas de pechuga marinada, midiéndose la conductancia del agua durante el proceso; D_{ap} se obtuvo haciendo una regresión no lineal sobre la curva de conductancia.

Los resultados muestran que, usando regresión no lineal, se puede hallar el único parámetro asociado al modelo difusivo, y que la medición de conductancia usando un electrodo sumergido en la salmuera es un método efectivo para monitorear el ingreso de sal durante OT. Las pruebas ANOVA muestran que, durante el drenado, no existen diferencias significativas entre los cortes perpendiculares y longitudinales con respecto a la fibra muscular, o entre ambas marcas utilizadas.

ABSTRACT

The treatment of meats by sodium chloride solutions, also known as marinating or osmotic treatment (OT), is used by industries worldwide for their preservation, to increase their water holding capacity and for obtaining products with specific sensorial characteristics (Lemos *et al*, 1999) (Schmidt *et al*, 2009). Monitoring the salt intake during OT can be challenging, since most salt analysis methods involve destroying samples, which in turn increases Quality Control lab times and decreases the treatment's yield.

In this project, we assess the compatibility of both using the Diffusive Model instead of the traditional empirical methods, proven to be good at modeling salt intake in chicken (Schmidt *et al*, 2009); and also using the solution conductance as an indirect measurement of salt intake, for monitoring OT. Regarding muscle fibers, both transversal and longitudinal cuts were made and the results were analyzed in order to evaluate whether it is relevant.

Results show that using Non-Linear Regression, the only parameter for the model can be found, and that conductance measurement using an electrode on the brine is an effective way to monitor salt intake during OT. ANOVA tests show that there're no significant differences between cutting meat perpendicular to the muscle fiber, or alongside it, or between the brands used.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice Principal

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Objetivos 3

1.1.1. Objetivo General 3

1.1.2. Objetivos Específicos 3

2. ANTECEDENTES 4

2.1. *Gallus gallus domesticus* 4

2.2. El Cloruro de Sodio, NaCl 8

2.3. La Conservación y Tratamiento de Productos Cárnicos 9

2.3.1. Actividad de Agua 10

2.4. El Tratamiento Osmótico 11

2.5. Tratamiento Osmótico: Modelos Empíricos 12

2.5.1. Modelo de Peleg 13

2.5.2. Modelo de Azuara 13

2.6. El Modelo Difusivo 14

2.6.1. Aproximación a Placa Plana por criterio del Número de Fourier 16

3. MODELACIÓN Y MÉTODOS 18

3.1. Materia Prima 18

3.2. Equipos y Programas de Análisis 18

3.3. Metodología Experimental 20

3.3.1. Calibración 20

3.3.2. Corte de pollo 20

3.3.3. Drenado de NaCl 21

3.4. Metodología de Cálculo 23

3.4.1. Calibración 23

3.4.2. Cálculo de Coeficiente de Difusividad Aparente 23

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25

4.1. Calibración 25

4.2. Difusividades 26

4.3. Análisis estadísticos 27

4.3.1. Intervalos de Confianza 27

4.3.2. Análisis de Cuartiles 28

4.3.3. Análisis de Varianzas 28

4.4. Discusión 30

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 32

6. REFERENCIAS 33

7. ANEXOS 36

7.1. Anexo 1: Resultados Experimentales de Drenados. 36

7.2. Anexo 2: Análisis de Varianza. 48

Índice de Figuras

Figura 1: Precios promedio de distintos cortes de carne. 5

Figura 2: Cortes Comunes de Pollo en Chile. 5

Figura 3: Relajamiento de las fibras musculares debido a la formación de complejos de cloro y miosina. 12

Figura 4: Diagrama de placa infinita con condiciones de borde constantes. 16

Figura 5: Medidor de Conductancia y Sales Totales Disueltas Oakton CON 110 19

Figura 6: Interfaz de usuario de CyberComm Portable, durante una medición. 20

Figura 7: Corte de muestras. 21

Figura 8: Disposición de bombas y rejilla. 22

Figura 9: Drenado de muestra. 22

Figura 10: Curva de Calibración de Conductímetro. 25

Figura 11: Aplicación de Modelo Difusivo. 27

Figura 12: Resultados Experimento 8.1. 36

Figura 13: Resultados Experimento 9.1. 37

Figura 14: Resultados Experimento 10.2. 38

Figura 15: Resultados Experimento 11.2. 39

Figura 16: Resultados Experimento 12.1. 40

Figura 17: Resultados Experimento 13.4. 41

Figura 18: Resultados Experimento 14.1. 42

Figura 19: Resultados Experimento 15.3. 43

Figura 20: Resultados Experimento 16.2. 44

Figura 21: Resultados Experimento 17.3. 45

Figura 22: Resultados Experimento 18.1. 46

Figura 23: Resultados Experimento 19.1. 47

Índice de Tablas

Tabla 1: Descripción de Cortes de Pollo Comunes en Chile. 6

Tabla 2: Información nutricional de distintos cortes de pollo, por 100 gramos de producto. 7

Tabla 3: Aplicación de Modelo Difusivo. 26

Tabla 4: Resultados de Análisis de Cuartiles. 28

Tabla 5: Resultado Análisis de Varianza, por Corte. 29

Tabla 6: Resultado Análisis de Varianza, por Marca. 29

Tabla 7: Condiciones Experimento 8.1. 36

Tabla 8: Condiciones Experimento 9.1 37

Tabla 9: Condiciones Experimento 10.2 38

Tabla 10: Condiciones Experimento 11.2 39

Tabla 11: Condiciones Experimento 12.1 40

Tabla 12: Condiciones Experimento 13.4. 41

Tabla 13: Condiciones Experimento 14.1. 42

Tabla 14: Condiciones Experimento 15.3. 43

Tabla 15: Condiciones Experimento 16.2 44

Tabla 16: Condiciones Experimento 17.3. 45

Tabla 17: Condiciones Experimento 18.1 46

Tabla 18: Condiciones Experimento 19.1 47

Tabla 19: Análisis de Varianza por Corte, Resumen..... 48

Tabla 20: Análisis de Varianza por Corte. 48

Tabla 21: Análisis de Varianza por Marca, Resumen. 48

Tabla 22: Análisis de Varianza por Marca..... 49

1. INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria, la carne de ave es una de las fuentes de proteína animal más competitiva a nivel global (Giacomozzi, 2015). Esta industria depende en gran parte del proceso de marinado para aumentar su rendimiento de producción, mejorar las características organolépticas de la carne como la textura, y para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos (Alvarado & McKee, 2007); este proceso se basa en sumergir la pieza en solución de agua con sales a bajas temperatura y concentraciones, para permitir la expansión de las fibras musculares y un aumento del peso y volumen de la carne (Schmidt *et al*, 2007) (Schmidt *et al*, 2009).

El marinado es fenomenológicamente complejo, debido a las interacciones entre las fibras musculares, compuestas principalmente por las proteínas actina y miosina, y el cloruro de sodio (NaCl), sal común. Dependiendo de la concentración de sal en el agua, la transferencia de sal y agua entre la carne y la solución irá en uno u otro sentido; una concentración demasiado alta provoca que las fibras musculares colapsen y haya una pérdida neta de volumen, y una concentración bajo la óptima aumenta el tiempo necesario para el transporte de la sal hacia el músculo.

Los métodos tradicionales para determinar la cantidad de sal en un alimento implican la destrucción total de la muestra, lo que no sólo implica una merma en la producción, sino que también dificulta el monitoreo en tiempo real del marinado. El modelamiento difusivo permite la descripción fenomenológica del proceso de difusión de un compuesto en otro, y experimentos hechos por Schmidt *et al* (2009) han demostrado que permite modelar de manera adecuada la ganancia de sal en carne de pollo. Otros métodos, como el de Peleg

(1988) y Azuara et al. (1992) son quizás mejores para estimar la concentración de sal en geometrías no clásicas (que no se puedan aproximar a los casos típicos de cilindro, plano o esfera) y para tiempos prolongados de inmersión; no obstante, su naturaleza empírica implica que no poseen verdadero significado físico, cosa que sí tiene el primero, y poseen más parámetros a evaluar que el difusivo.

Por otra parte, la nueva Ley de Etiquetado Nutricional presente en nuestro país, donde se obliga a etiquetar con sellos de advertencia a productos altos en nutrientes críticos como el sodio, ha provocado un cambio en las decisiones de compra de una parte importante de la población (Scalpini & Vergara, 2017), por lo que el mercado se encuentra con consumidores cada vez más críticos. Es por esto que la industria debe fijar sus esfuerzos en monitorear la introducción de sodio en la carne de manera de obtener un producto que satisfaga las nuevas exigencias del mercado.

En este trabajo se drenaron muestras de pechugas de pollo ya marinadas, sumergiéndolas en agua destilada, y monitoreando el proceso en tiempo real mediante la medición de la conductancia en el agua. Luego se realizó una regresión no lineal para calcular el coeficiente de difusividad aparente, asociado al modelo. Por último, se hizo un análisis estadístico donde se descartó posibles diferencias significativas entre las variables estudiadas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Caracterizar el coeficiente de difusión aparente de sal en pollo por medición de conductancia eléctrica de solución drenada

1.1.2. Objetivos Específicos

- Obtener una relación entre conductividad y concentración de sal.
- Diseñar una serie de experimentos que permitan la obtención de curvas de concentración de sal en agua durante el drenaje.
- Analizar datos para la obtención de coeficiente de difusión aparente.
- Analizar diferencias de difusión entre marcas y entre corte de muestra.

2. ANTECEDENTES

2.1. *Gallus gallus domesticus*.

Alrededor del mundo, la carne de la especie *Gallus gallus domesticus* (adulto macho: gallo, adulto hembra: gallina, crías: pollo) es una de las más consumidas, llegando a elaborarse 90,2 Mton aproximadas de producto para consumo inmediato durante el 2017, y exportándose 11,1 Mton en el mismo período. Los principales actores en este mercado son los exportadores como Brasil (4 Mton), Estados Unidos (3,1 Mton) y la Unión Europea (1,3 Mton). Para el año 2018 se prevé un aumento del 4%, llegando a moverse 11,4 Mton alrededor del mundo. (USDA, 2017).

En Chile, la producción es mayoritariamente de consumo local, donde los mataderos de aves reportaron 182.373 toneladas durante el primer trimestre del año 2018, implicando un alza de 5,8% con respecto al mismo período del año anterior (Pizarro y Aguirre, 2018). La región de O'Higgins y la Metropolitana son las que encabezan las zonas de producción, concentrando más del 95% de la carne producida (INE, 2017). Además, en nuestro país la carne de pollo es una alternativa más económica frente a otras proteínas de origen animal; en el comercio minorista, un kilógramo de carne ave cuesta casi la mitad que su equivalente en carne de vacuno, y es más barata que la de cerdo.

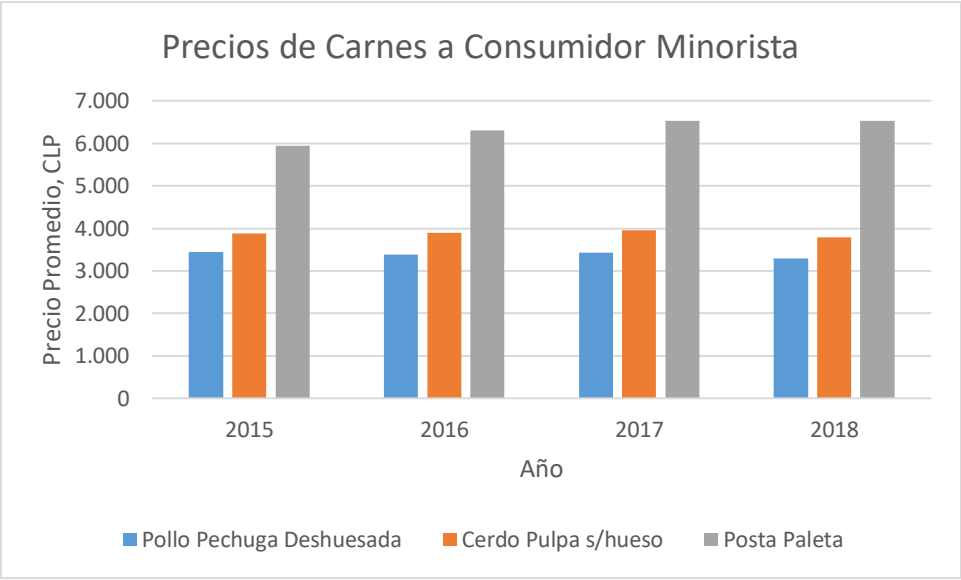


Figura 1: Precios promedio de distintos cortes de carne.
Fuente: ODEPA, 2018.

A pesar de su tamaño, el pollo puede dividirse en numerosos cortes, ya que cada músculo posee su propia utilidad para el animal y, por lo tanto, distinta composición. Los nombres para los cortes de carne de pollo aceptados en Chile, según la Asociación Chilena de la Carne se ilustran en la Figura 2 y se describen en la Tabla 1.

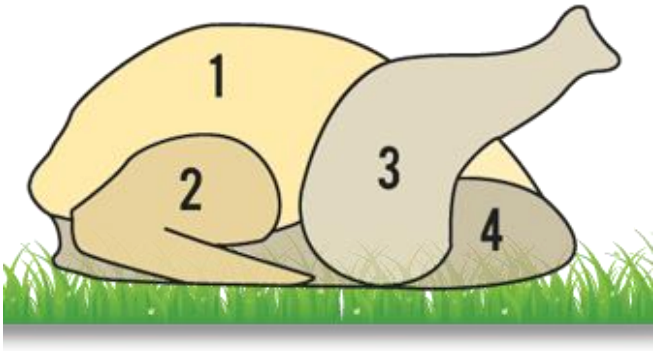


Figura 2: Cortes Comunes de Pollo en Chile.
Fuente: ACHIC, 2018.

Tabla 1: Descripción de Cortes de Pollo Comunes en Chile.

Corte	Descripción	Usos
1 **Pechuga**	Porción ventral del tórax.	Parrilla, horno, bistec, cacerola, estofado, cazuela, churrasco.
2 **Ala**	Miembro torácico o extremidad delantera.	Parrilla, cacerola, estofado, cazuela.
3 **Trutro**	**Truto Corto:** porción proximal del miembro pélvico. O parte alta de la extremidad posterior. **Truto Largo:** extremidad posterior o porción distal del miembro pélvico.	Parrilla, horno, cacerola, estofado y cazuela.
4 **Espinazo**	Corresponde a la región dorsal de la canal o espalada del animal	Cazuela

Fuente: ACHIC, 2018.

Nutricionalmente, el pollo es un producto estudiado por tener una cantidad menor de carbohidratos, proteínas de alta calidad y un contenido de lípidos nutricionalmente favorable: sólo un tercio de sus grasas son saturadas, y se han detectado precursores de ácidos grasos saludables, como ácido alfa-linoleico omega-3 (Marangoni *et al.,* 2015).

Tabla 2: Información nutricional de distintos cortes de pollo, por 100 gramos de producto.

Corte de Pollo	Energía (kcal)	Proteínas (g)	Grasas (g)				Colesterol (mg)
			Total	Sat.	Monoinsat.	Poliinsat.	
Entero con piel, crudo	171	19,0	10,6	3,27	4,12	2,29	93
Entero con piel, asado	200	27,1	10,2	3,04	2,91	2,66	119
Entero, sin piel, crudo	110	19,4	3,6	1,23	1,08	0,81	75
Entero sin piel, asado	160	27,9	5,4	1,72	1,38	1,51	109
Ala, sin piel, cruda	193	20,3	12,4	4,24	3,72	2,79	89
Ala con piel, cruda	196	16,7	14,3	4,41	5,56	3,09	82
Ala con piel, asada	283	31,7	17,4	5,46	6,45	3,84	91
Pierna, con piel, cruda	125	18,4	5,7	1,61	1,61	1,58	94
Pierna, con piel, asada	201	31,2	8,5	2,53	2,43	2,22	91
Pierna, sin piel, cruda	107	18,5	3,7	1,08	1,06	0,98	88
Pierna, sin piel, asada	175	29,9	6,2	1,98	1,58	1,73	109
Pechuga, cruda	100	23,3	0,8	0,25	0,19	0,23	60
Pechuga, asada	129	30,2	0,9	0,29	0,23	0,25	75

Nota: El adjetivo "asado" denota cocinado al horno, sin grasa adicional y sin aliñar.
Fuente: Adaptado de Marangoni et al. (2015)

De los cortes de pollo mostrados en la Tabla 2, la pechuga se muestra como uno de los cortes con menor cantidad de calorías, grasas totales y colesterol; y, por lo tanto, es un corte interesante para la investigación de productos con énfasis en dietas hipocalóricas.

2.2. El Cloruro de Sodio, NaCl

Uno de los grandes desafíos que enfrenta la humanidad desde tiempos ancestrales es la de asegurar su fuente alimentaria, buscando métodos de conservación que permitieran el traslado y posterior consumo de alimentos en zonas o tiempos donde éste no abundaba.

La sal común, conocida químicamente como cloruro de sodio (NaCl), ha ayudado en esta tarea a los humanos, quienes se dieron cuenta de sus múltiples ventajas desde incluso antes de los primeros registros históricos, cerca del 2.700 a. C. Fue moneda de pago para las cohortes romanas, gracias a lo cual se derivó la palabra “salario”; utilizada en rituales y expresiones religiosas alrededor del mundo, desde el budismo al judaísmo; y parte de motines de guerra como el de Lord Howe, que capturó las reservas de sal de George Washington durante la Guerra de Independencia estadounidense (Times Staff, 1982).

Actualmente, el cloruro de sodio no sólo es demandada en la elaboración de alimentos de consumo humano y animal, sino que también se utiliza en industrias más allá de la alimentaria: desde la elaboración de productos sintéticos como el carbonato de sodio (Na_2CO_3) y cloro molecular (Cl_2), hasta disminuir la dureza del agua potable, y el deshielo de carreteras y caminos después de nevadas.

En Chile, el mayor productor de productos y subproductos derivados de NaCl es K+S Chile, perteneciente a la transnacional alemana K+S Aktiengesellschaft, los que adquirieron en 2006 la chilena Sociedad Punta Lobos, quienes desde 1905 explotan el Salar Grande de Tarapacá, ubicado en la región del mismo nombre. A la fecha su nivel de producción llega a las 8 Mton anuales (K+S, 2018).

2.3. La Conservación y Tratamiento de Productos Cárnicos

La conservación de alimentos es una carrera constante contra la descomposición. Desde sus albores nómades, la humanidad ha intentado evitar tener que conseguir alimento cada vez que sentía hambre, y evitar tener que desechar comida sobrante. No fue sino hasta el siglo XVII que se descubrieron los microorganismos gracias al trabajo de Robert Hooke y Antoni van Leeuwenhoek, de la Royal Society de Londres, los gestores del proceso de descomposición de la materia orgánica (Gest, 2004).

Para evitar la acción de los microorganismos sobre los alimentos y preservarlos por mayor tiempo, se han creado diversos mecanismos y tratamientos: el envasado al vacío previene el accionar de organismos aerobios, es decir, dependientes de oxígeno; la refrigeración y congelamiento ralentizan el metabolismo de los m. o.; los tratamientos térmicos que llevan la temperatura del alimento a más de 60 °C los eliminan; y el secado permite eliminar el agua presente, elemento fundamental para el trabajo de todo ser vivo.

Ya que la mayor parte de los alimentos poseen agua como componente principal, no siempre se puede recurrir este último tratamiento; es por esto que, en vez de disminuir la

cantidad de agua presente en el alimento, se prefiere controlar la cantidad de ésta que los m. o. puedan utilizar para sus procesos metabólicos; junto con la medición de humedad, la actividad de agua permite monitorear este parámetro.

2.3.1. Actividad de Agua

Termodinámicamente, la actividad a de una especie en un sistema se define como la razón entre la fugacidad de la especie en el sistema f, y la fugacidad de la especie en su estado puro f_0; para el agua a_w:

$$\mathrm{a_w} = \frac{f}{f_0} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

En condiciones de baja presión, la fugacidad se puede aproximar a la presión ejercida por la especie, por lo que a_w puede ser medida en alimentos como:

$$a_w = \frac{P}{P_0} \qquad \text{(Ec. 2)}$$

Donde P es la presión parcial de agua en el alimento, y P_0 es la presión del agua pura a la misma temperatura.

La medición de a_w permite un mejor acercamiento con respecto a la medición del contenido de agua total en las carnes y productos cárnicos. Al acoplarlo con otras mediciones como la concentración de oxígeno y medición de pH se puede predecir de

manera más confiable la estabilidad sensorial y el crecimiento microbiano (Fennema & Carpenter, 1984).

Históricamente, el NaCl ha estado entre los mejores conservantes de alimentos, y hasta el día de hoy, es un preservante altamente utilizado en alimentos preparados por su capacidad de disminuir a_w y así inhibir la acción de microorganismos perjudiciales (Fontes *et al*., 2003).

2.4. El Tratamiento Osmótico

El marinado, o tratamiento osmótico (*Osmotic Treatment*, OT) se realiza en carnes como el pollo como tratamiento previo al envasado para asegurar su inocuidad y mejorar sus características organolépticas (Lemos *et al.*, 1999): la presa de pollo a marinar se ingresa en un estanque con una solución acuosa de concentración de NaCl (C_s) baja, logrando un aumento de volumen de hasta un 80% causada por la absorción de agua y sales (Schmidt *et al.*, 2007).

Según Offer y Trinick (1983), las miofibrillas, componentes que se encargan de la contracción y elasticidad de las células y abundantes en células musculares, se ensanchan debido a que las proteínas miofibrilares forman complejos con los iones de cloro presentes en la solución que agranda los espacios entre la actina y la miosina, mejorando la capacidad de retención de agua. No obstante, la depolimerización de la miosina ocurre en soluciones con concentraciones de NaCl mayores al 6%, contrayéndose la célula y reduciéndose su capacidad de retención de agua; para concentraciones cercanas al 15% este efecto impide

que la carne absorba agua. Este fenómeno se conoce como inversión de hidratación-deshidratación: para soluciones aún más concentradas, se observa una pérdida neta de humedad (Schmidt *et al.*, 2008).

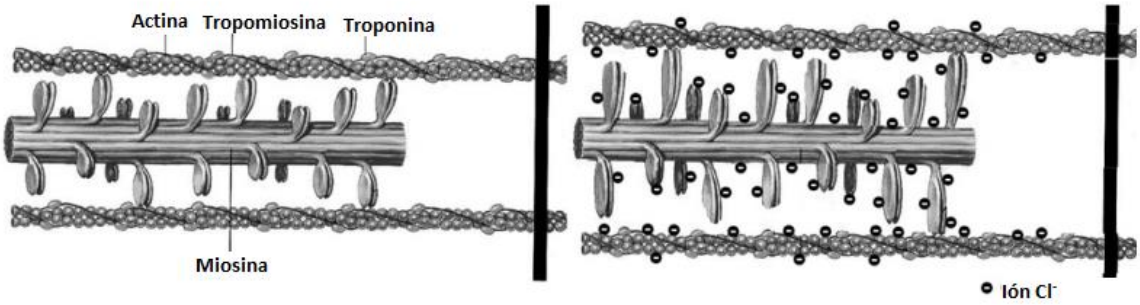


Figura 3: Relajamiento de las fibras musculares debido a la formación de complejos de cloro y miosina.
Fuente: Adaptado de Schmidt et al, 2007.

2.5. Tratamiento Osmótico: Modelos Empíricos

Por los fenómenos descritos anteriormente, la modelación de cambios de NaCl y agua en un alimento durante OT es extremadamente complejo. Para lograrlo existen varios métodos empíricos y teóricos que logran modelar con distintos grados de éxito. Según Schmidt et al. (2008), los métodos empíricos como el de Peleg (1988) son capaces de modelar adecuadamente la obtención de NaCl y agua en el proceso; sin embargo, su uso se restringe a largos períodos de inmersión de la muestra y contiene dos parámetros a encontrar.

2.5.1. Modelo de Peleg

Este modelo se propuso originalmente para modelos de cinéticas de absorción y desorción de agua, donde se llega al equilibro de forma asintótica (Peleg, 1988; Schmidt et al., 2008):

$$XG = \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \qquad \text{(Ec. 3)}$$

En la ecuación, XG es la ganancia de NaCl en la placa hasta el tiempo t, y los parámetros a encontrar son k_1 y k_2. El símbolo de la parte derecha de la ecuación depende del proceso: + si es hidratación, y – si es deshidratación.

Las condiciones iniciales y de equilibrio son, respectivamente:

$$\left.\frac{d(XG)}{dt}\right|_{t=0} = \pm \frac{1}{k_1} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

$$XG^{\infty} = \pm \frac{1}{k_2} \qquad \text{(Ec. 5)}$$

2.5.2. Modelo de Azuara

Este modelo se basa en un balance de masa presentado a continuación (Azuara *et al.,* 1992; Schmidt *et al.*,2008):

$$XG = XG^{\infty} - XG^{*} \qquad \text{(Ec. 6)}$$

Donde XG^{∞} es la masa de NaCl o agua en la muestra después de largos períodos de inmersión (también llamada "concentración de equilibrio) y XG^{*}es la masa que no entró a la muestra.

Durante la inmersión, XG aumenta y XG^{*} disminuye, ambos pueden ser relacionados con una constante k y el tiempo t.

$$XG^{*} = \frac{XG}{kt} \qquad \text{(Ec. 7)}$$

Reemplazando la ecuación 6 en la ecuación 5, se obtiene la estimación de ganancia o pérdida de masa:

$$XG = \frac{k \cdot t(XG^{\infty})}{1 + kt} \qquad \text{(Ec. 8)}$$

Si se dividen ambas partes de la fracción en la ecuación 8**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** por kXG^{∞}, y reemplazando $k_1' = 1/kXG^{\infty}$ y $k_2' = 1/XG^{\infty}$ se llega a un modelo equivalente al de Peleg:

$$XG = \frac{t}{k_1' + k_2' t} \qquad \text{(Ec. 9)}$$

2.6. El Modelo Difusivo

El modelo difusivo, si bien sólo es capaz de modelar adecuadamente la ganancia de NaCl, su ventaja reside en tener solamente un parámetro asociado, el coeficiente de difusividad aparente D_{ap}, el cual toma en cuenta todos los mecanismos de transferencia de materia

asociados, como la difusión propiamente tal y la deformación del material, entre otros (Crank, 1975).

Este modelo parte desde la segunda ley de Fick, sobre difusividad en el tiempo:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D\nabla^2 X \qquad \text{(Ec. 10)}$$

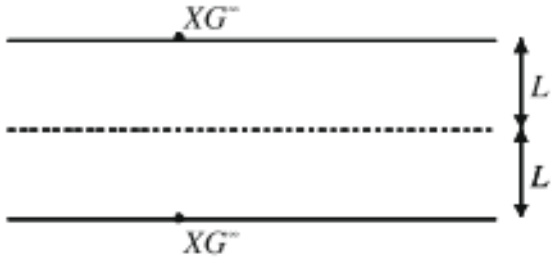
Donde $X = X(x, y, z, t)$ es la concentración dependiente de las coordenadas de posición x, y, z y temporal t; D es el coeficiente de difusividad, y ∇^2 es el operador laplaciano.

El modelo general se describe a continuación (Crank, 1975; Schmidt *et al*, 2008):

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = \nabla^2 D_{ap} X_i - \vec{v} \cdot \vec{\nabla} X_i \qquad \text{(Ec. 11)}$$

En esta ecuación, i puede indicar tanto NaCl como agua. El término a la izquierda es el cambio de X con respecto al tiempo; los términos de la derecha son la contribución de la difusión a ese cambio (primer miembro) y el *bulk flow* (segundo miembro).

Se considera una placa plana infinita, con concentración inicial uniforme y concentración constante en la superficie:



$$\begin{cases} t = 0 \quad XG = XG_o \\ t > 0 \begin{cases} x = L, \quad XG = XG^{\infty} \\ x = 0, \quad \dfrac{\partial XG}{\partial x} = 0 \end{cases} \end{cases}$$

Figura 4: Diagrama de placa infinita con condiciones de borde constantes.
Fuente: Schmidt et al, 2009.

Bajo estas condiciones, la solución matemática de la concentración de NaCl en el tiempo se puede expresar como (Crank, 1975):

$$\frac{XG}{XG^{\infty}} = 1 - \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(-\frac{D_{ap}(2n+1)^2\pi^2 t}{4L^2}\right) \qquad \text{(Ec. 12)}$$

Donde XG es la ganancia de NaCl en la placa hasta el tiempo t, XG^{∞} es la ganancia de NaCl final en la placa (considerada como estable), D_{ap} es el coeficiente de difusión aparente y L es la mitad del ancho de la placa, como se aprecia en la siguiente figura.

En la ecuación anterior, D_{ap} toma en cuenta las contribuciones de la difusión propiamente tal, así como el *bulk flow*, la relajación/contracción de la muestra, y otros mecanismos presentes.

Nótese que D_{ap} es el único valor desconocido en (Ec. 12); la ganancia de NaCl final XG^{∞} será considerada como el último valor encontrado en las mediciones.

2.6.1. Aproximación a Placa Plana por criterio del Número de Fourier

Para asegurar que la aproximación a placa plana del corte de pechuga de pollo sea adecuada para los experimentos a utilizar, se utilizará el número adimensional másico de Fourier, definido como:

$$Fo_m = \frac{Dt}{L^2} \qquad \text{(Ec. 13)}$$

Con D coeficiente de difusión, t tiempo y L semiancho de placa. Nótese que este número caracteriza la transferencia de materia en estado transiente; físicamente, es la medida entre la materia difundida y la materia guardada en un cuerpo (Cengel, 2007).

Se escogió un corte de pechuga de 30x60x5 mm, debido a la consideración de tener que realizar cortes transversales y longitudinales con respecto a la fibra muscular: una placa demasiado larga sería posible en un corte transversal, pero no en uno longitudinal.

Para justificar la aproximación, se calculará la razón entre los números de Fourier para las dos dimensiones menores; en la ecuación a continuación, $L_1 = 0{,}0025$ m, $L_2 = 0{,}015$ m:

$$\frac{Fo_{m,1}}{Fo_{m,2}} = \frac{\frac{Dt}{L_1^2}}{\frac{Dt}{L_2^2}} = \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^2 \approx 0{,}028 \qquad \text{(Ec. 14)}$$

De esto, se obtiene que la transferencia de materia por el lado menor, es menos del 3% de la transferencia de materia de uno de los lados, por lo que es la aproximación a placa plana se justifica.

3. MODELACIÓN Y MÉTODOS

3.1. Materia Prima

Se adquirieron pechugas de pollo marinadas envasadas en origen, de productores de la zona, denominadas en este documento como Marca A (Súper Pollo) y Marca B (Ariztía), en un supermercado local de Valparaíso, Chile.

Las dos marcas presentan formatos similares:

- Descripción del producto como "Pechuga Deshuesada, Marinada, Sin Piel, Sin Hueso".
- Formato de bandeja envasada en origen, peso neto aproximado de 850 g; cada bandeja contiene desde 3 a 5 unidades.
- Contiene la leyenda "Hasta un 10% de marinado".

Se escogió el corte de pechuga debido a que es un corte interesante desde el punto de vista nutricional, como fue explicado con anterioridad; además de haber sido estudiado en procesos de marinado con aplicación de modelos físicos y empíricos (Schmidt *et al.*, 2007, 2008).

3.2. Equipos y Programas de Análisis

Para la medición de conductancia, se utilizó un medidor de conductancia y de sales totales disueltas, marca OAKTON, modelo CON110. Este equipo monitorea en tiempo real la conductancia y temperatura del líquido en el que se encuentra el electrodo sumergible

(Figura 5, b); datos que son recibidos por el medidor (Figura 5, a) y enviados al computador por medio de un cable RS232C.

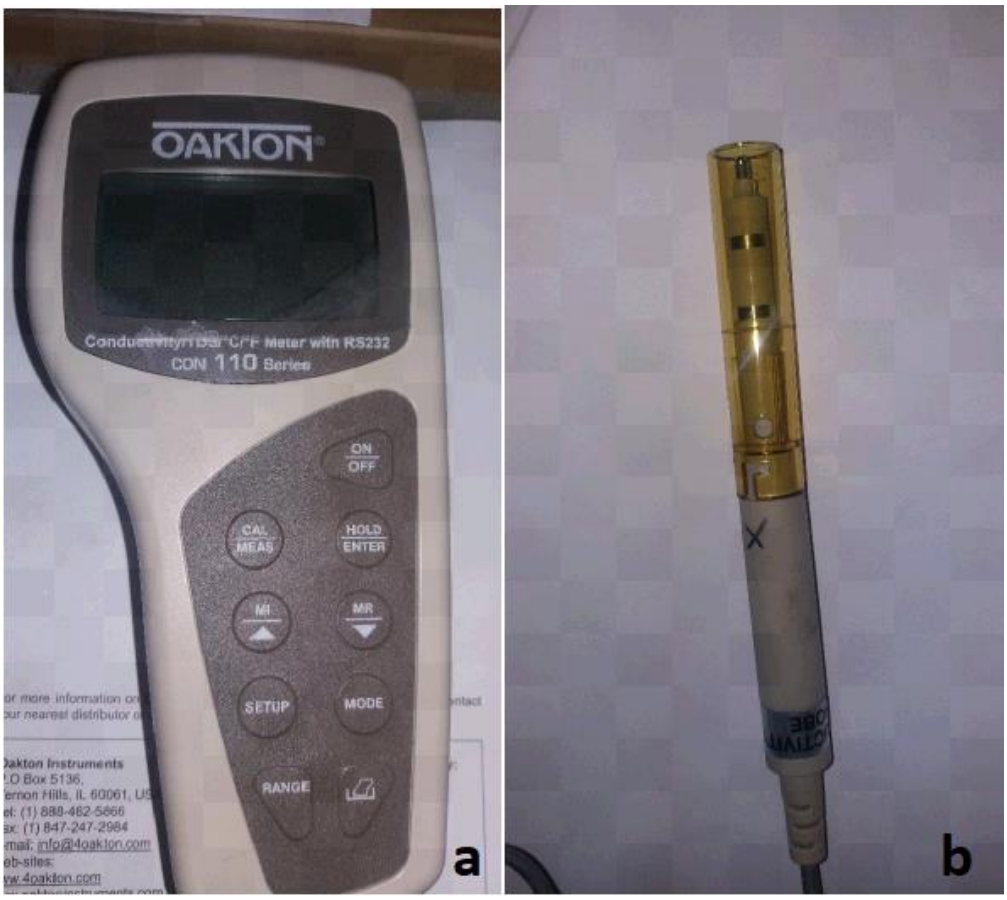


Figura 5: Medidor de Conductancia y Sales Totales Disueltas Oakton CON 110
(a: Medidor; b: Electrodo sumergible).

Los datos fueron recibidos y recopilados por el programa CyberComm Portable (versión 1.0.1, Eutech Instruments) y organizados en Microsoft Excel (versión 2016 32 bits, Microsoft Corporation). La regresión no lineal de los datos para encontrar el valor de difusividad aparente se hizo en MATLAB (versión 2013b, The MathWorks Inc).

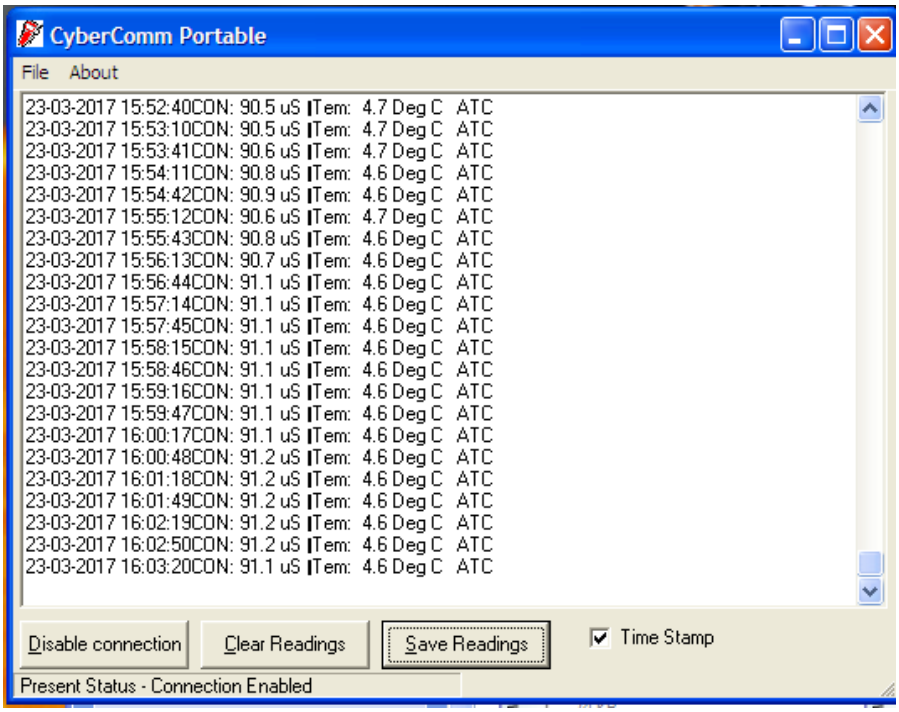


Figura 6: Interfaz de usuario de CyberComm Portable, durante una medición.

3.3. Metodología Experimental

3.3.1. Calibración

Para obtener la relación entre la cantidad de NaCl disuelta y la conductancia del agua, se disolvieron 10 [g] de cloruro de sodio en 500 [ml] de agua. Esta solución salina fue mezclada con agua destilada en distintas proporciones con agua para crear muestras de 70 [ml], las que fueron medidos con el conductímetro cinco veces, agitando entre cada medición.

3.3.2. Corte de pollo

Se cortaron filetes de pechuga de 60x30x5 [mm], tanto de forma transversal como longitudinal con respecto a la fibra muscular, obteniéndose muestras de masa promedio de

9,685 ±0,381 [g]. A cada corte se le asignó un número identificador, correspondiente al día del experimento y el peso de la muestra.

Figura 7: Corte de muestras.

3.3.3. Drenado de NaCl

El drenado de la muestra se realizó con 2,25 [l] de agua destilada en una caja de acrílico, con tres bombas sumergibles dispuestas en forma triangular y una rejilla sobre éstas, donde se posó la muestra. La caja fue sumergida en agua con hielo para controlar la temperatura, que se mantuvo entre los 4 y 6 [°C].

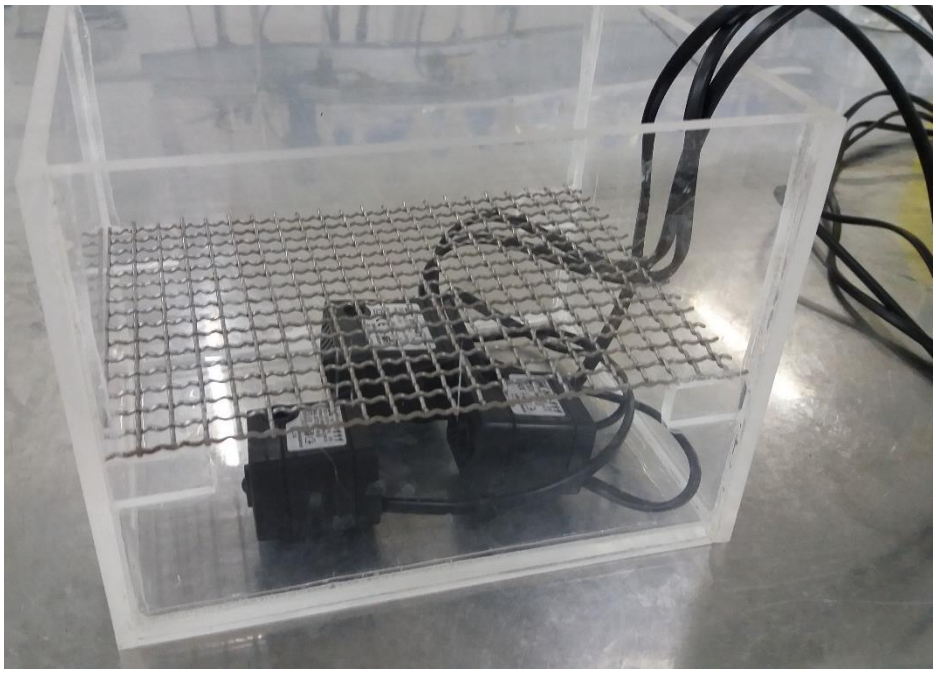


Figura 8: Disposición de bombas y rejilla.

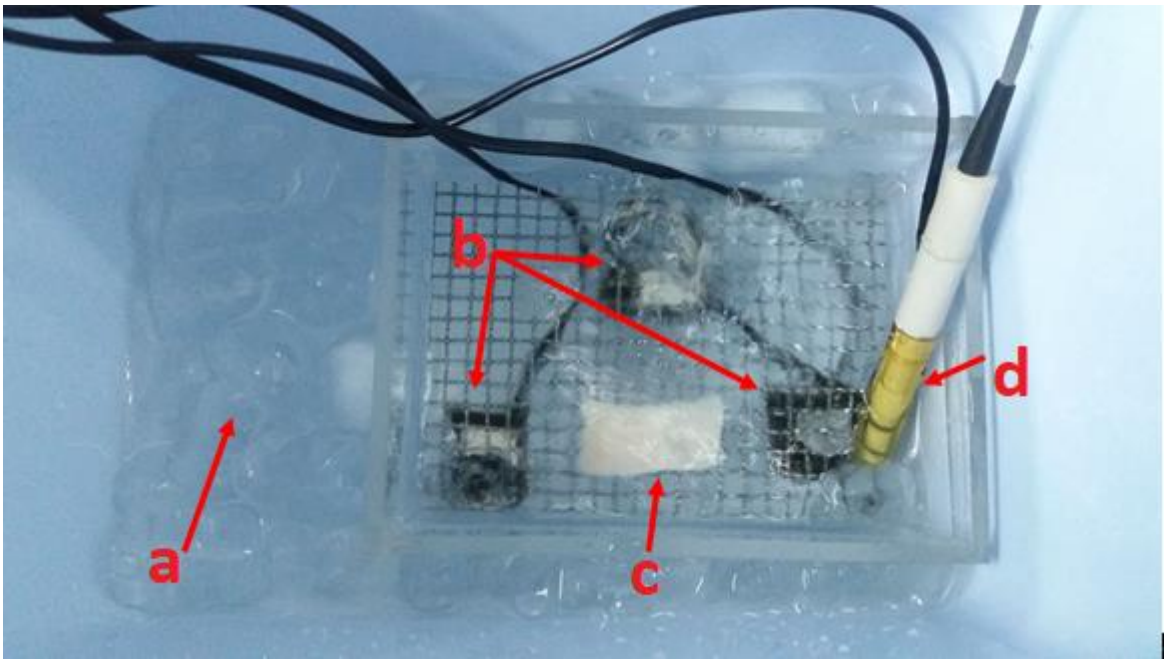


Figura 9: Drenado de muestra.
(a: Baño regulador de temperatura; b: Bombas sumergibles; c: Muestra; d: Electrodo).

La agitación resulta fundamental para este experimento, ya que se debe mantener la condición de borde de concentración constante en la superficie (ver Figura 4): al permanecer agitado el sistema, se promueve la difusión de NaCl desde la capa límite de la muestra hacia el exterior.

Los datos de conductancia y temperatura fueron tomados por el electrodo (Figura 9, d), de forma continua: los primeros 30 [min] se midió cada 5 segundos, los 90 [min] siguientes cada 10 segundos, y el resto del experimento cada 30 segundos.

3.4. Metodología de Cálculo

3.4.1. Calibración

Para cada muestra de agua con NaCl, se promediaron las cinco mediciones de conductancia encontradas, graficando el resultado con respecto a la concentración de NaCl. Usando la herramienta de ajuste de Microsoft Excel se hizo un ajuste lineal, encontrándose una relación entre la conductancia y la concentración de NaCl.

3.4.2. Cálculo de Coeficiente de Difusividad Aparente

Análisis de Datos

Los datos entregados por el conductímetro fueron organizados en Microsoft Excel, donde, por medio de la relación de calibración encontrada en el punto anterior, se encontró la concentración de NaCl en el agua a lo largo del proceso de drenado por cada 100 [g] de pollo.

Determinación de Coeficiente de Difusividad Aparente

En MatLab, se partió normalizando la concentración de NaCl para evitar que la unidad de medida obstaculizara el desarrollo de los pasos siguientes. Para esto se utilizó:

$$C_{adim} = \frac{C - C_{\infty}}{C_0 - C_{\infty}}; C_{adim} \in [0,1] \qquad \text{(Ec. 15)}$$

Donde C_{adim} es la concentración adimensional, C la concentración obtenida experimentalmente [g NaCl/100g pollo]; C_{∞} es la concentración obtenida en el último punto de medición, considerada como de equilibrio, y C_0 la concentración inicial.

Luego de transformar los datos de tiempo y concentraciones adimensionales en vectores, se realizó una regresión no lineal que encuentra un valor de D_{ap} de tal forma que los datos experimentales se ajusten a la Ecuación 12, y los intervalos de confianza del método.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Calibración

Los resultados de la calibración de la concentración de NaCl con respecto a la conductancia se muestran en la Figura 10, encontrándose una relación lineal entre ambos datos:

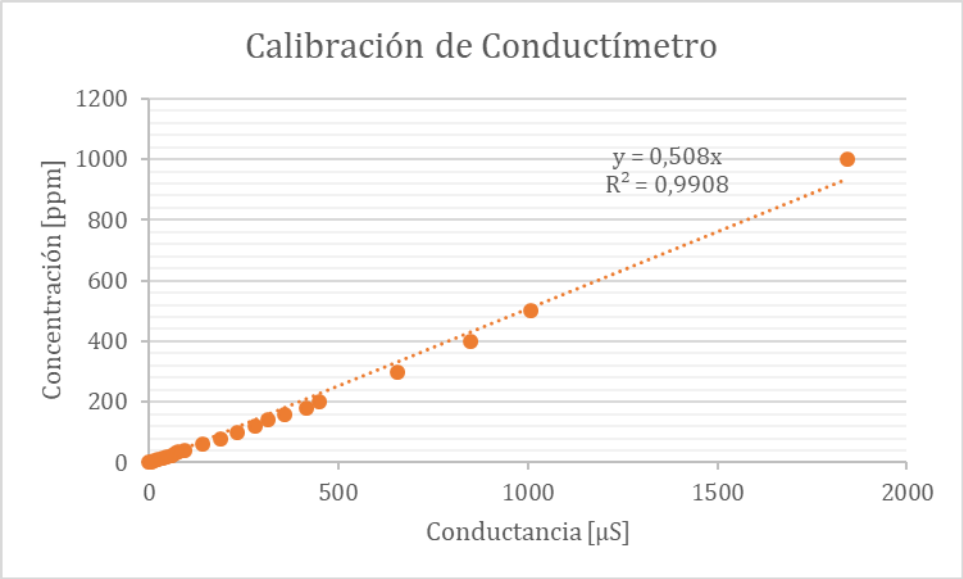


Figura 10: Curva de Calibración de Conductímetro.

Del gráfico se encuentra la relación (R^2=0,9908):

$$C = 0{,}508G \qquad \text{(Ec. 16)}$$

Con C concentración de NaCl en el agua, en [ppm], y G conductancia, en [µS]. Con esta relación, se puede comprobar que ambas unidades son directamente proporcionales, e intercambiables entre sí mediante una ecuación lineal.

4.2. Difusividades

Un resumen de los experimentos se puede hallar en el Anexo 1: Resultados Experimentales de Drenados.

A continuación, en la Tabla 3 se muestran los resultados de las regresiones no lineales aplicadas en los experimentos, junto con los intervalos de confianza respectivos.

Tabla 3: Aplicación de Modelo Difusivo.

Número	**Identificador**	**VARIABLES EXPERIMENTALES**		**DIFUSIVIDAD APARENTE [m²/s]**		
		Corte	**Proveedor**	**Límite Inferior**	**VALOR**	**Límite Superior**
1	8.1	Transversal	Marca A	6,561E-11	**6,594E-11**	6,622E-11
2	9.1	Transversal	Marca A	8,298E-11	**8,250E-11**	8,346E-11
3	10.2	Longitudinal	Marca B	9,042E-11	**9,078E-11**	9,114E-11
4	11.2	Transversal	Marca A	9,237E-11	**9,282E-11**	9,327E-11
5	12.1	Transversal	Marca A	7,110E-11	**7,150E-11**	7,191E-11
6	13.4	Transversal	Marca A	6,575E-11	**6,607E-11**	6,640E-11
7	14.1	Transversal	Marca B	6,794E-11	**6,838E-11**	6,883E-11
8	15.3	Transversal	Marca B	5,766E-11	**5,719E-11**	5,817E-11
9	16.2	Transversal	Marca A	1,208E-10	**1,222E-10**	1,236E-10
10	17.3	Longitudinal	Marca A	1,119E-10	**1,128E-10**	1,137E-10
11	18.1	Transversal	Marca A	5,966E-11	**6,006E-11**	6,047E-11
12	19.1	Longitudinal	Marca A	7,526E-11	**7,559E-11**	7,593E-11

4.3. Análisis estadísticos

4.3.1. Intervalos de Confianza

Para los cálculos de los intervalos de confianza presentados en la Figura 11, se utilizó la prueba estadística de T-Student.

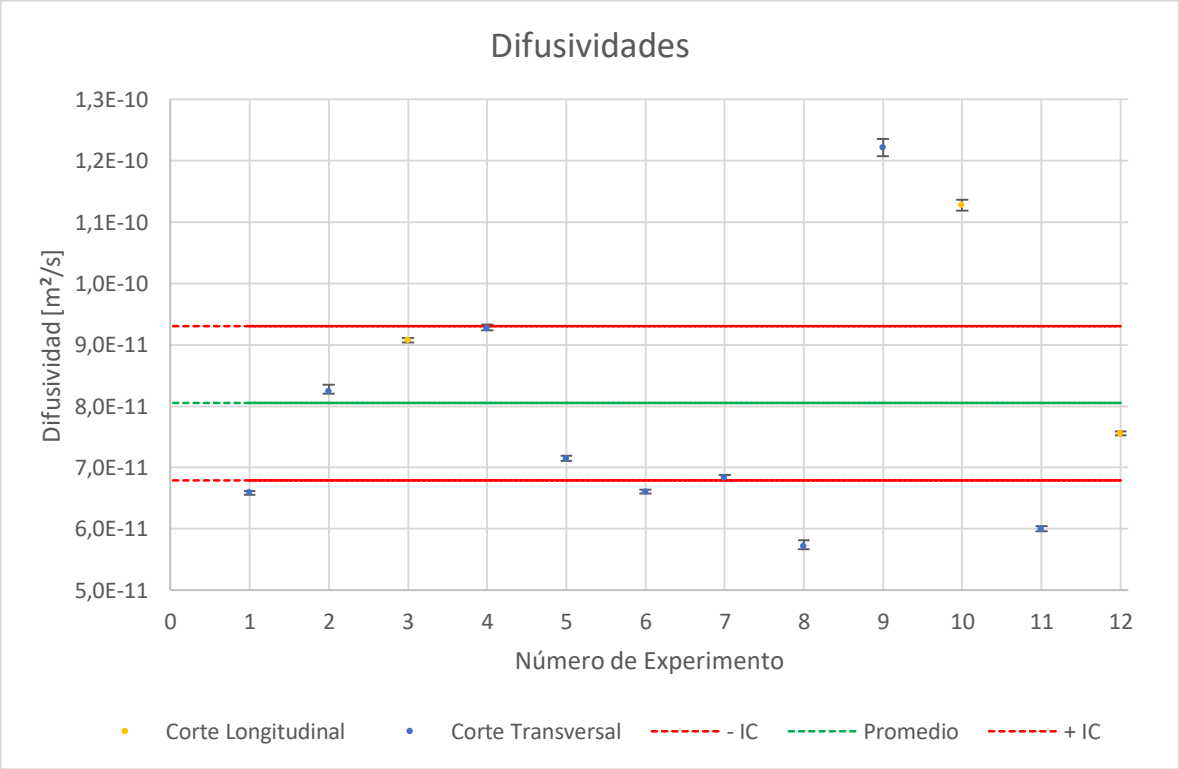


Figura 11: Aplicación de Modelo Difusivo.

Las barras de error presentes en los puntos de la figura anterior corresponden al error del método de regresión no lineal usado en el *software*, y reportado por el mismo.

4.3.2. Análisis de Cuartiles

Como se puede apreciar en la Figura 11, los experimentos 9 y 10 se alejan considerablemente de los intervalos de confianza comparativamente con el resto de los datos, por lo que se realizó la prueba de Rango Intercuartil de modo de determinar si estos experimentos son valores extremos, y, por tanto, descartables.

Los resultados se muestran en la Tabla 4, a continuación.

Tabla 4: Resultados de Análisis de Cuartiles.

Parámetro	Símbolo	Valor
Cuartil 1	Q1	6,6 E-11
Cuartil 3	Q3	9,1 E-11
Rango Intercuartil	IQR	2,5 E-11
Rango Mínimo	IQR_{Min}	2,8 E-11
Rango Máximo	IQR_{Max}	1,3 E-10

Una revisión a la Figura 11 muestra que todos los experimentos se encuentran dentro del rango establecidos por la prueba: el experimento 10, el mayor de todos con un valor de coeficiente difusivo de $1{,}128\ E-10$ es menor que el valor máximo del rango encontrado en la prueba. Esto lleva a la conclusión de que todos los datos deben tomarse en cuenta.

4.3.3. Análisis de Varianzas

Se realizó un análisis de varianzas para determinar si existe una diferencia significativa entre las muestras cortadas de forma longitudinal y transversal a la fibra muscular; esto se hizo utilizando la herramienta “Análisis de varianza de un factor” de Microsoft Excel™, con $\alpha = 0{,}05$. Los resultados se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultado Análisis de Varianza, por Corte.

Parámetro	Valor
Varianza Corte Transversal	4,18 E-22
Varianza Corte Longitudinal	3,50 E-22
F	1,56
Probabilidad	0,239
F crítico	4,96

Como muestran los resultados, $F < F_{crítico}$, por lo que se concluye que las variables no son estadísticamente distintas.

Asimismo, se analizaron los resultados en función de la marca adquirida. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultado Análisis de Varianza, por Marca.

Parámetro	Valor
Varianza Marca A	4,8 E-22
Varianza Marca B	2,9 E-22
F	0,637
Probabilidad	0,443
F crítico	4,96

Como se puede apreciar, $F < F_{crítico}$, concluyéndose así que la marca tampoco influye en los resultados.

Para más detalles, consultar Anexo 2: Análisis de Varianza.

4.4. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el modelo difusivo aplicado por medio de la Ec. 12 es adecuado para modelar el proceso de drenado de NaCl.

Los dos resultados alejados de la media que se observan en la Figura 11, ya que no son descartables según el análisis de cuartiles, podrían ser atribuibles a diferencias en el proceso de marinado original; nótese que ambos son de la Marca A, con distinto corte. Debido a las condiciones experimentales, no fue posible realizar más de una medición por bandeja: las pechugas debían ser compradas a más tardar con 24 horas de anticipación, y, una vez abiertas, no podían permanecer refrigeradas por más de dos días sin que hubiera cambios en sus características organolépticas. Fuera de estos, los resultados se muestran consistentes, condiciéndose con la literatura (Schmidt *et al*, 2008).

Los análisis de varianzas muestran que no existen diferencias significativas entre las muestras, ya sea cuando se analizan las marcas, o cuando se separan por corte. La falta de contraste es esperable en el caso de análisis de marcas, ya que en ambos casos se buscaron productos similares; la pechuga de pollo no es un producto considerado como "especializado", y es muy probable que las técnicas tanto de crianza como de OT sean similares. Por otra parte, los resultados con respecto al corte no son, en un principio, razonables: las fibras musculares son tubulares, y debería haber alguna diferencia en la difusión respecto a si el corte está hecho transversal o longitudinal a ellas. Sin embargo, al estar tratando con muestras que ya pasaron por OT, el complejo de proteínas y cloro ya permitió el ensanchamiento de las fibras musculares (Offer y Trinick, 1983), por lo que es

muy probable es que las fibras se hayan ensanchado de tal manera que cualquier diferencia en los mecanismos de difusión causados por la dirección de corte se vuelven despreciables.

Para futuros experimentos, se recomiendan experiencias de OT de pollo sin marinar para poder determinar una posible relación entre el corte de la pieza con respecto al músculo y la difusión. Este tratamiento debe hacerse con soluciones salinas menores al 6% p/p para evitar depolimerizar las fibras, y medirse de la misma manera presentada en este trabajo para obtener datos comparables.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La medición indirecta de la NaCl en pechuga de pollo por medio de la conductividad de la solución salina se muestra como una alternativa viable que puede reemplazar los métodos tradicionales. Los datos, resumidos en la Figura 11 muestran que la mayoría de los experimentos se acercan a los intervalos de confianza; los datos que se encuentran alejados no pueden ser considerados como extremos, posiblemente por la cantidad de datos analizados.

Los análisis de las variables revelan que ninguna de las consideradas en el estudio provocaron una diferencia significativa. La falta de diferencia significativa en el caso de los cortes podría deberse a que el pollo ya se encontraba marinado; los complejos miofibrilla-cloro están formados y las fibras musculares abiertas, haciendo la diferencia de corte menos significativa en comparación con una muestra sin marinar. Ya que ambas marcas fueron escogidas por tener características similares, el segundo análisis de varianza comprueba que no existen diferencias significativas entre los distintos productores.

Se recomienda, para futuros experimentos, marinar pechuga de pollo utilizando soluciones salinas al 6% p/p o menor, manteniendo el resto de las condiciones, para así estudiar la medición de conductancia en condiciones más parecidas a las encontradas en la industria.

6. REFERENCIAS

ACHIC (2018). Cortes de Pollo. Extraído desde https://achic.cl/014/cortes.php?id=pollo. Revisado por última vez el 29/Octubre/2018.

Alvarado, C., & McKee, S. (2007). Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. Journal of Applied Poultry Research, 16(1), 113-120.

Azuara, E., Cortés, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. International journal of food science & technology, 27(4), 409-418.

Cengel, Y. A. (2007). Heat and mass transfer. Tata McGraw-Hill Education.

Crank, J. (1979). The mathematics of diffusion. Oxford University Press.

Fennema, O & Carpenter, J. (1984). Water Activity in Muscle and Related Tissues. 37th Reciprocal Meat Conference, American Meat Science Association.

Fontes, N., Harper, N., Halling, P. J., & Barreiros, S. (2003). Salt hydrates for in situ water activity control have acid–base effects on enzymes in nonaqueous media. Biotechnology and bioengineering, 82(7), 802-808.

Gest, H. (2004). The discovery of microorganisms by Robert Hooke and Antoni Van Leeuwenhoek, fellows of the Royal Society. Notes and Records of the Royal Society, 58(2), 187-201.

INE (2017). Boletín de Ferias y Mataderos - período JAS 2017. Extraído desde http://www.ine.cl/inicio/agendaestadistica/2017/11/03/default-calendar/ferias-y-mataderos---período-jas-2017. Revisado por última vez el 15/Julio/2018.

K+S Chile (2018). Producción. Extraído desde http://www.ks-chile.com/produccion/. Revisado por última vez el 29/Octubre/2018.

Lemos, A. L. S. C., Nunes, D. R. M., & Viana, A. G. (1999). Optimization of the still-marinating process of chicken parts. Meat Science, 52(2), 227-234.

Ley N° 20.606 (2015), Sobre Composición Nutricional de los Alimentos y su Publicidad. Diario Oficial de la República de Chile

Giacomozzi, J. (2015). Actualización del Mercado Avícola. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.

Marangoni, F., Corsello, G., Cricelli, C., Ferrara, N., Ghiselli, A., Lucchin, L., & Poli, A. (2015). Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. Food & nutrition research, 59(1), 27606.

ODEPA (2018). Series de tiempo. Extraído desde https://www.odepa.gob.cl/precios/series-de-tiempo. Revisado por última vez el 25/Noviembre/2018.

Offer, G., Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat – the swelling and shrinking of myofibrils. Meat Science 8, 245–281.

Peleg, M (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. Journal of Food science, 53(4), 1216-1217.

Pizarro, M., Aguirre, R (2018). Boletín carne bovina: tendencias de producción, precios y comercio exterior. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.

Scalpini, V., Vergara, C. (2017). El impacto de la nueva ley de etiquetados de alimentos en la venta de productos en Chile. Perfiles Económicos Nº3, Julio 2017, pp. 7-33.

Schmidt, F. C., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2007). Salting operational diagrams for chicken breast cuts: hydration–dehydration. Journal of Food Engineering, 88(1), 36-44.

Schmidt, F. C., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2008). Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. Journal of Food Engineering, 91(4), 553-559.

Times Staff. (1982). A Brief History of Salt. Time. Extraído desde http://time.com/3957460/a-brief-history-of-salt/. Revisado por última vez el 11/Julio/2018.

USDA, Foreign Agricultural Service (2017). Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Extraído desde https://www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade. Revisado por última vez el 11/Julio/2018.

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1: Resultados Experimentales de Drenados.

Tabla 7: Condiciones Experimento 8.1.

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	10,379 [g]

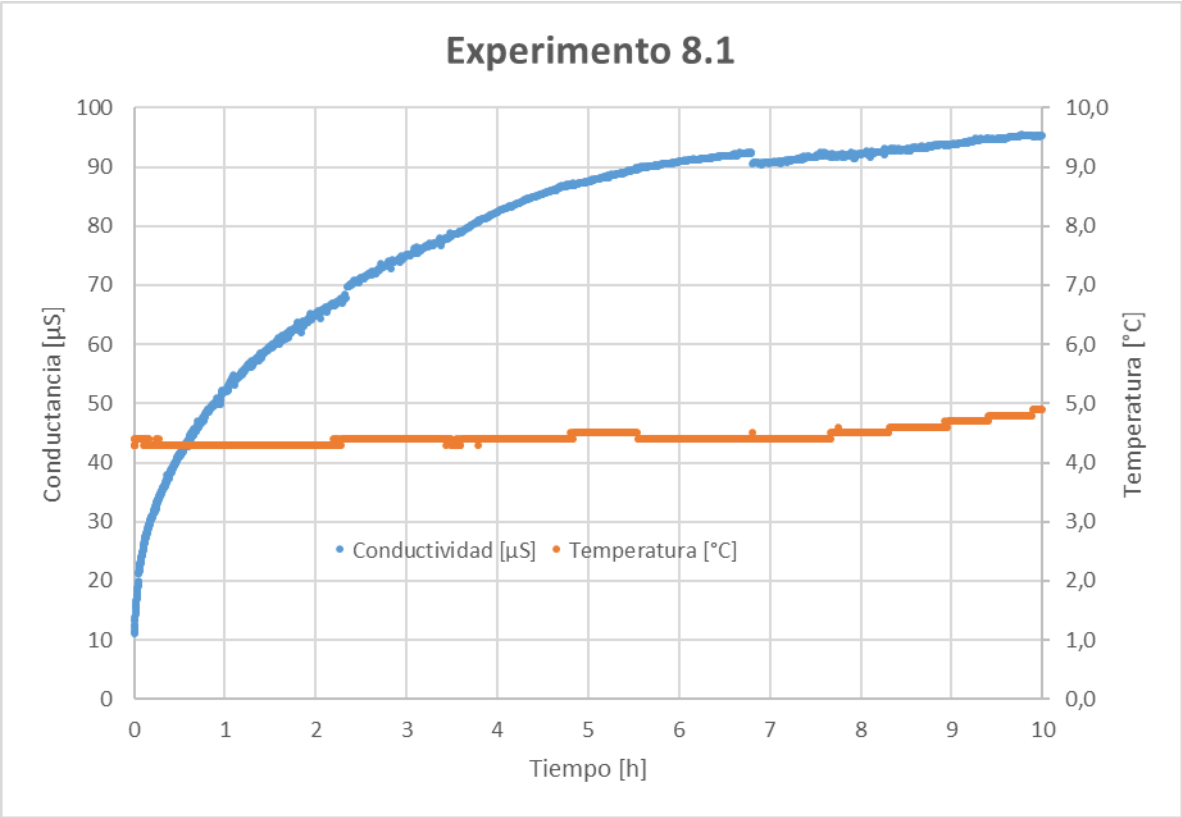


Figura 12: Resultados Experimento 8.1.

Tabla 8: Condiciones Experimento 9.1

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	9,897 [g]

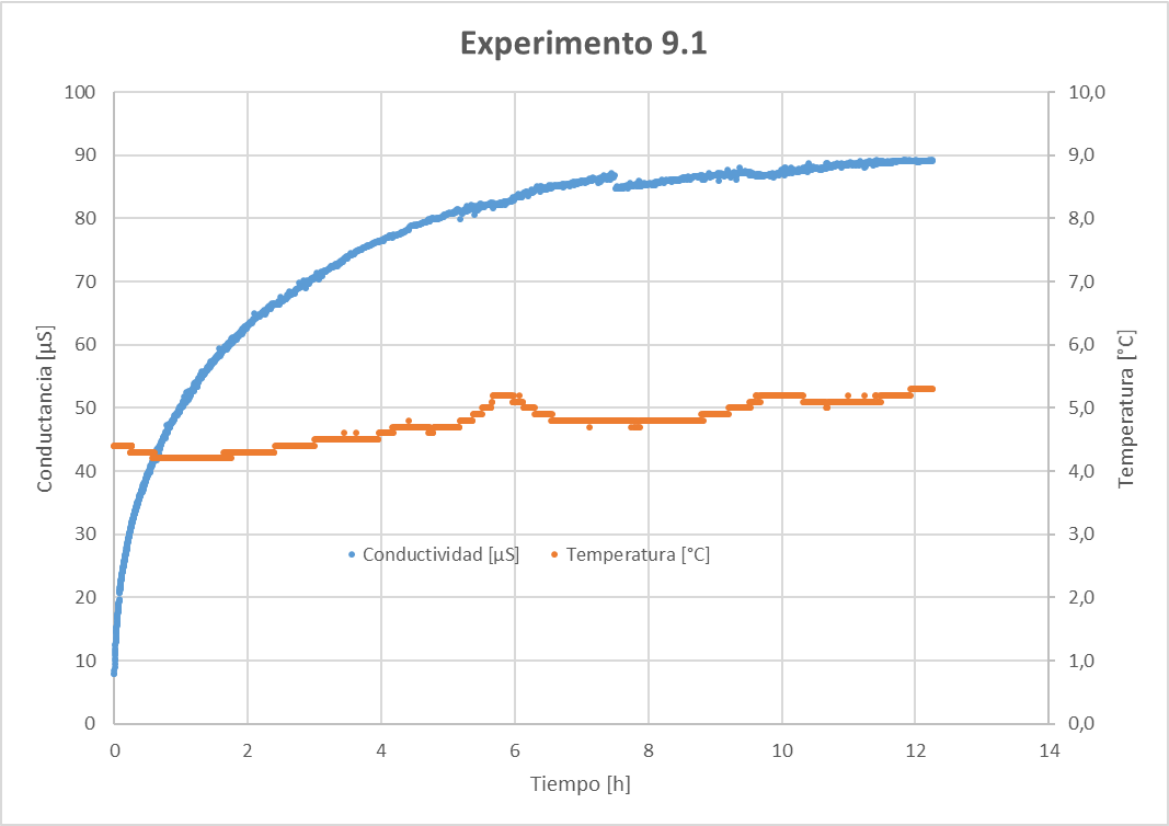


Figura 13: Resultados Experimento 9.1.

Tabla 9: Condiciones Experimento 10.2

Condición	Valor
Corte	Longitudinal
Marca	B
Masa Muestra	9,441 [g]

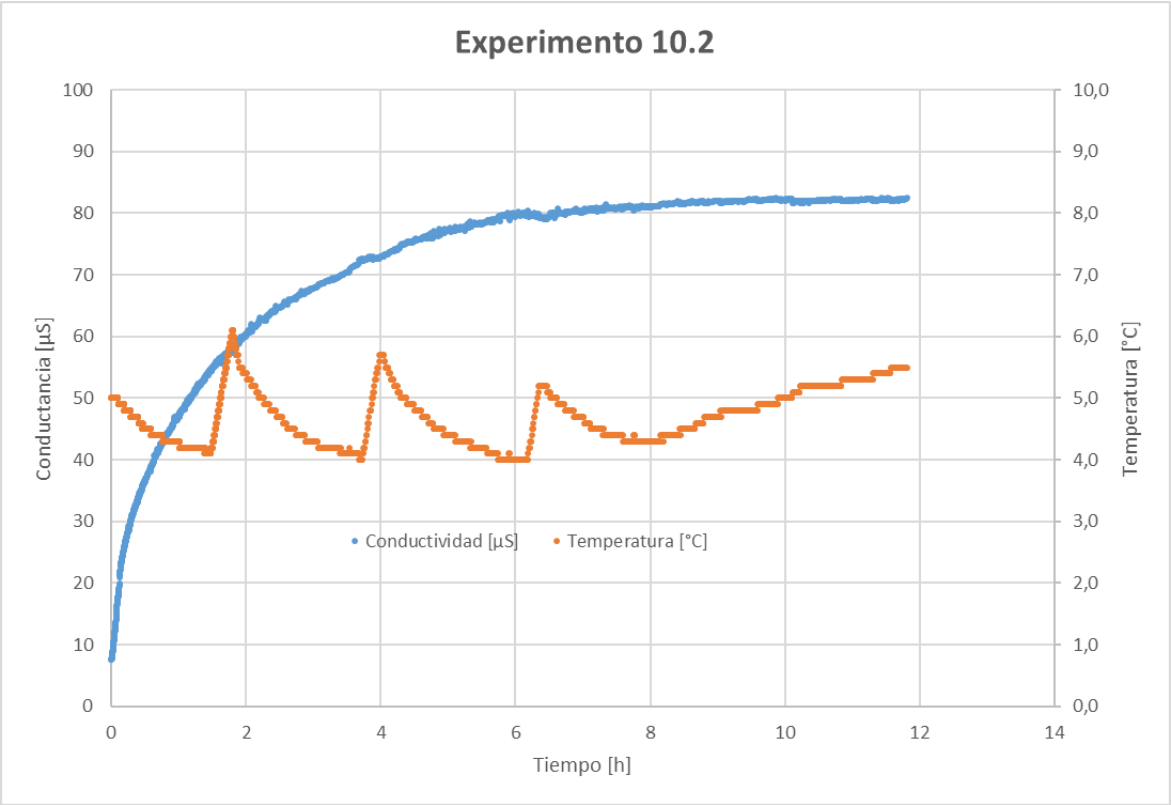


Figura 14: Resultados Experimento 10.2.

Tabla 10: Condiciones Experimento 11.2

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	9,208 [g]

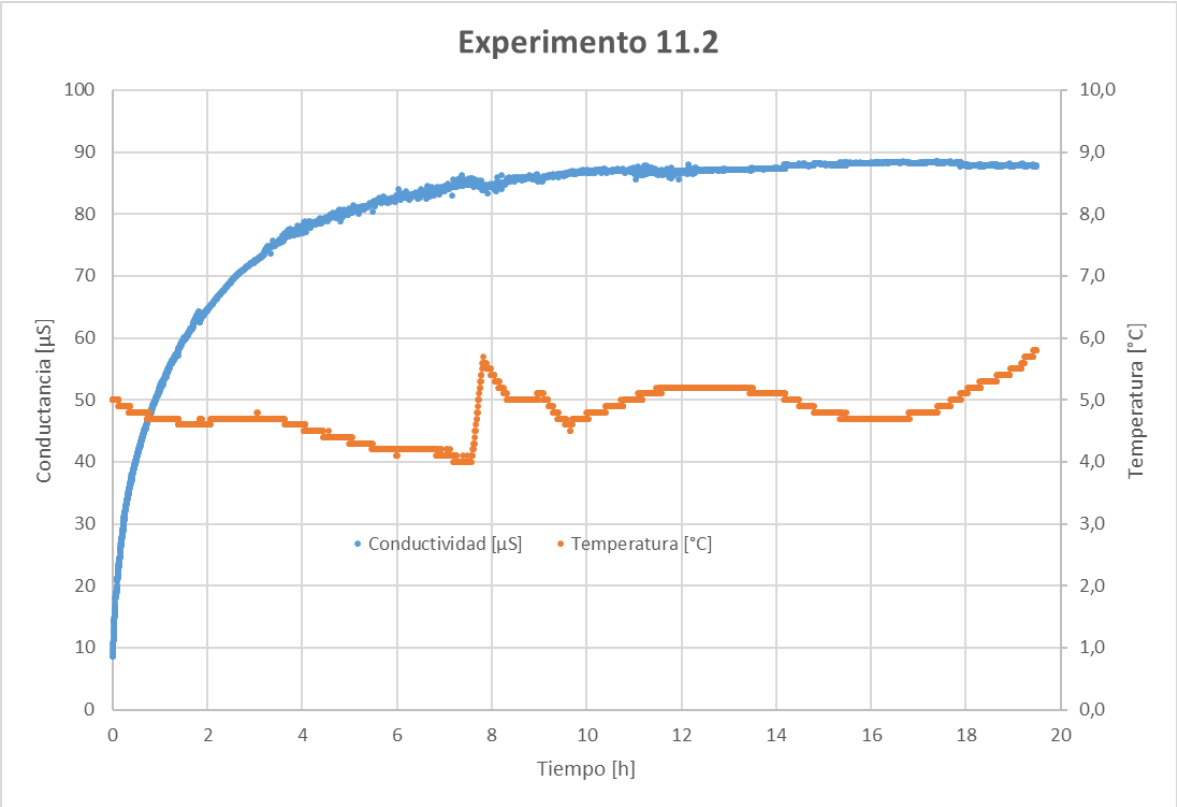


Figura 15: Resultados Experimento 11.2.

Tabla 11: Condiciones Experimento 12.1

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	10,06 [g]

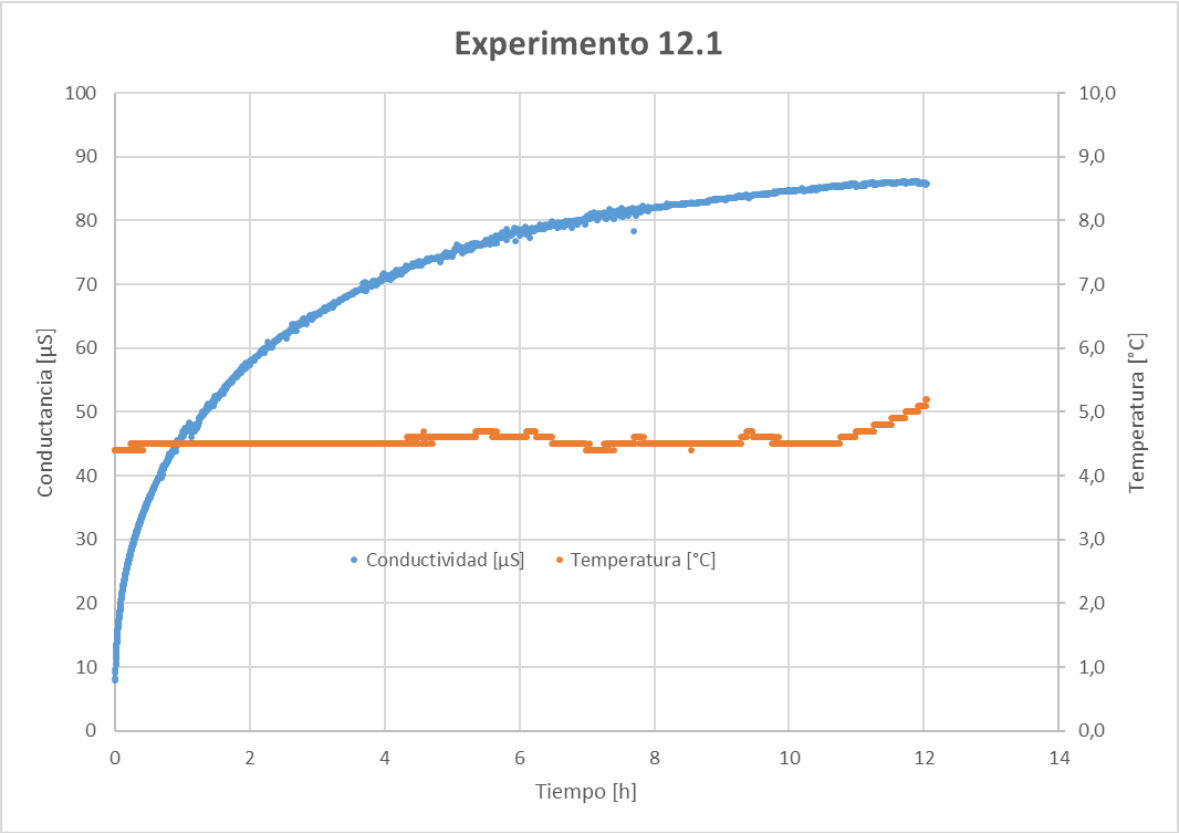


Figura 16: Resultados Experimento 12.1.

Tabla 12: Condiciones Experimento 13.4.

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	9,142 [g]

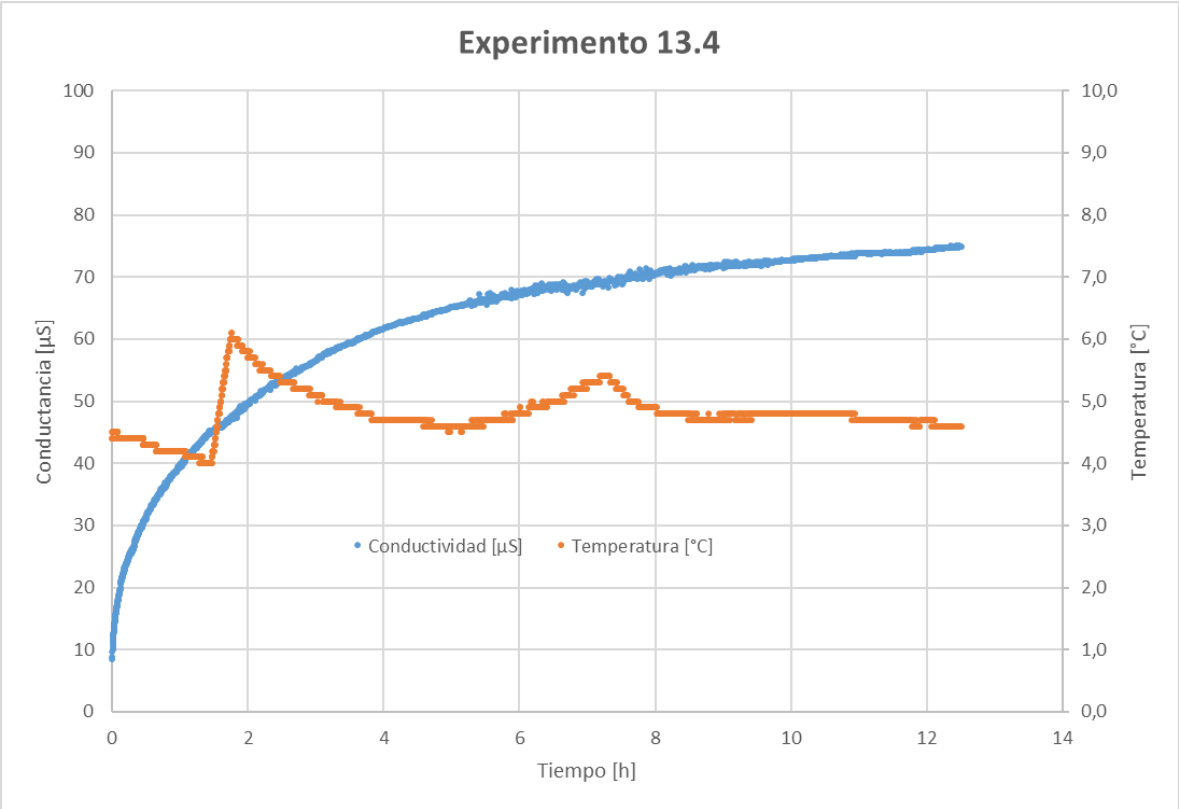


Figura 17: Resultados Experimento 13.4.

Tabla 13: Condiciones Experimento 14.1.

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	B
Masa Muestra	9,705 [g]

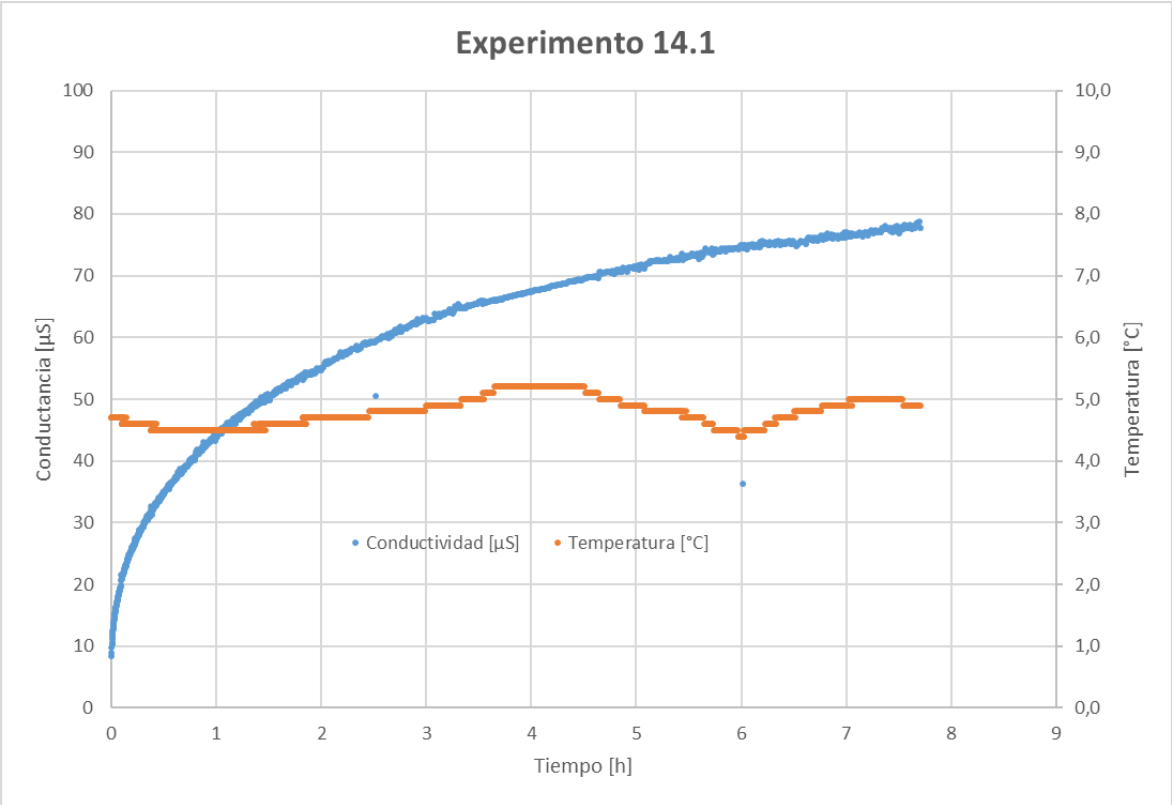


Figura 18: Resultados Experimento 14.1.

Tabla 14: Condiciones Experimento 15.3.

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	B
Masa Muestra	9,963 [g]

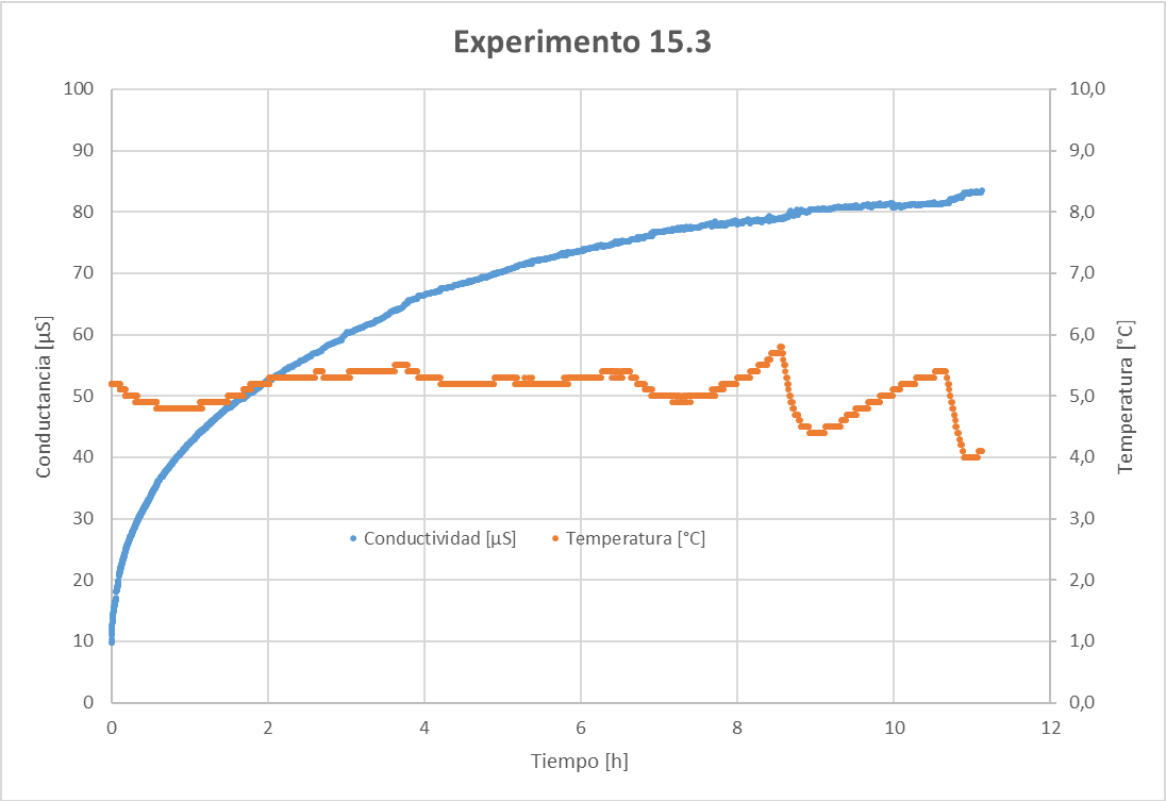


Figura 19: Resultados Experimento 15.3.

Tabla 15: Condiciones Experimento 16.2

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	9,448 [g]

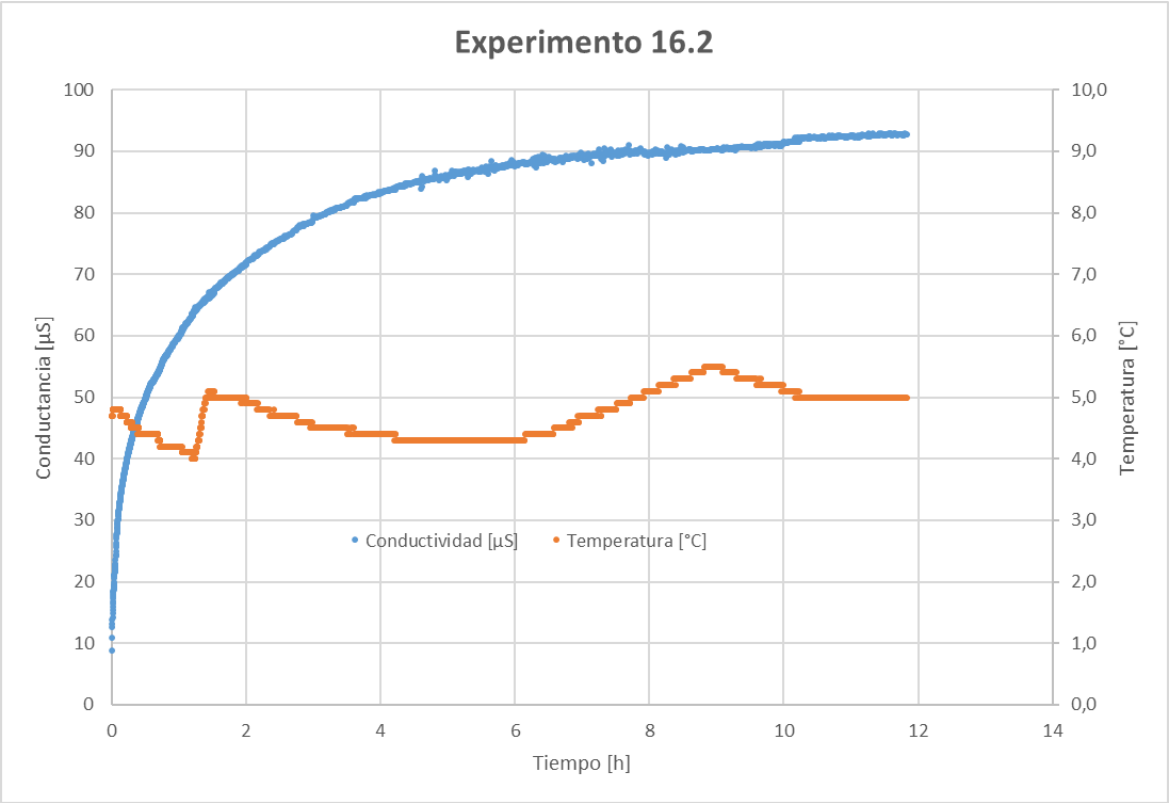


Figura 20: Resultados Experimento 16.2.

Tabla 16: Condiciones Experimento 17.3.

Condición	Valor
Corte	Longitudinal
Marca	A
Masa Muestra	9,386 [g]

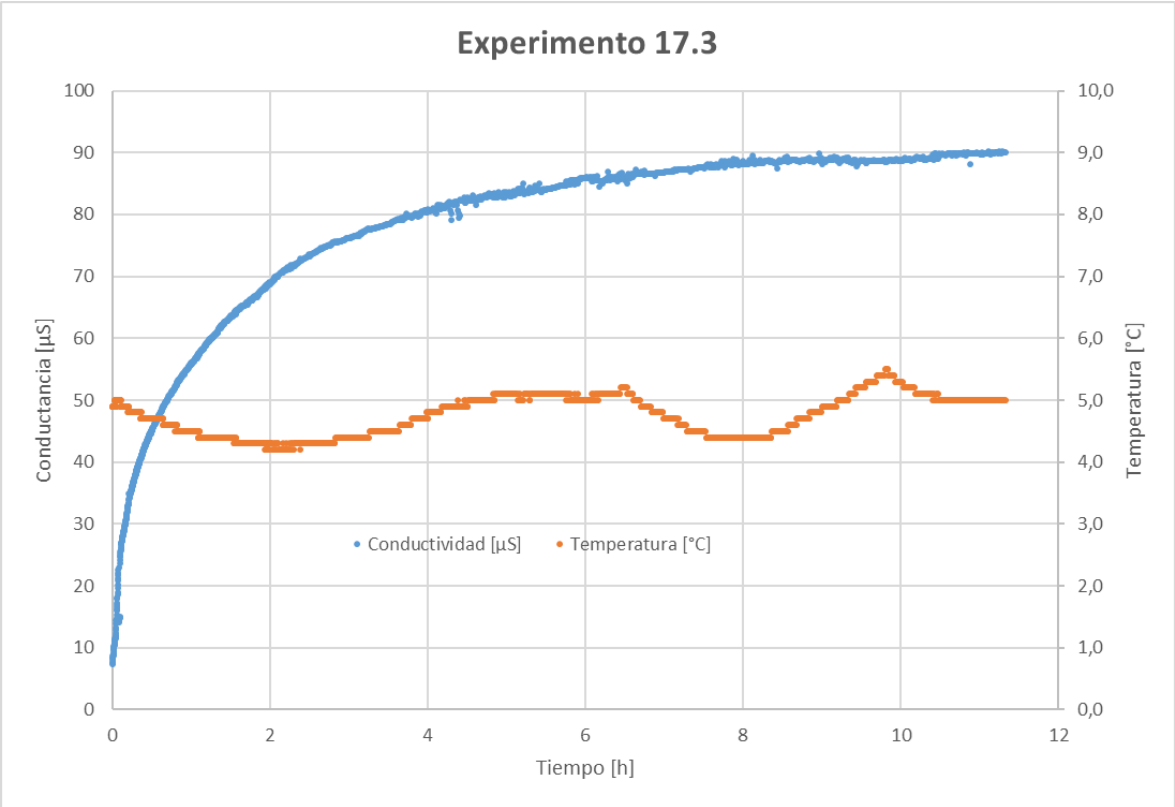


Figura 21: Resultados Experimento 17.3.

Tabla 17: Condiciones Experimento 18.1

Condición	Valor
Corte	Transversal
Marca	A
Masa Muestra	10,016 [g]

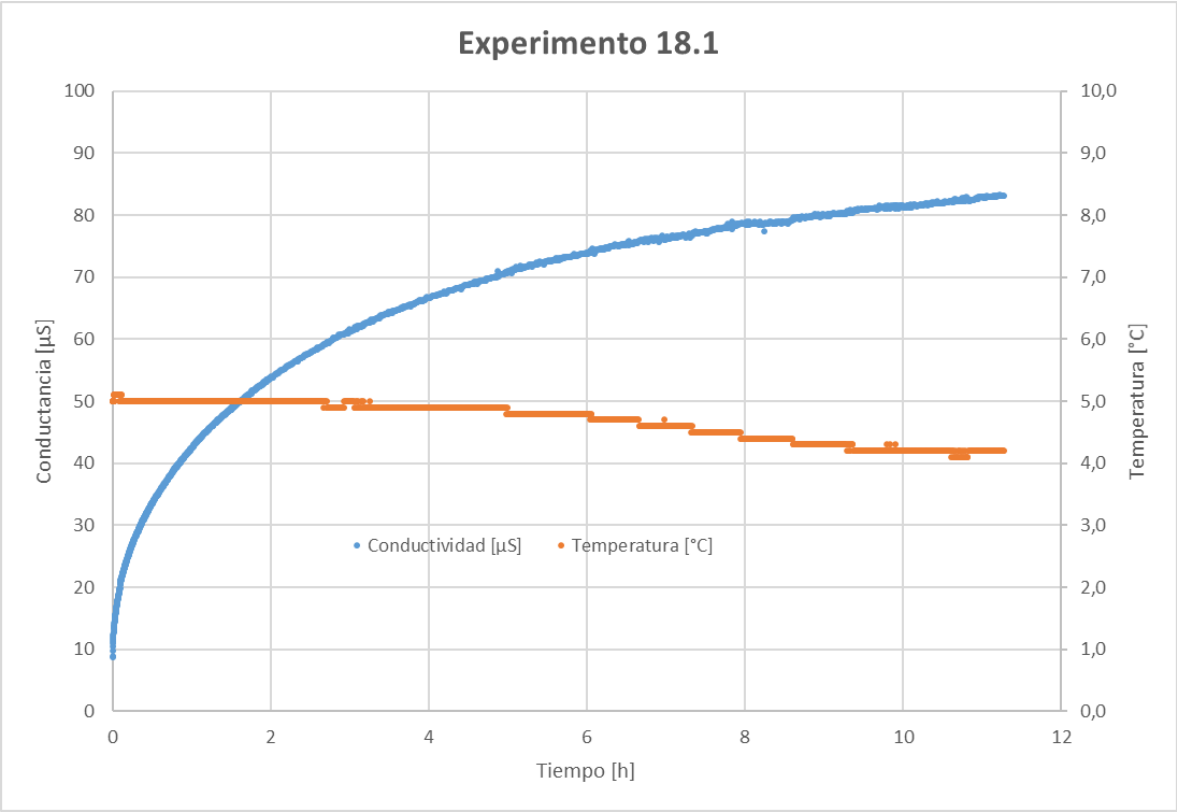


Figura 22: Resultados Experimento 18.1.

Tabla 18: Condiciones Experimento 19.1

Condición	Valor
Corte	Longitudinal
Marca	A
Masa Muestra	9,576 [g]

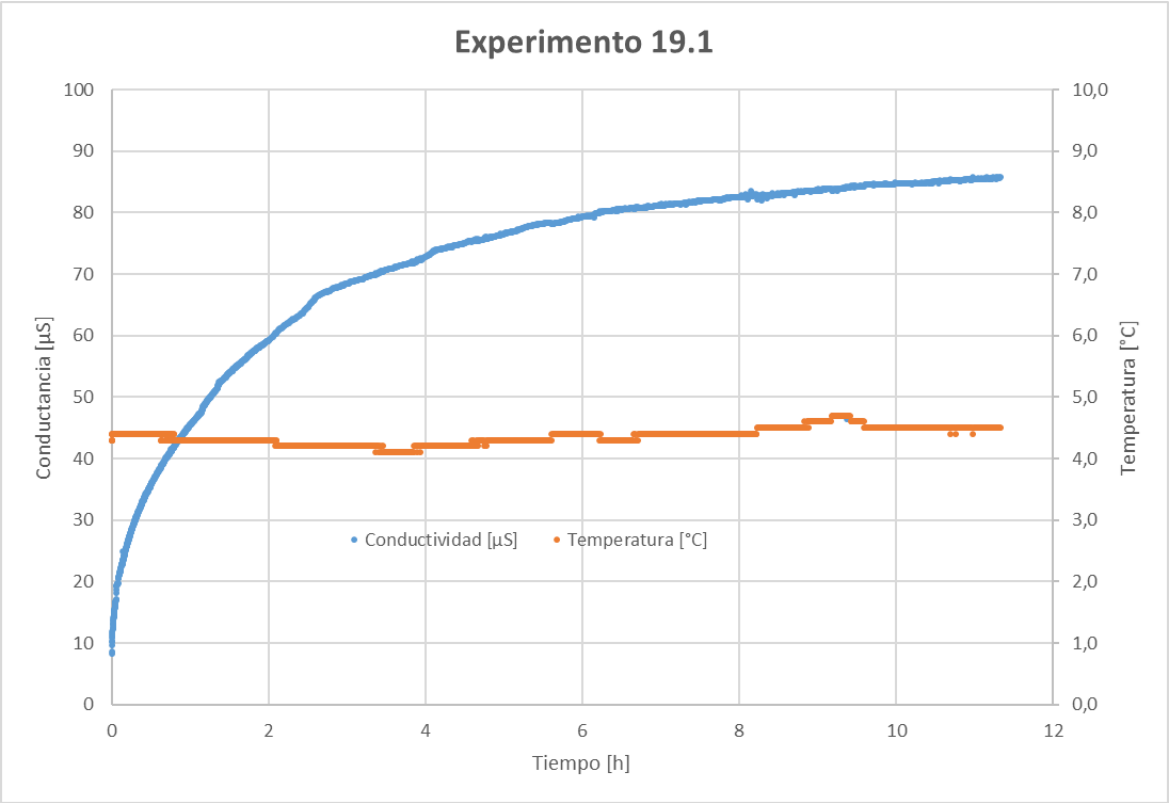


Figura 23: Resultados Experimento 19.1.

7.2. Anexo 2: Análisis de Varianza.

Tabla 19: Análisis de Varianza por Corte, Resumen.

Grupos	***Cuenta***	***Suma***	***Promedio***	***Varianza***
Corte Transversal	9	6,8666E-10	7,62956E-11	4,18105E-22
Corte Longitudinal	3	2,7917E-10	9,30567E-11	3,50033E-22

Tabla 20: Análisis de Varianza por Corte.

Origen de variaciones	***Suma de cuadrados***	***Grados de libertad***	***Promedio de cuadrados***	***F***	***Probab.***	***F Crítico***
Entre grupos	6,321 E-22	1	6,32103 E-22	1,563	0,2397	4,965
Dentro de los grupos	4,045 E-21	10	4,04491 E-22			
Total	4,677 E-21	11				

Tabla 21: Análisis de Varianza por Marca, Resumen.

Grupos	***Cuenta***	***Suma***	***Promedio***	***Varianza***
Marca A	9	7,4948E-10	8,32756E-11	4,76469E-22
Marca B	3	2,1635E-10	7,21167E-11	2,92544E-22

Tabla 22: Análisis de Varianza por Marca.

Origen de variaciones	***Suma de cuadrados***	***Grados de libertad***	***Promedio de cuadrados***	***F***	***Probab.***	***F Crítico***
Entre grupos	2,802 E-22	1	2,80172 E-22	0,637	0,4433	4,965
Dentro de los grupos	4,397 E-21	10	4,39684 E-22			
Total	4,677 E-21	11				