

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA



**ESTUDIO DE LA CINÉTICA EN LOS PROCESOS
COMBINADOS DE LA DESHIDRATACIÓN
OSMÓTICA Y SECADO DE FILETES DE
PEJERREY (*Odontesthes regia regia*)**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

ALDO ELISEO ROCA SABOYA

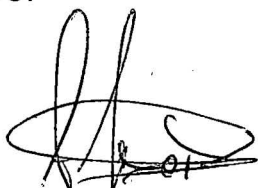
JEFFERSON BRYAN VIDALON FLORES

Callao, 29 de Mayo del 2014

PERÚ

REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

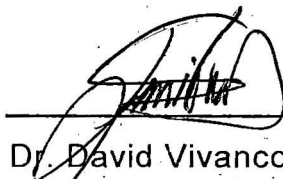
La presente investigación científico titulado: "ESTUDIO DE LA CINÉTICA EN LOS PROCESOS COMBINADOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO DE FILETES DE PEJERREY (*Odontesthes regia regia*)" fue realizado por los siguientes autores: Aldo Eliseo Roca Saboya y Jefferson Bryan Vidalón Flores, bajo la supervisión del Asesor de la Tesis Dr. David Vivanco Pezantes y teniendo como miembros del jurado de la tesis como Presidenta a la Dra. Isabel Mercedes Berrocal Martínez, como secretario Ing. Trinidad Mercedes Huanay Herrera y como vocal Mg. Etelvina Carmen León Chumbiauca; con Resolución de Decanato N°0110-2013-DFIPA con numero de Acta se Sustentación de Tesis N°001-78 y con Fecha de Aprobación el día 11 de Diciembre del 2013.



Aldo Eliseo Roca Saboya
TESISTA



Jefferson Bryan Vidalón Flores
TESISTA



Dr. David Vivanco Pezantes
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, por su constante apoyo en el desarrollo y culminación de la presente Investigación Científica.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios ante todo por mantener esa fuerza espiritual para continuar en el camino de la vida hacia el éxito personal y profesional.

Mi gratitud y reconocimiento al apoyo valioso para la ejecución del presente trabajo; al asesor de la Tesis Dr. David Vivanco Pezantes Decano de la Facultad de Ingeniería de Pesquera y de Alimentos y al Ing. Erick George Álvarez Yanamango.

Al Centro Experimental Tecnológico de la Universidad Nacional del Callao, en especial a la Directora de este ente importante Ing. Ana Mercado del Pino.

A mis padres por el invaluable ejemplo de vida y amor que me dieron durante todos estos años por creer y confiar en mí.

Al Ingeniera Rosa Mendoza Mirabal, por su apoyo moral en mi vida profesional.

2.2.2.1.1.3 Solución osmótica	41
2.2.2.1.2 Deshidratación Osmótica – Salado	42
2.2.2.1.2.1 La sal como agente osmótico	44
2.2.2.1.2.2 La deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado por aire caliente	46
2.2.2.2 Proceso de secado de alimentos	49
2.2.2.2.1 Teoría del secado por aire caliente	50
2.2.2.2.2 Periodos de Secado	53
2.2.2.2.3 Métodos de secado	58
2.2.2.2.4 Secado por aire caliente: influencia del pretratamiento osmótico	59
2.2.2.2.5 Modelos para la cinética de secado por aire caliente	60
2.3 Definiciones conceptuales	65
III. VARIABLES E HIPOTESIS	68
3.1 Variables de la investigación	68
3.2 Operacionalización de variables	69
3.3 Hipótesis General	69

IV METODOLOGIA	70
4.1 Tipo de investigación	70
4.2 Diseño Metodológico	70
4.3 Población y muestra	77
4.4 Técnicas de recolección de datos	78
4.4.1 Lugar de ejecución	78
4.4.2 Evaluación de las características	
Organolépticas y fisicoquímicas de los	
Filetes de Pejerrey (Humedad y % NaCl)	78
4.4.2.1 Determinaciones sensoriales	80
4.4.2.2 Determinaciones analíticas	81
4.4.3 Evaluación del efecto de la concentración	
de Sal sobre la pérdida de humedad y	
ganancia de sólidos durante la	
deshidratación osmótica	88
4.4.4 Evaluación del efecto de la temperatura de	
secado por aire caliente sobre el tiempo y	
la velocidad de pérdida de agua	91
4.4.4.1 Cinética de secado	91
4.4.4.2 Velocidad de secado	92
4.4.4.3 Energía de Activación	94
4.4.4.4 Modelos para el proceso de secado	

por aire caliente	95
4.5 Técnicas para el procesamiento de la Información	98
V RESULTADOS	101
5.1 Estudio del pretratamiento de la deshidratación Osmótica	101
5.2 Estudio de la operación de secado por aire caliente	105
5.2.1 Características de la Materia-prima	105
5.2.2 Resultados experimentales del proceso de Secado	105
5.2.2.1 Cinética de secado	105
5.2.2.2 Velocidad de secado	108
5.2.2.3 Estudio de la energía de activación (E_a)	109
5.2.2.4 Modelación del proceso de secado por aire caliente	111
VI DISCUSION DE RESULTADOS	121
VII CONCLUSIONES	123
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	125
ANEXOS	131

TABLAS DE CONTENIDO

TITULO	FIGURA
PEJERREY	N° 1
VOLUMEN DE CAPTURA DE PEJERREY EN EL PERÚ	N° 2
DIFUSIÓN EN EL PROCESO DE SALADO	N° 3
CURVA DE SECADO	N° 4
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO	N° 5
DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROCESAMIENTO DE FILETES DE PEJERREY (DESHIDRATADOS OSMÓTICAMENTE Y SECADO)	N° 6
GRAFICA DE PARETO PARA LA VARIABLE DE RESPUESTA DEL TIEMPO DE SECADO	N° 7
SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EL TIEMPO DE SECADO DE LOS FILETES DE PEJERREY	N° 8
SUPERFICIE DE CONTORNO PARA EL TIEMPO DE SECADO DE LOS FILETES DE PEJERREY	N° 9
MATERIA-PRIMA	N° 10
MATERIA-PRIMA HABILITADA	N° 11
MATERIALES PARA EL PROCESO DE SALADO	N° 12
EQUIPO PARA EL PROCESO DE OSMOSIS	N° 13
SECADOR EXPERIMENTAL	N° 14
CONTROL DE TEMPERATURA Y VENTILADOR DEL SECADOR	N° 15
BALANZA ANALÍTICA	N° 16

CURVA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FILETES DE PEJERREY A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SALMUERA	Nº 17
VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS A 22% NaCl	Nº 18
VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS A 26% NaCl	Nº 19
VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS A 30% NaCl	Nº 20
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECADO (°C)	Nº 21
VELOCIDAD DE SECADO FRENTE A LA HUMEDAD A DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECADO (°C)	Nº 22
Ln MR versus TIEMPO DE SECADO, PARA CADA CURVA DE SECADO (°C)	Nº 23
VALORES DE Ln (D_{ef}) vs. 1/T	Nº 24
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A 40°C, CON VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO DE 1 m/s	Nº 25
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A 50°C, CON VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO DE 1m/s	Nº 26
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A 60°C, CON VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO DE 1 m/s	Nº 27

TITULO	TABLA
PEJERREY	Nº1
TAXONOMÍA	Nº2
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL	Nº 3

ÁCIDO GRASO	N° 4
COMPONENTES MINERALES	N° 5
NIVELES DECODIFICADOS DE LAS VARIABLES	N° 6
MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL CODIFICADA (3 ²)	N° 7
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	N° 8
COEFICIENTES DE REGRESIÓN DEL MODELO DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA	N° 9

TITULO	CUADRO
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	N° 1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	N° 2
TIEMPO DE SECADO	N° 3
VALORES DE LAS DIFUSIVIDADES	N° 4
PARÁMETROS DEL MODELO DE NEWTON Y COEFICIENTE DETERMINACIÓN (r^2), DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE LA CINÉTICA DEL PEJERREY	N° 5
PARÁMETROS DEL MODELO DE PAGE Y COEFICIENTE DETERMINACIÓN (r^2), CALCULADOS POR REGRESIÓN DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE LA CINÉTICA DEL PEJERREY	N° 6
COEFICIENTE DE DIFUSIÓN PARA EL MODELO FICK	N° 7
PARÁMETROS DEL MODELO DE NEWTON Y COEFICIENTE DETERMINACIÓN (r^2), DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE LA CINÉTICA DEL PEJERREY	N° 8

NOMENCLATURA UTILIZADA

a_w = Actividad de agua (adimensional)

%HR = Humedad relativa (%)

X_w = Humedad de la muestra ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{s.s.}}$)

X_o = Humedad inicial ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{s.s.}}$)

X_e = Humedad en equilibrio ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{s.s.}}$)

X = Humedad media del sólido en cualquier tiempo ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{s.s.}}$)

S.s. = Sólido seco

N = Cantidad de datos

D_{ef} = Difusividad efectiva del agua ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

t = Tiempo de secado (min.)

MR = Relación de humedad (adimensional)

k_1 = Parámetro del modelo de Newton

k_2, n = Parámetros del modelo de Page

DO = Deshidratación osmótica

NaCl = Cloruro de sodio

ITP = Instituto de Tecnológico Pesquero del Perú

RESUMEN

Se realizó la deshidratación osmótica de filetes de pejerrey utilizando como agente osmótico a Cloruro de Sodio en tres concentraciones de salmuera (15%, 26% y 30%) evaluándose durante el proceso la variación de peso, la humedad y concentración de NaCl, siendo concluido esta etapa cuando los filetes alcanzaron una concentración de 2-2,5% de NaCl, finalmente siendo sometidos al proceso de secado por aire caliente a tres temperaturas de bulbo seco (40, 50 y 60°C) con una velocidad de aire de secado de 1,5m/s, evaluándose la variación de humedad en relación al tiempo de secado. Las diferentes curvas de secado obtenidas determinaron que el menor tiempo de secado en relación a la mayor pérdida de humedad, se obtuvo con una temperatura de 60°C. Asimismo, se determinó la difusividad efectiva del agua a los tres tratamientos de temperatura de secado obteniéndose un D_{ef} de 5,71 a $9,29 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$, el cual se obtuvo utilizando la 2^{da} Ley de Fick. Por otro lado, se determinó la relación temperatura y difusividad efectiva mediante la energía de activación E_a siendo esta de 20,68kJ. Los procesos ensayados se optimizaron con la Metodología Superficie de Respuesta (MSR) donde se evaluó la interacción entre las variables de concentración de NaCl y Temperatura de secado para determinar la relación matemática frente al tiempo de secado.

Las corridas experimentales del secado fueron modeladas con los modelos empíricos de Page y Newton se obtuvo mejor calidad de ajuste con el modelo matemático de Page que muestra mejor calidad de ajuste de la ecuación matemática sobre los datos experimentales y obteniendo el cálculo del tiempo de secado.

ABSTRACT

The fillets osmotic dehydration as the osmotic agent mackerel using a sodium chloride brine at three concentrations (15%, 26% and 30%) evaluated during weight variation, humidity and concentration of NaCl was conducted, concluded this stage when the steaks reach a concentration of 2-2, 5% NaCl, finally being subjected to hot drying air dry bulb three temperatures (40, 50 and 60°C) with a drying air rate of 1,5m/s, evaluating the relative humidity variation of drying time. The different drying curves obtained determined that shorter drying times in relation to further moisture loss was obtained with a temperature of 60°C. Furthermore, the effective diffusivity of water was determined at the three drying processes to yield a 5,71 to Def $9,29 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$, which was obtained using Fick's 2nd law. Furthermore, the temperature and diffusivity ratio was determined by the activation energy E_a is being 20,68 kJ. The tested processes were optimized with the Response Surface Methodology (MSR) in which the interaction between variables was assessed NaCl concentration and temperature of drying to determine the mathematical relationship versus drying time. Experimental runs drying were modeled with the empirical model of Page and Newton better quality of fit was obtained with the mathematical model Page showing better quality of fit of the mathematical equation on experimental data and obtaining the calculation of drying time.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El pejerrey marino (*Odontesthes regia regia*), como toda especie marina, es altamente perecible, debido a factores ambientales, manipulación post-extracción y factores microbiológicos y actividad enzimática por su contenido enzimático, tan pronto como el pescado ha sido capturado comienza a deteriorarse iniciando el proceso de pérdida de rendimiento, porcentaje de proteínas, porcentaje del contenido de agua, características iniciales como textura, color y olor.

En la actualidad, y a raíz de la mayor disponibilidad de redes en frío, en los países desarrollados se tiende a usar el salado orientado hacia el desarrollo de sabores y aromas características de este tipo de producto, siendo recomendable usar niveles menores de sal de 12% ($\text{g}_{\text{sal}}/100\text{g}_{\text{salmuera}}$) (Fuentes, 2007).

Proponiéndose al salado como un proceso de conservación, que prolonga el período de comercialización a condiciones de almacenamiento de menor costo, que los métodos de refrigeración o congelación (ITP, 1998), Según Dávila (2005)

reportó que los productos salados son los más difundidos internacionalmente, por la tendencia a promover la inversión en productos destinados para consumo humano directo, considerando como desventajas, en su elaboración, el tiempo prolongado de impregnación de sólidos en el tejido, la manipulación y conservación inapropiadas de la materia prima y la aplicación de técnicas tradicionales no mejoradas ni optimizadas, por considerarlas sencillas (Dávila, 2005).

Este especie marina es un animal de gran poder nutritivo pero se desconoce si tienen la misma respuesta que las demás especies hidrobiológicas utilizadas en los procesos de deshidratación y/o secado.

La tecnología de los métodos combinados permite reducir la intensidad del tratamiento térmico y mantener las propiedades organolépticas en el producto final, mediante una combinación de obstáculos que aseguran la estabilidad y seguridad microbiana.

La utilización de la deshidratación como tratamiento, en todas sus variantes, permite procesar cualquier producto alimenticio para la obtención de un producto final estable. Sin embargo demanda un manejo de los parámetros adecuados en el

tratamiento de deshidratado, para evitar producir en los alimentos algunas transformaciones que pueden atentar con su calidad final, entre ellas podemos mencionar: alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc. (Corzo, 2009).

Por lo antes expuesto la presente investigación, se aplicará los procesos combinados de deshidratación osmótica y secado por aire caliente para tener productos seco-salados de calidad. Estos deben elaborarse cuidadosamente para evitar pérdidas de rendimiento y reducción de calidad que se igualan a un reducido valor de los productos finales y costos de producción. Menores rendimientos y calidad lo hacen a uno menos competente en el mercado (Pérez, 2011).

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál será la concentración de sal y temperatura de secado usados en los procesos combinados de deshidratación osmótica y secado, que permitan obtener filetes de pejerrey deshidratados con humedad comercial?

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo General

Estudiar la cinética de los procesos combinados de la deshidratación osmótica y secado de los filetes de pejerrey.

Objetivo Específico

- Evaluar las características fisicoquímicas (Humedad y %NaCl) organolépticas de los Filetes de Pejerrey.
- Evaluar el efecto de la concentración de Sal sobre la pérdida de humedad y ganancia de sólidos, durante la deshidratación osmótica.
- Evaluar el efecto de la temperatura de secado por aire caliente sobre el tiempo y la velocidad de pérdida de agua.
- Determinar el coeficiente de transferencia de masa en el proceso de secado de filetes de pejerrey.
- Evaluar la calidad fisico-química (Humedad y %NaCl) de los filetes de Pejerrey seco - salados.

1.4 Justificación de la investigación

Una de las principales claves para prevenir la falta de alimentación de la población peruana, es la elaboración de productos seco-salados altamente nutritivos y de bajo costo. Las fuentes de recursos pesqueros apropiados para el procesamiento de productos seco-salados se encuentran en zonas donde las condiciones climáticas y ambientales, restringen el uso del secado natural y el abastecimiento, haciendo la poca estacionalidad del producto (IMARPE & ITP, 1996).

Por otro lado, los nuevos hábitos alimentarios están potenciando, cada día más, cambios en el panorama de la industria de alimentos, es decir al consumo de humano directo, la dieta actual se caracteriza por un consumo per cápita de recursos pesqueros seco-salado de 482 gramos anuales. Estima que existen alrededor de 934 mercados que en promedio consumen 28 kilos de pescado seco-salado por semana, con un total de 14 mil toneladas en el Perú. Por esta razón estudiaremos la cinética de los procesos combinados de deshidratación osmótica y secado por aire caliente en el músculo de pejerrey, que permita mejorar la conservación del producto y evitar reacciones deteriorativas como el enranciamiento por oxidación de ácidos grasos y descomposición química-enzimático por actividad microbiana.



La utilización del pescado como base para la innovación en el sector alimentario es una opción muy interesante, ya que la preocupación por la dieta y su influencia en la salud, ha contribuido a la revalorización de la imagen del pescado, convirtiéndolo en una excelente materia prima para la elaboración de productos saludables, como son los productos con bajo contenido en grasa, bajos en sal o productos enriquecidos con vitaminas y minerales.

Finalmente el estudio que emprendemos queda justificado porque los resultados de la investigación serán una contribución al desarrollo de la ciencia y la tecnología a la Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos de la Universidad Nacional del Callao así como en el sector pesquero.

1.5 Importancia

La importancia de optimizar los procesos de deshidratación osmótica y secado por aire caliente radican en brindar un adecuado manejo de los diversos factores que interviene en estos procesos, para obtener un producto final estable física y microbiológicamente. Estudiar la cinética de los procesos combinado de Deshidratación Osmótica y secado por aire caliente permitirán ser adoptados en las

zonas donde la abundancia de especies hidrobiológicas requieran procesos de preservación que permitan que estos productos se puedan ofertar mejor al mercado.

La importancia del estudio reside en el menor tiempo de exposición de la materia prima al agente osmótica por la aplicación de métodos combinados de deshidratación, la obtención de un producto de consumo humano directo de mejor calidad sensorial con menor impregnación de sólidos, la aplicación de una alternativa tecnológica de salado con el consiguiente secado por aire caliente, evitando inconvenientes en el proceso de rehidratación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Corzo, O y col. (2005). Determinaron el efecto de las características de flujo de la salmuera sobre la pérdida de agua, ganancia de sal y pérdida de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de sardina. Las láminas se deshidrataron en salmueras a concentraciones 15, 18, 21, 24 y 27% NaCl y temperatura de 30, 32, 34, 36 y 38°C, Siendo extraídas a los 20, 40, 60, 90, 120, 180 y 240min., determinándose la masa, humedad y concentración de sal. Asimismo se determinaron el coeficiente de consistencia (0,34-0,66Pa.sⁿ) y el índice de comportamiento de flujo (1,52-1,60) de la salmuera a cada combinación de concentración y temperatura. Las soluciones osmóticas de mayor concentración producen mayor transferencia de masa pero tienen mayor coeficiente de consistencia, es decir son más viscosas y por lo tanto se requiere mayor energía. Las energías de activación variaron entre 2 200J/mol y 3 400J/mol.

Dávila, L. y López, L. (2005). Estudiaron comparativamente tres procedimientos de salado de merluza (*Merluccius gayi peruanus*) en pila seca (PS), pila húmeda (PH) y deshidratación osmótica a vacío (DOV). En las muestras saladas se determinó la evolución de las siguientes variables: contenido de sal, contenido de agua, recuento de microorganismos aerobios viables, estafilococos, mohos y actividad de agua (a_w). Usaron solución saturada de cloruro de sodio como agente osmótico en la DOV y sal en contacto con la merluza en los tratamientos de PS y PH. Se halló a las 2h de tratamiento que la velocidad de impregnación de sólidos por el tejido es mejor cuando se aplicó DOV comparada con los procedimientos tradicionales de salado en PS y PH que presentan valores muy cercanos, determinándose que los valores de a_w descienden proporcionalmente a los de impregnación desde 0,990 en muestra fresca a 0,835 en el salado por DOV, a 0,925 en PS y 0,928 en PH. En lo referente a las condiciones de laboratorio evaluadas se determinó que no existe diferencia significativa de peso y a_w entre los tratamientos de PS y PH; sin embargo si hay diferencia de los tratamientos de salado tradicionales al compararlos con el DOV. La fracción de agua de las muestras durante el salado en PS y PH decayó paulatinamente de 0,75 a 0,6 al cabo de las 7 horas, pero al aplicarse vacío en esta operación se llegó al mismo contenido de

humedad en las dos primeras horas, con un ahorro de tiempo del 71%. Las muestras tratadas por DOV tuvieron mayor velocidad de impregnación de cloruro de sodio (0,09 en 2 horas) en el tejido muscular. En el mismo período, en las muestras de salado tradicionales de PS y PH, se halló una variación menor del contenido de sólidos (0,07 en PS y 0,071 en PH).

Fuentes, A. (2007). Desarrolló un nuevo producto a base de lubina ahumada con bajo contenido en sodio. Para ello estudió las características físico-químicas de la lubina, materia-prima de este estudio, junto con los parámetros físico-químicos. Finalmente, estudió la evolución de la calidad del producto obtenido durante el almacenamiento en refrigeración. Asimismo estudió el efecto de la sustitución parcial de sodio por potasio y el tipo de envasado (aire, vacío y atmósfera modificada) sobre la evolución de la calidad sensorial y microbiológica, y sobre diferentes parámetros físico-químicos. Respecto al proceso de salado, observó que en el salado se redujo de forma significativa los valores de a_w del pescado fresco, desde 0,988 (a_w de la materia prima) hasta valores que oscilaron entre 0,964 hasta 0,905; según el tiempo de evaluación que fue de 5 horas.

Roberti Pérez (2011). Determinó la cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola *Macrobrachium jelskii*. La experimentación se llevó a cabo en un secador de bandejas, a temperaturas de 70 y 80°C y velocidades de aire de secado de 2 y 3m/s, determinándose en cada experiencia la disminución de los valores de masa total a través del tiempo para construir las gráficas de humedad libre versus tiempo, relación de humedad versus tiempo y la de velocidad de secado contra la humedad promedio, utilizando Microsoft® Excel. El análisis de los resultados se realizó a través de un diseño factorial 2², siendo la variable de respuesta el tiempo de secado y los factores: temperatura de secado y velocidad del aire, determinando que el factor más influyente sobre el tiempo de secado fue la temperatura del proceso, con un nivel de significancia $p = 0,0162$. Asimismo, se determinaron los valores de la humedad inicial (X_0) para el *M. jelskii* cuyo promedio fue de $3,27 \pm 0,10g$ H₂O/g sólido seco; el tiempo promedio de secado para alcanzar la humedad en el equilibrio a temperatura de 70°C fue de 295 minutos a velocidad de aire de secado de 3m/s y de 325 minutos a velocidad del aire de secado de 2m/s, en contraste con la temperatura en la cámara a 80°C donde se alcanzó la humedad en el equilibrio en base seca en 270 minutos a velocidad del aire de 2m/s y 235 minutos a 3m/s.

Reyes M. y col. (2005). Modelaron la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sal que ocurren durante la deshidratación osmótica de láminas de sardina y optimizaron adecuadamente dichas respuestas mediante la Metodología de Superficies de Respuesta aplicando restricciones que satisficieran criterios económicos y de estabilidad del producto.

La zona óptima o de convergencia de una máxima pérdida de agua y ganancia de sal con una mínima pérdida de peso se logró con una salmuera saturada (26,5% NaCl), una temperatura aproximada de 32°C y un tiempo de 245min.

Vega Gálvez, A. y col. (2006). Estudiaron y modelaron la cinética de secado por aire caliente del alga *Gracilaria chilensis* utilizando un secador convectivo diseñado y construido en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Serena a cinco temperaturas de bulbo seco (30, 40, 50, 60 y 70°C) y velocidad de aire de $2,0 \pm 0,2 \text{ m.s}^{-1}$. Para el modelado matemático utilizaron tres modelos empíricos (Newton, Henderson-Pabis y Page). Durante el experimento se observa solamente el periodo de velocidad decreciente, por lo que se utiliza la ecuación de la segunda Ley de Fick para el cálculo de la difusividad efectiva de agua. El proceso de secado presenta humedades finales entre $0,096 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}}$ y $0,061 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}}$ para 30°C y 70°C, respectivamente.

Tanto la difusividad como los parámetros cinéticos k_1 , k_2 y k_3 de los modelos propuestos presentan dependencia con la temperatura y al evaluarlos con la ecuación de Arrhenius se obtienen energías de activación de 39,92; 33,85; 33,49 y 33,83 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, respectivamente. Encontraron que el modelo de Page muestra la mejor calidad de ajuste sobre los datos experimentales, otorgando así una buena herramienta para el modelado de la cinética de secado industrial de la *Gracilaria chilensis* y el cálculo del tiempo de secado a diferentes temperaturas, con el fin de alcanzar un contenido de humedad comercial aceptable internacionalmente.

Vivanco Pezantes, D. (2005). Estudió la cinética de la transferencia de masa en la deshidratación osmótica a vacío y secado en filetes de sardina (*Sardinops sagax sagax*) con el objeto de conocer el proceso a profundidad y obtener los parámetros relacionados con estas operaciones que son necesarios en el diseño de equipos de productos secos-salados. En el estudio de la operación de deshidratación osmótica a vacío tanto a PVOD y OD, los filetes se sumergieron en una solución de salmuera (NaCl) de 15% de concentración a 5°C de temperatura, tomando muestras a 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 300 minutos de proceso. Para el proceso de PVOD el

sistema fue mantenido por 150mbar de presión de vacío por 10 minutos seguido el resto a presión atmosférica. A las muestras se les evaluó la variación de peso, humedad, concentración de cloruro de sodio.

A partir de estos resultados se determinaron las difusividades de Cl^- por aplicación de un modelo difusional simplificado, cuyos valores fueron: $5,47 \cdot 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ para PVOD y de $4,9 \cdot 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ para OD. A partir del producto deshidratado PVOD, con aproximadamente 3,5% de NaCl se estudiaron las cinéticas de secado. Para el estudio del secado, la deshidratación se realizó por circulación de aire caliente a 40, 55 y 70°C con una velocidad de aire de secado de 1,5m/s.

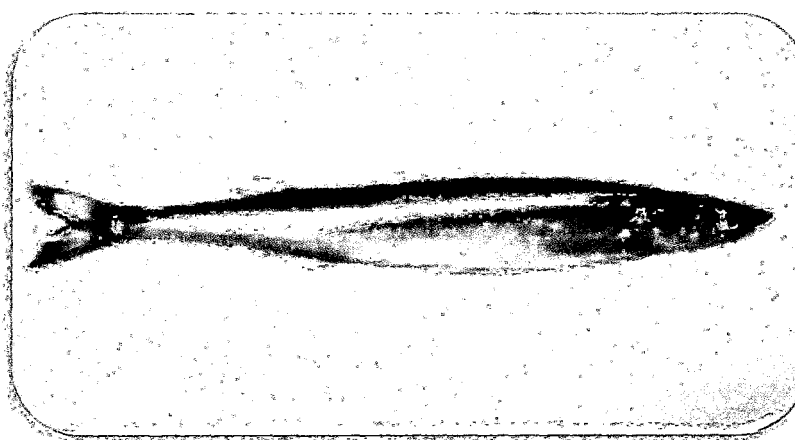
Al secar el producto parcialmente salado, se observó un periodo muy corto de la velocidad constante, el secado posterior transcurre bajo velocidad decreciente, periodo en el cual, el proceso se describe como los modelos difusionales. Los valores de difusividad efectiva para el proceso de secado fueron del orden de $3,55 \cdot 10^{-10}$ a $3,47 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$, siendo que el valor de la energía de activación (E_a) fue de 17,88J/mol para la faja de temperatura usada en los experimentos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Estudio de la Materia-Prima

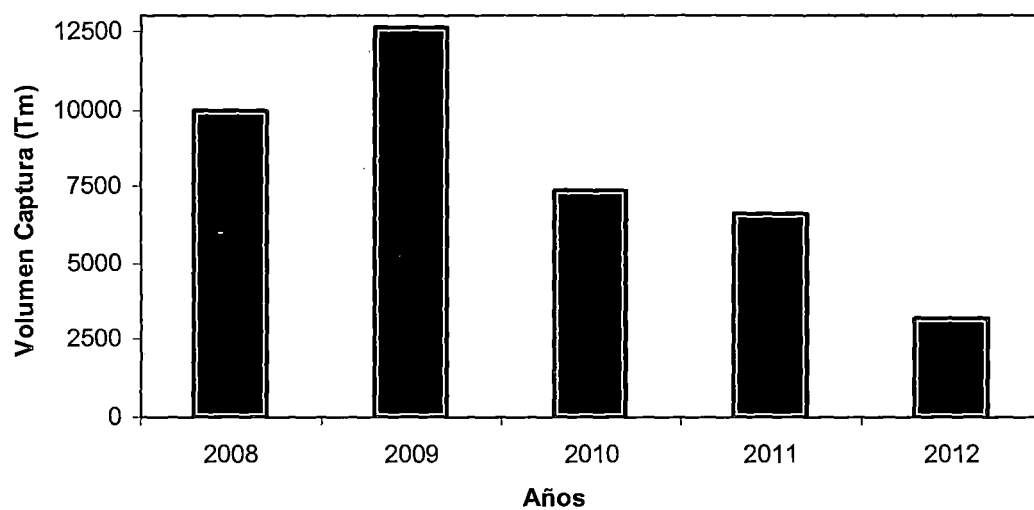
El pejerrey, o conocido internacionalmente como pejerrey de mar (*Odontesthes regia regia*) es una especie de pez pelágico (Fig. 1), perteneciente a la familia Atherinopsidae (IMARPE, 2012); tal y como se observa en la tabla N° 1 y 2. El Pejerrey es una especie comercial e industrialmente explotada en el mundo, especialmente en el Perú es usada en la industria en estado fresco y congelado. Según estadística del Ministerio de la Producción, la evolución histórica de captura durante el periodo 2008 - 2012, se registró un volumen de captura para el año 2008 de 9 946 toneladas, para el año 2009 unas 12 618 toneladas, para el año 2010 se registró 7 406 toneladas, el año 2011 unas 6 612 toneladas y para el año 2012 de enero a junio se reportó 3 203 toneladas. Tal como se muestra en la figura N° 2.

**FIGURA N°1
PEJERREY**



Fuente: Chirichigno y Cornejo ,2001.

**FIGURA N° 2
VOLUMEN DE CAPTURA DE PEJERREY EN EL PERÚ**



Fuente: Ministerio de la Producción (2013).

**TABLA N°1
PEJERREY**

Generalidades del Pejerrey

Nombre científico	<i>Odontesthes regia regia</i>
Nombre común	Pejerrey
Nombre en inglés	Peruvian Silverside
Nombre en francés	Pejerrey

Fuente: Adaptado - Chirichigno y Cornejo, 2001.

**TABLA N°2
TAXONOMÍA**

Taxonomía del Pejerrey

Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Clase	Actinopterygii
Orden	Atheriniformes
Familia	Atherinopsidae
Género	<i>Odontesthes</i>
Especie	<i>Odontesthes regia regia</i>

Fuente: Chirichigno y Cornejo, 2001.

2.2.1.1. Distribución geográfica de la especie

Se distribuye desde Punta Aguja (**Perú**) a hasta el Archipiélago de los Chonos, Aysén (**Chile**). Es una especie pelágica nerítica que vive cerca de la costa, entre 0 y 50m de profundidad, de preferencia en fondos arenosos con vegetación y desembocadura de ríos, los juveniles se encuentran frecuentemente en mar abierto. Tiende a formar pequeños cardúmenes asociados con sardina y Anchoveta (IMARPE, 2012).

2.2.1.2. Aspectos biológicos

Presenta un cuerpo alargado y algo comprimido recubierto con escamas cicloides pequeñas, que se extienden hasta la base de la aleta caudal; su altura está contenida entre 7 y 8 veces en la longitud estándar; perfil dorsal casi recto y el ventral algo redondeado; con una banda longitudinal plateada sobre los flancos. Cabeza con la superficie dorsal algo aplanada y con el perfil agudizado; boca pequeña con los premaxilares protráctiles. Con dos aletas dorsales pequeñas y bien separadas, la anterior se inserta por detrás del origen de las aletas pélvicas y la posterior por detrás del inicio de la aleta anal; aleta anal con la base más larga que la de la aleta dorsal posterior, presenta de 14 a 16 radios; aleta caudal amarillenta con los ribetes negros (IMARPE, 2012).

El Pejerrey, durante el año 2007, se observó que las tallas fluctuaron entre 10-23cm., de longitud total en el 2006: 07 - 25cm. La talla media se calculó en 15,0cm. En el 2005 en la zona de Pisco el Pejerrey alcanzó una amplitud de tallas entre 10 y 19cm., con una talla media de 14,2cm. (Gómez Alfaro, 2006).

2.1.2.3. Ciclo reproductivo

El pejerrey es una especie con reproducción asincrónica, ya que es observada la presencia simultánea de ovocitos en todos los estados de desarrollo. La mayor actividad reproductiva de esta especie es en el período invierno-primavera y en verano de cada año. El periodo reproductivo del pejerrey comprende los meses de Julio a Noviembre, con mayor intensidad entre Agosto a Octubre, es una especie se reúne en cardúmenes especialmente en los meses en que se reproduce, lo cual se efectúa con mayor intensidad entre Mayo y Diciembre. Además afirma que el pico de desove de esta especie está dado en los meses de Mayo y Agosto (Gómez Alfaro, 2006).

2.2.1.4. Composición Nutricional

La composición química del Pejerrey, al igual que sucede con el resto de especies de pescado, varía considerablemente entre individuos dependiendo de la edad, sexo, medio ambiente y estación del año, aunque se considera que el factor de mayor impacto es la composición de su dieta. Otros factores íntimamente relacionados con dichas variaciones en la composición química del

pez, son el nado migratorio y los cambios sexuales relacionados con el desove.

Es precisamente en el desove cuando el pez requiere mayores niveles de energía, por lo que los peces tienen energía almacenada en forma de lípidos.

El músculo del Pejerrey en estado fresco generalmente está compuesto por 76,5% de agua; 19,6% de proteína; 2,4% de grasa y 1,4% de sales minerales, tal como se describe en la Tabla N° 3; y el total de los ácidos grasos esenciales en el Pejerrey se encuentran descritos en la tabla N° 4.

**TABLA N° 3
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL**

Porcentaje (%)	Compuesto
76,5	agua
2,4	grasa
19,6	proteína
1,4	sales minerales
133Kcal	Energía

Fuente: Chirichigno, N.; Cornejo, R., 2001.

**TABLA N° 4
ÁCIDO GRASO**

Ácido Graso	Promedio (%)	
C14:0	Mirístico	4,8
C15:0	Palmitoleico	0,2
C16:1	Palmitico	17,4
C17:0	Palmitoleico	6,5
C18:0	Margárico	0,7
C18:1	Estearico	2,5
C18:2	Oleico	13,9
C18:3	Linoleico	1,4
C20:0	Linolénico	0,9
C20:1	Araquico	4,0
C20:2	Eicosaenoico	trazas
C20:3	Eicosatrienoico	0,9
C20:4	Araquidónico	0,6
C20:5	Eicosapentaenoico	12,0
C22:3	Docosatrienoico	1,0
C22:4	Docosatetraenoico	0,9
C22:5	Docosapentaenoico	4,6
C22:6	Docosahexaenoico	26,4

Fuente: IMARPE/ITP, 1996.

**TABLA N° 5
COMPONENTES MINERALES**

Macroelemento (mg /100g)	Promedio (%)
Sodio	122,8
Potasio	503,7
Calcio	88,3
Magnesio	40,7

Fuente: IMARPE/ITP, 1996.

2.2.2. Métodos de conservación del pescado

El objetivo principal de los tratamientos de conservación y envasado de alimentos es interrumpir e inhibir los procesos degradativos, permitiendo que el alimento llegue al consumidor con un nivel de calidad adecuado.

Desde la prehistoria, el hombre comenzó a conservar los alimentos mediante procedimientos de secado y salado, mejorando su comestibilidad y asegurando su abastecimiento en periodos de carencia, ya que observó que en los alimentos se producían fenómenos de descomposición. Sin embargo, el modo de conservación cambió al comenzar la industrialización, y desde entonces se intensificaron los esfuerzos para mantener inalterados los componentes más sensibles, conservando su valor nutritivo y aroma. Así, mientras que antes los alimentos se conservaban solo por razones comerciales, recientemente han surgido problemas toxicológicos, que constituyen una razón adicional para la adopción de medidas de conservación.

El pescado es uno de los alimentos más susceptibles al deterioro, por autólisis, oxidación e hidrólisis de su grasa y por alteración microbiana; es por ello que, su conservación requiere el empleo de algún tratamiento rápido de conservación. Cuando el pescado se

captura lejos de la planta de tratamiento, los métodos de conservación se deben aplicar rápidamente, incluso en el mismo barco pesquero (Brennan, 1998).

La alteración de los alimentos por los microorganismos puede producirse con gran rapidez, mientras que las reacciones químicas y enzimáticas siguen un curso más lento, pero en ambos casos el principal factor que determina el grado de alteración, es el contenido de agua disponible, que está expresado por el concepto de actividad del agua (a_w), el cual puede definirse como la proporción entre la presión de vapor del agua del sistema alimenticio (P_v) y la presión de vapor del agua pura a la misma presión y temperatura (P_{v_w}); es decir,

$$a_w = \frac{P_v}{P_{v_w}} \quad (1)$$

Algunos atributos de los alimentos, como la textura de las frutas, legumbres y pescado, dependen en gran parte de la turgencia de las células y de la asociación específica y compleja entre el agua y otros constituyentes, aunque estos caracteres son responsables del deterioro y por ende, indicativos de la vida útil de los alimentos (Brennan, 1998).

2.2.2.1. Deshidratación osmótica

La Deshidratación Osmótica (DO) consiste en la inmersión de un alimento sólido, entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos (hipertónica) a un tiempo y temperaturas específicos. Las membranas de los alimentos son semipermeables por lo cual esta técnica provoca al menos dos flujos principales simultáneos en contracorriente. Un importante flujo de agua desde el interior del alimento hacia el exterior, para tratar de equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de dichas membranas. Simultáneamente se presenta, en menor cantidad, la entrada de soluto desde la parte externa hacia el interior del producto a deshidratar. Además hay otro flujo que se debe considerar el que consiste en una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos y otros) que aunque cuantitativamente es insignificante, puede tener alguna importancia a nivel nutricional y organoléptico.

2.2.2.1.1. Variables del proceso.

Existen estudios de las principales variables que producen efecto sobre la deshidratación, específicamente sobre la cinética de transferencia de materia, entre ellas destacan las propias del producto como composición, tamaño, forma, presencia de piel, pretratamientos, y de la solución osmótica, temperatura, concentración, naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo, razón alimento-solución, tiempo y agitación (Hall, 2001).

2.2.2.1.1.1 Concentración de la solución osmótica.

La concentración de la solución osmótica utilizada afecta en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia. Así mismo, la distinta viscosidad de la disolución y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso, tiene un efecto importante en la velocidad de transporte. El uso de soluciones de distinta concentración da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido del alimento.

2.2.2.1.1.2. Temperatura.

En general el incremento de la temperatura de proceso provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles. Se ha observado que los mecanismos osmóticos transmembrana y la difusión se favorecen con la temperatura.

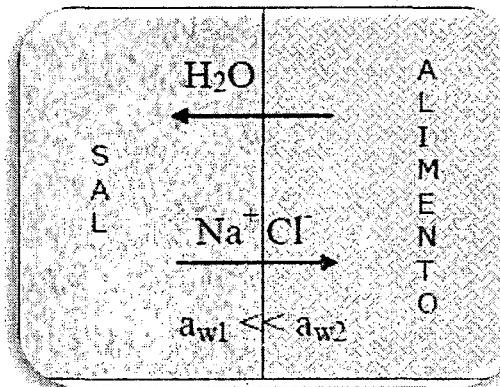
2.2.2.1.1.3. Solución osmótica

La solución osmótica que se usa para deshidratar el producto debe ser rica en solutos que deprimen la actividad de agua del mismo, y que genere una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la solución. Los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas, son de bajo costo, tales como sacarosa, glucosa, fructosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de estos, presentando efecto sinérgico, como es el caso de la mezcla sacarosa-cloruro de sodio. Generalmente, las soluciones de sacarosa son usadas para frutas y las soluciones de cloruro de sodio para vegetales y productos hidrobiológicos.

2.2.2.1.2 Deshidratación Osmótica – Salado

Cuando la sal es incorporada al músculo del pescado, se produce una migración de agua hacia el interior, mediante un proceso osmótico, de manera que se produce una ligera deshidratación del producto hidrobiológico. Por otro lado, la sal común produce un fenómeno de captación de hasta nueve moléculas de agua por molécula de cloruro de sodio, tal como se describe en la figura N°3. Estos dos fenómenos provocan, consecuentemente, una reducción de la cantidad de agua disponible en el músculo del pescado. Considerando que el agua de composición de un pescado salado corresponde a una solución ideal, la relación entre concentración y presión de vapor de agua está dado por la Ley de Raoult, que establece que para solutos ideales, el descenso relativo de la presión de vapor del solvente es igual a la fracción mol del soluto.

FIGURA N° 3
FENÓMENO DE DIFUSIÓN EN EL PROCESO DE SALADO



Fuente: Brennan, 1998.

En el proceso de salado del pescado, los iones de sodio y cloro son transportados de la salmuera al interior del pescado y los dipolos de agua desde este a la salmuera. La mayoría de los investigadores estima que el transporte de agua y de los iones de sodio y cloro durante el proceso, es el resultado de un fenómeno de difusión, referente al transporte de agua, algunos investigadores difieren sobre la naturaleza de este proceso. Relacionándolo con fenómenos de osmosis.

El fenómeno de difusión obedece a la Ley de Fick (ec. 2), la cual se expresa por la formula:

$$\frac{dC}{dt} = D_{ef} \cdot \frac{dC}{dx} \quad (2)$$

Donde:

C: Concentración en el tiempo, t.

t : Tiempo

D_{ef} : Coeficiente de difusión y

$\frac{dC}{dx}$: Gradiente de concentración.

2.2.2.1.2.1 La sal como agente osmótico:

A) características físicas y químicas:

La sal está formada por cristales translucidos, con un ligero color blanquecino en la naturaleza se le encuentra en diferentes lugares, como en el mar diluida o formando rocas. La sal químicamente viene a ser la unión de dos compuestos químicos de igual equivalencia, también se le encuentra formando otros compuestos y en forma artificial formando muchos otros compuestos (Mohler, 1992).

B) Características microbiológicas:

La sal se debe encontrar en forma muy pura para el proceso del salado para evitar daños en el producto, pero en la naturaleza esta no se encuentra pura debido a que existen microorganismos que logran sobrevivir a altas concentraciones salinas; conocidos como microorganismos halófilos, el cual al entrar en contacto con el músculo del pescado van deteriorarlo, dándole un olor desagradable relacionado a ácido sulfhídrico. Los microorganismos en su mayoría no resisten a altas concentraciones salinas; es por eso que con este método de salado de pescado permite la destrucción de la carga microbiana básicamente por la

coagulación de la proteína y por los componentes de los hidrogeniones de las bacterias, dependen de las concentraciones salinas.

Existen muchos microorganismos pero destacando su presencia la *pseudomona littoralis*; *serratia salinaria*; también tenemos la presencia de hongos como *aspergillus*, estos son microorganismos que viven en altas concentraciones salinas.

C) Principales características de la sal en el proceso de salado:

Cuando la sal penetra en los tejidos, ella altera las propiedades coloidales de las proteínas y cambia su relación agua/producto, la cual puede ser ampliamente distinguida entre el agua libre y el agua ligada en el pescado. El agua ligada esta tan estrechamente relacionada con los grupos proteicos. La textura del pescado depende principalmente de la cantidad de total del agua y de la relación agua libre y ligada; es decir cuanta mayor agua hay en el pescado, más débil será su consistencia final y cuan mayor sea el contenido de sal presentará al final una textura dura. Una concentración de sal adecuada en el músculo de pescado alcanzará un nivel mínimo de autólisis y el crecimiento de la microflora (Kleeberg, 2001).

2.2.2.1.2.2. La deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado por aire

Dependiendo de las propiedades de la materia-prima, características de la solución osmótica, condiciones y duración del proceso, se puede llegar a eliminar hasta un 70% del contenido de agua inicial en el producto mediante el empleo de la deshidratación osmótica. La cantidad de agua remanente en el material, no asegura la estabilidad del mismo, ya que normalmente la actividad de agua sigue siendo elevada. Cuando la estabilidad es uno de los objetivos del proceso, se deben utilizar métodos complementarios para poder eliminar una mayor cantidad de agua.

El pretratamiento osmótico es un proceso que impide que el alimento esté en contacto con el oxígeno del aire y como tratamiento previo al secado por aire caliente ofrece algunas ventajas sobre otros pretratamientos convencionales de inactivación enzimática, por ejemplo, el sulfitado o el escaldado. El escaldado produce daños en las membranas celulares y en la textura de los tejidos, dando lugar a una mayor deformación y encogimiento del material a secar. Por otro lado, el sulfitado, no causa los efectos anteriores, pero tiene un impacto negativo desde

el punto de vista nutricional, debido a la reconocida toxicidad de los compuestos azufrados.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el pretratamiento de Deshidratación Osmótica provocará cambios en las cinéticas de transferencia de materia y en algunas propiedades fisicoquímicas del producto tratado, principalmente asociado a los cambios en la estructura del producto y a las variaciones en la composición del mismo. Estos efectos se comentan a continuación:

A) Efecto del pretratamiento de DO sobre las cinéticas del secado por aire caliente

La deshidratación osmótica en altas concentraciones tiene un efecto negativo en la cinética de secado por aire caliente, ya que disminuye la velocidad de pérdida de agua (al existir un menor gradiente inicial) y además, el soluto absorbido durante la etapa de DO bloquea las capas de la superficie del producto, añadiendo una resistencia adicional al intercambio de masa. Incluso una corta inmersión de un material en una solución osmótica, puede causar una disminución sustancial de la velocidad de eliminación de agua durante el secado posterior. Por otro lado, la deshidratación parcial y la ganancia de solutos protegen el producto contra el derrumbamiento estructural durante el secado posterior y contra la desorganización estructural y exudación (pérdida de jugos y

textura) durante la congelación y descongelación. Como el pretratamiento osmótico disminuye las velocidades de secado por aire, el tiempo total de deshidratación es prácticamente igual al que si solamente se utiliza el secado por aire caliente, para contenidos de humedad por debajo de 10 a 15% ($a_w=0,4 - 0,6$). Por el contrario, el total tiempo secado se acorta espectacularmente en el caso de deshidratar hasta contenidos de agua intermedios ($a_w= 0,6 - 0,9$).

B) Efecto de la DO sobre las propiedades de producto final.

Durante la deshidratación osmótica, la ganancia de solutos y la salida de ácidos naturales y pigmentos del tejido afectan directamente a sus propiedades organolépticas, ya que modifican hasta cierto punto, la composición inicial del pescado.

Sin embargo el pretratamiento osmótico contribuye a la retención del sabor en el pescado y hace más apetecibles que los productos que han sido secados solo con aire caliente.

Los alimentos seco-salados obtenidos utilizando estas dos técnicas combinadas (DO + secado por aire caliente) normalmente presentan mejor textura y un menor encogimiento comparados con productos que han sido secados únicamente mediante secado por aire caliente, causando un aumento de la densidad del producto.

2.2.2.2. Proceso de secado de alimentos

El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los productos perecederos. La utilización de calor para reducir el contenido de agua de un producto, es el procedimiento más artesanal y menos costoso de conservación. El secado como método de preservación industrial es ampliamente usado para disminuir la actividad de agua de los alimentos, por lo que se minimizan las reacciones bioquímicas de degradación a temperatura ambiente y el crecimiento microbiano. No obstante, este proceso depende de varios factores internos, por ejemplo, el espesor y geometría del producto, y de ciertas condiciones del aire de secado, tales como la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire de secado.

De acuerdo con los datos de la cinética del secado se puede observar que cuanto mayor es la temperatura del aire de secado mayor es la velocidad de secado.

2.2.2.2.1. Teoría del secado por aire caliente

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste. Durante el secado se producen cuatro fenómenos de transporte:

1. Transmisión de calor desde el aire hasta la superficie del producto, pudiéndose realizar por convección o radiación.
2. Transmisión de calor desde la interfase sólido-aire hasta el interior del sólido. Sólo puede tener lugar por conducción en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).
3. Transmisión de materia a través del sólido. Se puede producir difusión o capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades

del orden de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles más altos de humedad (65% o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.

4. Transferencia de vapor desde la interfase sólido –aire hacia el seno del aire.

Los factores que regulan la velocidad de estos procesos son los que definen la velocidad de secado. Al secar los alimentos, la velocidad de secado depende de:

(a) Área de la superficie del producto: generalmente se subdivide lo máximo posible el producto, a fin de aumentar el área de transferencia de masa y calor y acelerar el proceso.

(b) Velocidad del aire: el aire en movimiento absorbe vapor de agua de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada. La velocidad del aire actúa aumentando los coeficientes globales de trasmisión de calor y de masa, disminuyendo el tiempo de secado. Sin embargo, la velocidad de secado aumenta en algunos casos al aumentar la velocidad del aire. Sin embargo, a partir de un cierto punto, la velocidad de secado no depende de esta variable, debido a que el factor de

control del proceso de secado en este caso es la difusión del agua a través del sólido, de manera que, por más que aumente la velocidad másica del aire no puede aumentarse la velocidad de secado. Estudiaron el efecto de la velocidad del aire en el secado de cubos de manzana y observaron que a temperatura constante había dos periodos de velocidad de secado decreciente. En el primer periodo las constantes de la velocidad de secado aumentaban con la velocidad del aire, mientras que en el segundo periodo, de velocidad de secado decreciente, estas constantes no se veían afectadas.

(c) Temperatura y tiempo: la velocidad de secado aumenta al aumentar la temperatura, y por tanto, el tiempo disminuye. Según estudios realizados en el proceso de secado a diferentes temperaturas con muestras de cubos de manzana, mostrando que la velocidad de secado aumentaba claramente a medida que la temperatura se incrementaba de 30 a 60°C. Sin embargo, la influencia de la temperatura del aire era menos importante desde 60 a 90°C, debido a que a partir de 60°C tienen lugar fenómenos de encostramiento superficial.

(d) Humedad del aire: cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de deshidratación ya que aumenta la fuerza impulsora para el transporte de masa.

(e) Influencia del tejido del producto: las propiedades naturales del tejido son un factor determinante en el proceso de deshidratación, es así que mientras más porosa y mayor sea el área de superficie, será mayor la velocidad de secado del alimento. La velocidad y el tiempo total del secado están influenciados por estos factores y además se deben tener en cuenta las propiedades del producto, especialmente tamaño y geometría de la partícula, su ordenación geométrica en relación con el medio de transferencia y las características del equipo de secado.

2.2.2.2.2. Periodos de Secado

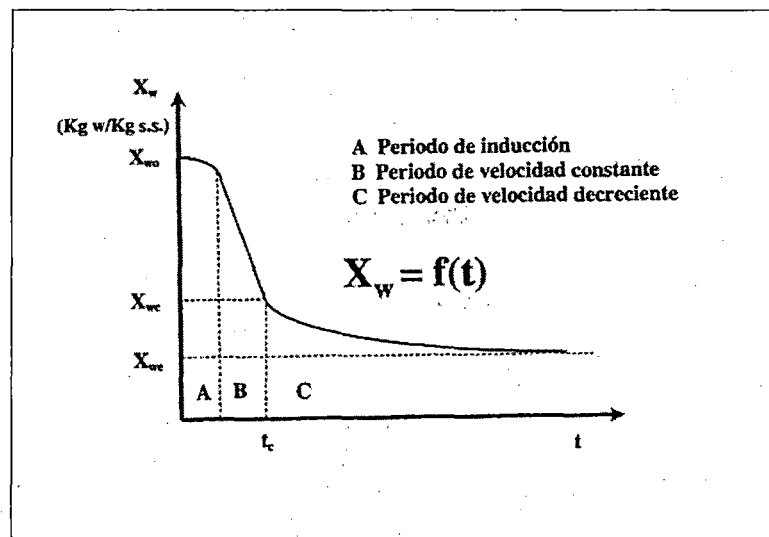
En una experiencia de secado por aire caliente manteniendo una temperatura y velocidad de aire de secado constante, si se mide la variación del contenido de humedad del producto en función al tiempo de secado. Si se representa estos valores en coordenadas cartesianas, se obtiene la "curva de secado" en ella se distinguen tres periodos:

- a) Periodo de inducción (de velocidad de secado creciente)
- b) Periodo de velocidad de secado constante

c) Periodo de velocidad de secado decreciente

La curva de secado es la evolución del contenido de humedad (base seca) del producto con el transcurso del tiempo. Gráficamente se representa como el contenido en humedad del material (X_w) frente al tiempo transcurrido desde que se inicia la operación de secado (t) (Vivanco, 2005).

**FIGURA N°4
CURVA DE SECADO**



Fuente: Xue Keqing, 2004.

La figura N° 4 muestra una curva de secado típica de materiales muy húmedos en la que se observan tres zonas características:

- Una primera zona A, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción.
- Otra B, de pendiente constante.
- Y una tercera zona C, en la cual la pendiente disminuye con el tiempo.

Se define velocidad de secado como la velocidad con que disminuye la humedad del producto, es decir:

$$R = -\frac{dX_w}{dt} \quad (3)$$

Donde:

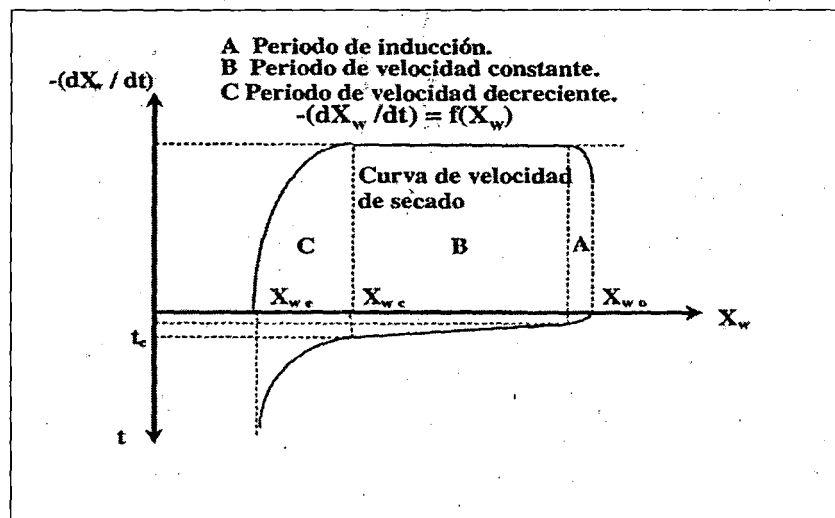
R: Velocidad de secado ($\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{ss}} \cdot \text{min}$);

X_w : Humedad del producto en el tiempo "t";

t: Tiempo de secado.

Por tanto, la pendiente de la curva de secado (dX_w / dt) nos da la velocidad de secado, en la que también pueden diferenciarse las tres zonas definidas anteriormente como puede verse en la siguiente figura N° 5, así como su correspondencia con la curva de secado.

**FIGURA N° 5
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO**



Fuente: Xue Keqing, 2004.

Estas tres zonas son las siguientes:

(1) Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente:

en esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado.

Este periodo depende también de numerosos factores y su duración será en función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etc. Pero para los fines de cálculo se prescinde de él, ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario, es decir a los periodos B y C, en los que se centra el estudio del secado.

(2) Periodo de velocidad de secado constante: la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera, la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interfase será constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido. A medida que

transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en que la velocidad con que el agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación, que implicaría el uso de toda la energía que llega del aire en evaporar agua del alimento. Desde este momento parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. El contenido de humedad del producto en dicho instante se conoce como humedad crítica (X_{wc}).

(3) **Periodo de velocidad de secado decreciente:** la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la *humedad de equilibrio* (X_{we}). En este periodo las líneas que se obtienen pueden ser curvas, en otros casos serán rectas o bien una combinación de ambas. La interpretación exacta del fenómeno aún no se ha dado pero hay varias teorías que intentan explicarlo. En los casos en que la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada; llega así un momento en el que toda la superficie queda seca y entonces se supone que el proceso continúa en una de las dos formas siguientes:

1. Si existe un frente de evaporación que se desplaza hacia el centro del sólido, de manera que el vapor que se produce es el que se difunde a través de la masa seca hacia el exterior, la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión de dicho vapor.

2. El otro mecanismo posible sería el de difusión de líquido a través de la masa sólida y su posterior evaporación en la superficie, por lo que la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión del líquido (Vivanco, 2005).

2.2.2.2.3. Métodos de secado

Los métodos de secado se han desarrollado alrededor de los requerimientos específicos de cada producto. Por esta razón el proceso tiene lugar de muchas formas y se utilizan diferentes clases de equipos. En general, la deshidratación se conduce según dos métodos básicos: proceso adiabático y no adiabático. En el proceso adiabático el calor de vaporización es suministrado por el calor sensible del aire en contacto con el producto a secar. En el proceso no adiabático, el calor de evaporación es aportado por el calor radiante o por el calor transferido a través de paredes en contacto con el material a secar. En todos los métodos de deshidratación, el alimento a secar se debe poner en contacto con

un medio, que con frecuencia es el aire, para eliminar la humedad del producto y sus alrededores.

Los procedimientos de deshidratación pueden clasificarse en tres categorías principales:

1.- Secado por aire o por contacto a la presión atmosférica. El calor se aporta al alimento por medio de aire caliente (convección) o mediante una superficie caliente (conducción). En todos los casos, el vapor de agua formado se mezcla con el aire, que constituye así el medio que sirve para eliminar el vapor.

2.- Secado bajo vacío.

3.- Crío-deseccación (liofilización) (Xue Keqing, 2004).

2.2.2.2.4. Secado por aire caliente: influencia del pretratamiento osmótico

En los últimos años, se han realizado estudios en los que se combina el secado por aire caliente con la deshidratación osmótica (DO). Esta técnica se utiliza como pretratamiento de frutas y hortalizas, mediante la inmersión de éstas en líquidos con una actividad de agua más baja. Con este pretratamiento, en el que se producen de forma simultánea transferencia de agua y solutos al interior de la materia prima, se pueden conseguir reducciones del

contenido en agua de los alimentos entre el 30 y el 70% respecto al contenido inicial. Diferentes estudios que han aplicado la deshidratación osmótica como pretratamiento, reflejan una mejora del rendimiento y calidad en productos secos y de humedad intermedia. Algunas de las ventajas que se han encontrado al aplicar pretratamientos de deshidratación osmótica son:

- a) protección del producto frente al colapso y desorganización estructural,
- b) mejoras en la textura y menor encogimiento de las muestras,
- c) menos cambios en el color y flavor que cuando se secan las muestras por aire debido a efectos térmicos
- d) reducción del tiempo de la segunda fase del secado hasta un 60% con un ahorro energético del 20%.

2.2.2.2.5. Modelos para la cinética de secado por aire caliente

A) Modelos empíricos

Debido a la complejidad de los fenómenos de transferencia de materia se han desarrollado una serie de modelos empíricos sencillos para simular la transferencia de agua en sólidos higroscópicos como son los alimentos. La mayoría de estos modelos consideran que el contenido de humedad inicial es

uniforme, que el comportamiento de las piezas es isótropo y que la resistencia interna es predominante al transporte del agua.

La forma general de estas relaciones empíricas según propuso Lewis (1921) representa matemáticamente una relación de proporcionalidad directa entre la velocidad de secado y la diferencia de humedad entre el material que se está secando y la del mismo en condiciones de equilibrio con el aire de secado:

$$\frac{dX}{dt} = -K(X - X_e) \quad (4)$$

Donde:

X : Humedad media del sólido en el instante t ,

X_e : Humedad que tendría una vez alcanzado el equilibrio con el aire de secado y

K : Coeficiente cinético del modelo.

Integrando se obtiene la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} = e^{-Kt} \quad (5)$$

Donde:

ϕ : humedad adimensional;

X_0 : humedad inicial del sólido;

X : humedad media del sólido en el instante t ;

X_e : humedad de equilibrio;

K : coeficiente cinético del modelo.

Esta expresión es conocida como modelo exponencial, en las que K_c es un coeficiente cinético que tiene en cuenta la influencia de la temperatura, pero también incluye el efecto conjunto del tamaño y forma de las partículas, la velocidad del aire, etc.

Posteriormente Henderson y Pabis (1961-1962) relacionaron el valor de K_c con la temperatura mediante una ecuación tipo Arrhenius:

$$K_c = a \cdot e^{-\frac{b}{T}} \quad (6)$$

Donde:

a y b : constantes del material

T : temperatura absoluta del producto.

Todas estas expresiones sin embargo son incapaces de describir el proceso completo de secado y tienen una validez muy restringida debido a su limitación a tamaños y formas concretas de partículas y condiciones de operación.

B) Modelos difusionales

Estos modelos están basados en los mecanismos difusionales. En casi todos ellos se emplea como fuerza impulsora el gradiente de humedades de modo que la ecuación del balance microscópico de materia es común a todos ellos. Esta ecuación del tipo de la 2ª Ley

de Fick, considerando el transporte isotrópico, toma la forma siguiente:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

Por lo general estos modelos se apoyan en una serie de suposiciones que simplifican la complejidad matemática de las ecuaciones diferenciales planteadas.

Entre estas suposiciones se pueden encontrar:

- *Homogeneidad y geometría de las piezas*

Generalmente se considera que el material a nivel macroscópico ese comporta como un cuerpo homogéneo. En cuanto a la forma del sólido, solamente tiene soluciones analíticas para geometrías sencillas tales como láminas, cilindros o esferas.

- *Contracción*

Otra suposición bastante frecuente es considerar que la contracción del producto no tiene lugar. Sin embargo, esta simplificación no es siempre asumible dado que los cambios de volumen son importantes en productos con un gran contenido en agua, como es el caso del pescado.

- *Influencia de la temperatura en los diferentes modelos*

La influencia de la temperatura sobre la difusividad se expresa en la gran mayoría de los modelos consultados haciendo uso de la expresión de Arrhenius estando dicha influencia caracterizada por una energía de activación (E_a) propia de cada producto

En general el incremento de la temperatura de proceso provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles. Se ha observado que los mecanismos osmóticos transmembrana y la difusión se favorecen con la temperatura. La ecuación de Arrhenius relaciona la temperatura y la difusividad eficaz de agua o solutos (D_{ef}) con la temperatura, según se ha descrito en numerosos trabajos, estando dicha influencia caracterizada por una energía de activación (E_a) propia de cada producto.

$$D_{ef} = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (8)$$

Donde;

D_{ef} : Difusividad efectiva (m^2/s),

D_0 : Constante de Arrhenius (m^2/s),

E_a : Energía de activación (kJ/mol),

R: Constante de las gases (kJ/mol K) y

T: Temperatura (K).

2.3. Definiciones conceptuales

1. **a_w (Actividad de agua):** Es el agua libre en un alimento. Es la relación de la presión del vapor de agua del alimento entre la presión del agua pura a la misma temperatura.
2. **Eviscerado:** Procedimiento que consiste en eliminar las agallas, el intestino grueso y el estómago de un pescado, introduciendo un cuchillo o las manos por la región abdominal.
3. **Estabilidad biológica:** Significa que ningún microorganismo puede desarrollarse en el alimento en las condiciones de ausencia de refrigeración que existen habitualmente durante la elaboración, almacenamiento y comercialización del producto.
4. **Halófilo:** son aquellos organismos que viven en medios con presencia de gran cantidad de sales.

5. **Moho pardo:** Decoloración y formación del moho *Sporendonema epizoum*, que afecta a la superficie del pescado y hace que aparezca moteada.
6. **Osmosis:** es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto de una solución ante una membrana semipermeable para el solvente pero no para los solutos.
7. **Pescado graso:** Pescado en que las principales reservas de grasa se encuentran en los tejidos orgánicos, con un contenido de grasa de más del 2%.
8. **Pescado madurado en sal/curado:** Pescado salado que tiene el aspecto, la consistencia y el sabor característicos del producto final.
9. **Pescado magro (pescado de carne blanca):** Pescado en que las principales reservas de grasa se encuentran en el hígado con un contenido de grasa de menos del 2% en los tejidos orgánicos.
10. **Pescado salado/filetes salados:** Pescado o filetes que han sido tratados mediante salmuerado, inyección de salmuera, salazón en seco, escabechado o salazón en húmedo o por una combinación de estos tratamientos.

11. **Sal:** Producto cristalino que contiene principalmente cloruro de sodio. Se obtiene del mar, de los depósitos subterráneos de sal gema o de salmuera desecada al vacío y refinada.
12. **Salazón en húmedo:** Procedimiento mediante el cual el pescado magro se mezcla con sal idónea y se almacena en recipientes estancos en la salmuera resultante, que se forma por solución de la sal en el agua extraída del tejido del pescado. Es posible añadir salmuera al recipiente. El pescado puede quitarse del recipiente y apilarse para dejar escurrir la salmuera.
13. **Salazón en seco:** Procedimiento que consiste en mezclar el pescado con sal idónea y apilarlo para dejar escurrir la salmuera resultante.
14. **Salmuera:** Solución de sal en agua.
15. **Salmuerado:** Procedimiento que consiste en colocar el pescado en salmuera durante un tiempo suficiente para que el tejido del pescado absorba una determinada cantidad de sal.
16. **Sinérgico:** es el resultado de la acción conjunta de dos o más causas, pero caracterizado por tener un efecto superior al que resulta de la simple suma de dichas causas.

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1 Variables de la investigación

Variables

Variable dependiente:

- Tiempo de secado de los filetes de Pejerrey.
- Humedad comercial de los filetes seco-salados de Pejerrey.

Variables independientes:

- Concentración de la solución salina (NaCl) y Temperatura de secado por aire caliente

Indicadores de las variables

Causa:

- Concentración del soluto en la solución osmótica: 22, 26 y 30%
- Temperatura del aire caliente en el secado: 40, 50 y 60°C.

Efecto:

- Menor tiempo de secado y humedad del filete seco-salado.

3.1. Operacionalización de variables

Las variables del proceso (Concentración de solución Salina y Temperatura de secado por aire caliente) fueron medidas según las escalas descrito en el cuadro N°1.

**CUADRO N° 1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

Variable	Tipo	Dimensión	Indicador	Escala
V.I Concentración de Sal en la solución osmótica	Cuantitativa	Fenómeno de difusión pasiva, caracterizada por el paso del agua, disolvente, a través de la membrana semipermeable.	Perdida de humedad y ganancia de NaCl del producto.	22% NaCl 26% NaCl 30% NaCl
V.I Temperatura de secado por aire caliente	Cuantitativa	Intensidad de flujo de calor convectivo que permite la extracción deliberada del agua de la muestra.	Perdida de humedad por exposición a flujo de calor constante.	40°C 50°C 60°C
V.D Humedad del filete	Cuantitativa	Cantidad de agua contenida en una muestra.	Porcentaje de Humedad Final del Filete de Pejerrey	20-25% (base húmeda)
V.D Tiempo de secado	Cuantitativa	Periodo de exposición de la muestra al tratamiento de deshidratación.	Reducción del tiempo de secado	1-2 horas

Fuente: Elaboración propia (2013).

3.2. Hipótesis General

Si se logra determinar la cinética de los procesos combinados de deshidratado (ósmosis y secado con aire caliente), entonces podríamos obtener filetes de pejerrey deshidratados de calidad.

IV. METODOLOGIA

4.1. Tipo de investigación

La presente investigación se caracterizó por ser longitudinal estudiando la variable dependiente frente a los manejos de concentración osmótica y temperatura de secado por ser estos los determinantes en la relación causa efecto. Según el análisis y alcance de los resultados fue tipo Experimental porque permitió manipular los factores causales (Concentración osmótica y temperatura de secado) para determinar el efecto deseado (menor tiempo de deshidratado de los filetes). Además fue Aplicada porque el fin de este proyecto era resolver un problema de naturaleza práctica permitiendo aplicar los resultados.

4.2 Diseño Metodológico

Para comparar el efecto de los procesos combinados del pretratamiento de la Deshidratación Osmótica y el Secado por Aire Caliente, se utilizó un diseño factorial n^k , donde "n" es el número de niveles ($n = 3$) y "k" es el número de factores ($k = 2$). Las concentraciones de la solución osmótica fueron 15, 26 y 30% y las temperaturas de secado por aire caliente fueron 40, 50 y 60°C. Las corridas experimentales se realizaron por triplicados para cada grupo experimental. Donde se evaluó el peso,

contenido de sal y el contenido de agua durante la deshidratación osmótica; y la humedad en base seca y la velocidad de secado de los filetes de Pejerrey durante el secado por aire caliente. En el cuadro N° 2 se describe la interacción de los diferentes niveles de las variables del proceso (Concentración de solución Salina y Temperatura de secado por aire caliente) darán como resultado la variable respuesta (Tiempo de secado), la Tabla N° 6 muestra los niveles decodificados de las variables utilizadas en el diseño experimental para luego representar los experimentos en la Tabla N° 7 ya codificados, y puesto gráficamente en la figura N° 6.

**CUADRO N° 2:
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Variables Independientes		Temperatura de Secado (°C)		
Niveles		40	50	60
Concentración de Solución Salina (%)	22%	G ₁ (22% ; 40°C)	G ₂ (22% ; 50°C)	G ₃ (22% ; 60°C)
	26%	G ₄ (26% ; 40°C)	G ₅ (26% ; 50°C)	G ₆ (26% ; 60°C)
	30%	G ₇ (30% ; 40°C)	G ₈ (30% ; 50°C)	G ₉ (30% ; 60°C)

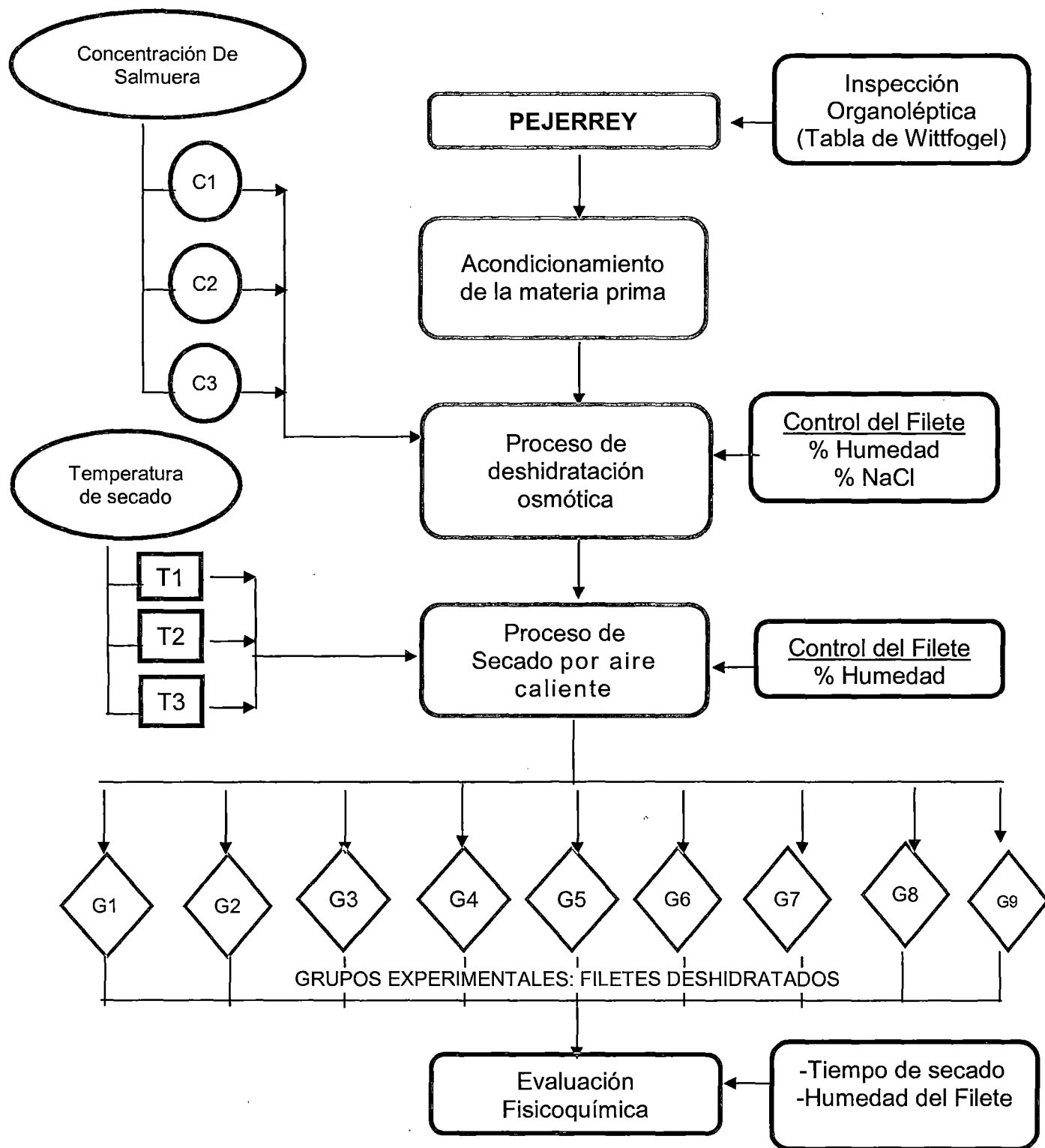
Fuente: Elaboración Propia (2013).

De tal forma quedaron limitados los grupos experimentales:

- **G₁**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 22%, y de temperatura de secado de 40°C.
- **G₂**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 22%, y de temperatura de secado de 50°C.
- **G₃**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 22%, y de temperatura de secado de 60°C.
- **G₄**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 26%, y de temperatura de secado de 40°C.
- **G₅**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 26%, y de temperatura de secado de 50°C.
- **G₆**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 26%, y de temperatura de secado de 60°C.
- **G₇**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 30%, y de temperatura de secado de 40°C.

- **G₈**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 30%, y de temperatura de secado de 50°C.
- **G₉**: Corresponde a los filetes de Pejerrey suministradas a salmuera de concentración de 30%, y de temperatura de secado de 60°C.

FIGURA N° 6
DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROCESAMIENTO DE FILETES DE PEJERREY
(DESHIDRATADOS OSMÓTICAMENTE Y SECADO)



Fuente: Elaboración propia (2013).

Las unidades experimentales fueron filetes de Pejerrey con piel que se evaluaron en fresco y al cabo de cada período establecido, hasta observar que la variable concentración de sal en el músculo de los filetes de Pejerrey llegaron a un rango aproximado de 2 a 2,5% de concentración de cloruro de sodio, para luego pasar al proceso de secado por aire caliente y lograr una obtener un producto con humedad comercial (según Norma Técnica Nacional); y finalmente se aplicó 2 modelos matemáticos y 1 modelo difusional para predecir las curvas de secado de los datos experimentales.

**TABLA N° 6:
NIVELES DECODIFICADOS DE LAS VARIABLES**

Niveles codificados	Concentración de la solución osmótica (%)	Temperatura de Secado por aire caliente (°C)
-1	22	40
0	26	50
+1	30	60

Fuente: Elaboración propia (2013).

TABLA N° 7
MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL
CODIFICADA (3²)

Experimento	C (%)	T (°C)	Tiempo de Secado (min.)
G1	-1	-1	
G2	-1	0	
G3	-1	1	
G4	0	-1	
G5	0	0	
G6	0	1	
G7	1	-1	
G8	1	0	
G9	1	1	

Fuente: Elaboración propia (2013).

C: concentración de la solución osmótica (%)

T: temperatura de secado por aire caliente (°C)

El modelo de regresión para el modelo del planeamiento experimental 3² esta dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \varepsilon$$

Que es un modelo simple necesitándose un mínimo de 09 puntos experimentales (Montgomery, 2001).

4.3 Población y muestra

Población

La población con la cual se trabajó se consideró a todos los filetes contenidos en 20Kg. de filetes Pejerrey con corte "Tipo mariposa", cuya procedencia fue el Muelle Artesanal del Callao.

Muestra

Para obtener una muestra representativa de la población, se tomó 3 grupos al azar formados por doce filetes dando un total de 36 filetes de Pejerrey, los 3 grupos fueron sometidos a una concentración dada de solución salina y a una temperatura del proceso de secado, y se determinó el contenido de agua y sal.

4.4 Técnicas de recolección de datos

4.4.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en:

- Laboratorio de Análisis Químico del Centro Experimental Tecnológico (CET) , y
- Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias (LIPOU) de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos; Ambos en el campus de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao.

4.4.2 Evaluación de las características organolépticas y fisicoquímicas de los Filetes de Pejerrey (Humedad y % NaCl)

En el presente estudio se emplearon un total de 20Kg. de Pejerrey entero (Fig. 10) de procedencia del Muelle Artesanal del Callao.

El pescado empleado en este estudio, fue adquirido en el Mercado Modelo del Distrito del Callao - Provincia del Callao y trasladado en un envase convenientemente refrigerado al Laboratorio de Análisis Químico del Centro Experimental Tecnológico; el tiempo de transporte, fue siempre menor a una hora.

**FIGURA N° 10
MATERIA-PRIMA**



Fuente: Elaboración propia (2013).

Para el acondicionamiento de la materia-prima, se realizaron los cortes para eliminar la cabeza y cola , las vísceras fueron eliminadas a través de un corte en la región Dorsal desde la cabeza hasta la región caudal y con lo cual se obtuvieron filetes con piel tipo “*mariposa*” que fueron lavados con agua potable, los filetes con piel con las cuales se trabajaron en el proceso de Deshidratación osmótica, tuvieron un peso promedio de $15 \pm 0,1\text{g}$ con una longitud promedio de 10cm y espesor promedio de 4mm; siendo almacenadas después en una fuente de acero inoxidable (según Fig. 11) cubierta con una lámina plástica y refrigerados a una temperatura menor a 5°C para el posterior proceso de deshidratación osmótica.

**FIGURA N° 11
MATERIA-PRIMA HABILITADA**



Fuente: propia (2013).

4.4.2.1. Determinaciones sensoriales (H. Wittfogel)

Se realizó una evaluación organoléptica a la materia-prima entera, utilizando la escala de Puntos de H. Wittfogel para las pruebas sensoriales de estado de frescura, tamaño, firmeza de la cavidad abdominal y color (Anexo N° 2) utilizando filetes con calidad aceptable.

4.4.2.2. Determinaciones analíticas

A. Humedad (AOAC ,1998).

La determinación de humedad se realizó según el método de la AOAC 15th edición (1998).

Las muestras, se secaron en estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta llegar a un peso constante. Se pesaron en una balanza analítica (m_0). Se pesó de nuevo la muestra hasta peso constante (m_1). El porcentaje de humedad expresado en porcentaje de contenido de agua en base húmeda, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \cdot 100\% \quad (9)$$

Donde:

m_0 : Masa inicial de la muestra fresca (g).

m_1 : Masa final de la muestra seca (g).

B. Contenido en cloruro sódico (Método de Mohr)

Para la determinación del contenido en cloruro sódico de los filetes de Pejerrey, se utilizó el Método de Mohr. Para lo cual se seleccionaron al azar 10 unidades. Se pesaron 10g de la muestra, con una aproximación de $\pm 0,1\text{g}$. Se agregaron 40ml de

agua destilada en ebullición, se enfrió y se dejó en reposo durante 10 minutos.

Se filtro y luego se lavo el filtro con agua destilada. El filtrado y las aguas de lavado se recogieron en un balón volumétrico de 100ml y se lleva a volumen con agua destilada.

Se tomó una alícuota de 10ml y se tituló con la solución de nitrato de plata AgNO_3 al 0,1N, usando como indicador 1 ml de la solución de Cromato de potasio K_2CrO_4 al 5%, hasta cuando la solución presentó una coloración roja amarillenta.

El contenido de cloruro de sodio en porcentaje, se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{NaCl} = \frac{5,85 (V - V_0) N \cdot F}{m} \quad (10)$$

Donde:

V : Volumen de nitrato de plata gastado en la titulación de la muestra (ml)

V_0 : Volumen de nitrato de plata gastado en la titulación del blanco, (ml)

m : Masa de muestra en gramos

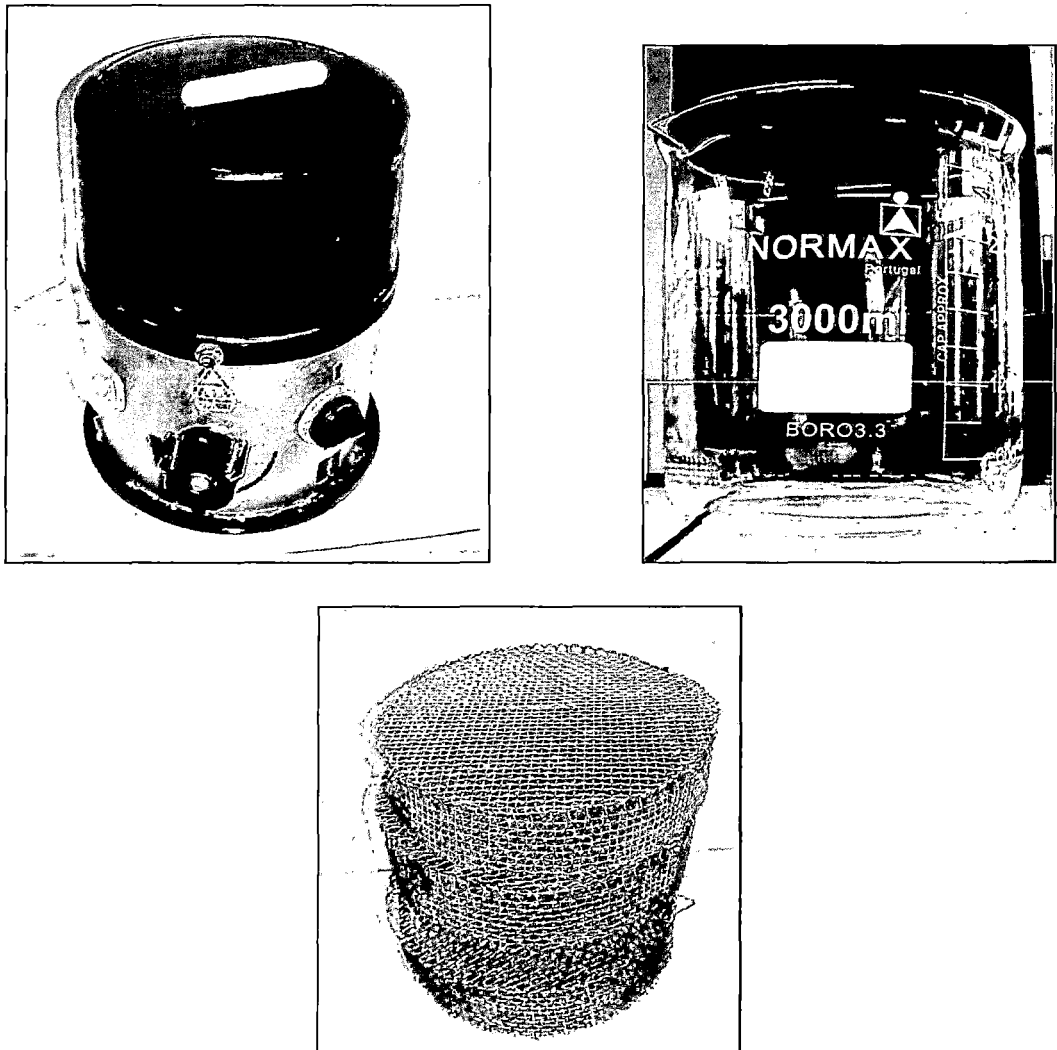
N : Normalidad de la solución de nitrato de plata

F : Factor de dilución

4.4.3 Evaluación del efecto de la concentración de Sal sobre la pérdida de humedad y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica.

En el proceso de la deshidratación osmótica, se prepararon las soluciones osmóticas en un *Beaker* de capacidad de 3 litros acondicionado con soportes en la base para sujetar las celdas de acero inoxidable y la utilización de un agitador magnético, tal como se presenta en la Fig.12.

**FIGURA N° 12
MATERIALES PARA EL PROCESO DE SALADO**

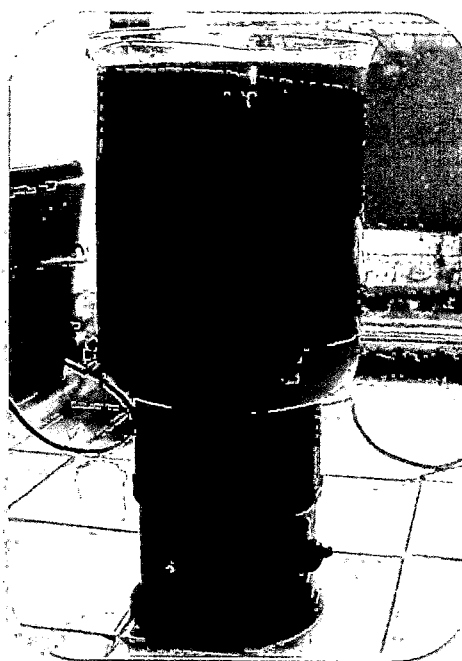


Para la preparación de la solución osmótica se utilizó cloruro de sodio alimenticio (sal común) y agua destilada, preparándose soluciones a tres concentraciones distintas (22, 26 y 30%); previamente las soluciones se sometieron a agitación constante manteniendo homogenizada la solución. Se registró una temperatura promedio de la solución de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Las láminas se colocaron en 3 celdas de acero inoxidable, para lograr una inmersión simultánea. Los filetes formando una sola capa y con la piel hacia arriba, fueron colocados horizontalmente, el esquema de esta operación se describe en la Fig. 12.

La proporción de los filetes y de la solución de salmuera fue suficientemente elevada (1:20) con el objeto de asegurar una concentración constante de la solución osmótica durante el proceso. Esta solución fue constantemente agitada para mantener una constante homogenización de la salmuera en todo el sistema.

FIGURA N° 13
EQUIPO PARA EL PROCESO DE OSMOSIS



Fuente: Elaboración propia (2013)

Los grupos experimentales se formaron con filetes con un peso de $15 \pm 0,1\text{g}$ que fueron sumergidos en una solución de salmuera de concentración y tiempo determinado.

Durante el proceso, se registraron la masa, humedad y contenido de sal de las muestras cada 300 segundos desde el inicio de la inmersión hasta los 2700 segundos; las muestras se identificarán cada intervalo de tiempo: 0, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2400 y 2700 segundos. Todos los experimentos se realizaron por triplicado y se utilizó el valor promedio.

Luego de extraer los filetes se eliminó la salmuera adherida superficialmente con un ligero chorro de agua destilada y se

escurrieron y se secaron superficialmente con papel absorbente, luego se pesó y se le determinó el contenido de humedad y sal.

Para el cálculo de la variación de masa total (ΔM), pérdida de agua (ΔM_w) y ganancia de sólidos solubles (ΔM_{ss}), se emplearon las ecuaciones 11, 12 y 13, respectivamente.

$$\Delta M = \frac{M_t - M_0}{M_0} \quad (11)$$

$$\Delta M_w = \frac{M_t X_{wt} - M_0 X_{w0}}{M_0} \quad (12)$$

$$\Delta M_{ss} = \frac{M_t X_{sst} - M_0 X_{ss0}}{M_0} \quad (13)$$

Donde:

M_0 y M_t son la masa inicial y la masa final en un tiempo determinado de los filetes de pejerrey respectivamente.

X_{w0} : fracción en peso de agua inicial en el filete.

X_{wt} : fracción en peso del agua final en el filete luego del tratamiento osmótica.

X_{ss0} : fracción en peso de sal inicial en el filete.

X_{sst} : fracción en peso de sal final en el filete luego del tratamiento osmótica. Las fracciones en peso son iguales a los porcentajes de agua y de sal divididos por 100.

Y lo valores medidos se expresaron en:

- Contenido de agua en Kg_{H_2O} por Kg de sólido seco deshidratado (Kg_{H_2O}/Kg_{ss} .)
- Pérdida de agua, en g_{H_2O} por 100g de materia seca inicial ($g_{H_2O}/100g_{msi}$)
- Sólidos ganados en g_{sal} por 100g de materia seca inicial ($g_{sal}/100g_{msi}$)

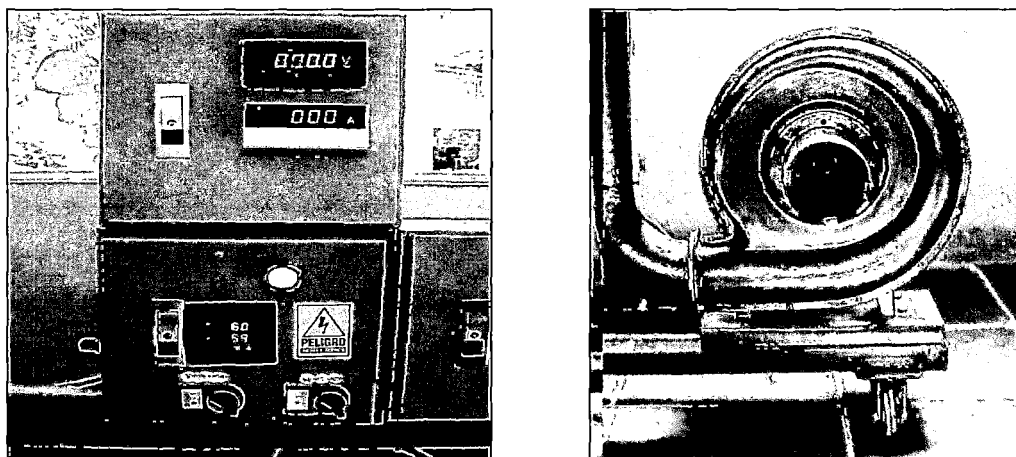
4.4.4. Evaluación del efecto de la temperatura de secado por aire caliente sobre el tiempo y la velocidad de pérdida de agua.

Para el proceso de secado por aire caliente de los filetes de Pejerrey pretratadas osmóticamente (con un rango de 5 a 10% de sal), se utilizó un secador de lecho fijo a escala de laboratorio, constituido de una cámara de secado (donde es colocada el porta-muestras), un sistema de calentamiento del aire (dado por un conjunto de resistencia eléctricas) y un sistema de circulación del aire (que consta de un soplante y un anemómetro para el control de la velocidad del aire de secado).

**FIGURA N° 14
SECADOR EXPERIMENTAL**



FIGURA N° 15
CONTROL DE TEMPERATURA Y VENTILADOR DEL SECADOR



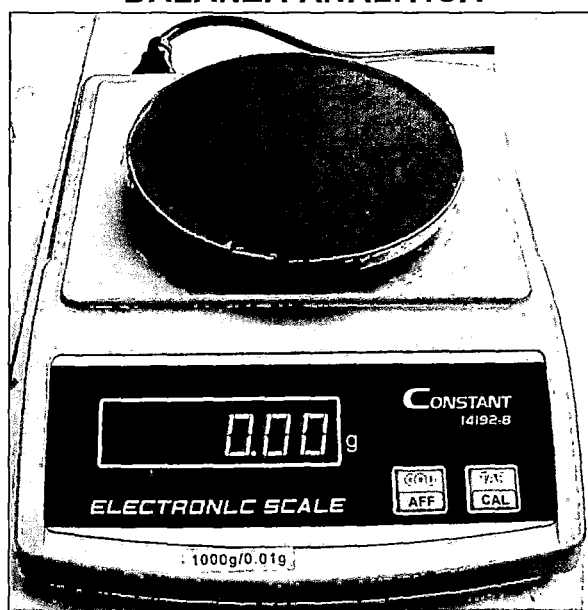
Previo al proceso de secado, el equipo se colocó en funcionamiento media hora antes, para estabilizar la temperatura a la cual fue secada la muestra. Una vez estabilizada la temperatura, las muestras fueron colocadas en la bandeja y colocadas dentro de la cámara de secado, dando inicio al proceso de secado.

El planteamiento experimental consistió en realizar las corridas experimentales a las siguientes temperaturas: 40, 50 y 60°C, manteniendo constante las velocidad del aire de secado en 1m/s, con el flujo del aire de secado siempre perpendicular en relación al eje de la dimensión de los filetes de pescado.

Para determinar las curvas y la cinética de secado, los filetes de Pejerrey se colocaron en un canastillo de acero inoxidable con una

densidad de carga de $0,7\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$, para luego ser pesadas (utilizando una balanza electrónica de precisión marca Constant $\pm 0,01\text{g}$ de precisión) , durante el secado se pesaron inicialmente a cada 10 minutos hasta completar una hora, a partir de las cual las muestras fueron pesada a cada 15 minutos hasta completar la segunda hora, después cada 20 minutos hasta que la muestra alcanzará el valor de la humedad de $0,25\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kgs}_{\text{s}}$. (base seca).

FIGURA N° 16
BALANZA ANALÍTICA



4.4.4.1 Cinética de secado

La cinética de secado fue determinado a través de las mediciones de masa, realizando a intervalos de tiempos crecientes; con la siguiente ecuación se determinó la humedad media a cada intervalo de tiempo:

$$X_t = X_0 - \left[\frac{(m_t - m_0)}{s \cdot m_0} \right] \quad (14)$$

Donde:

X_0 : es la humedad inicial en base seca, y

m_0 y m_t : son las masas inicial y en función del tiempo respectivamente, y

s : es la fracción másica del sólido seco inicial en base húmeda.

A partir de estos datos, fue calculado la cantidad de humedad adimensional (MR), tal como se presenta en la ecuac. 15.

$$MR = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (15)$$

Donde:

X : Humedad para cada intervalo de tiempo

X_e : Humedad de equilibrio

X_0 : Humedad inicial

Determinación del coeficiente de transferencia de masa en el proceso de secado de filetes de pejerrey.

4.4.4.2. Velocidad de secado

Los valores de difusividad efectiva (D_{ef}) del agua, fueron obtenidas aplicando la ecuación difusional de la segunda ley de Fick para tiempos largos, considerando una lámina de geometría infinita (ecuación 16), y asumiendo que: (1) el contenido de humedad inicial era uniforme en los filetes de Pejerrey; (2) la geometría del filete de Pejerrey permanecía constante durante el proceso de secado.

Para calcular la difusividad efectiva de agua en el interior del filete de Pejerrey, se ha usado la ecuación N° 16, para una placa plana, donde la difusión tiene lugar en una sola dirección y el contenido de humedad inicial es uniforme y se despreciará las resistencias externas a la transferencia de masa.

$$\frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cdot \exp \left[-(2n-1)^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{L^2} \right] \quad (16)$$

Que usando el 1^{er} termino de la serie, la simplificación resulta la ecuac. 17.

$$\frac{X - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(-\frac{D_{ef} \cdot \pi \cdot t}{4.L^2}\right) \quad (17)$$

Tomando logaritmo natural en ambos términos

$$\text{Ln}\left(\frac{X - X_e}{X_o - X_e}\right) = \text{Ln}\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{D_{ef} \cdot \pi^2 \cdot t}{4.L^2}\right) \quad (18)$$

Donde:

X_e : Humedad promedio de equilibrio con el aire de secado
(Kg_{H2O}/Kg_{Ss});

X : Humedad media del sólido en cualquier tiempo (Kg_{H2O}/Kg_{Ss});

X_o : Humedad inicial del sólido al comienzo del período decreciente
(Kg_{H2O}/Kg_{Ss});

D_{ef} : Coeficiente de difusión efectiva del agua (m²/s);

L : Espesor del filete con piel (m);

t : Tiempo de secado (s).

Para determinar el coeficiente de difusión efectiva del agua, se suponen que los filetes de Pejerrey son láminas infinitas y que cumple las condiciones de entorno (geometría del producto, concentración contenido de humedad homogénea).

Para el valor de la Difusividad efectiva se linealizó la ecuación 17, donde la pendiente de la ecuación obtenida se igualo a $-(D_{ef} \cdot \pi^2 / 4 \cdot L^2)$ de donde se obtiene D_{ef} (ecuación 18).

Ajustando la Ecuac. 17 a los datos experimentales puede se determinar el coeficiente de difusividad efectiva. Sólo se consideró un término en la serie ya que los términos adicionales no causan gran influencia en el resultado final.

4.4.4.3. Energía de Activación

La energía de activación es un es un parámetro importante en el análisis final del proceso de secado, ya que nos indica la dificultad en la retirada del agua del producto.

Se utilizó la relación de Arrhenius (ecuac. 19) para conocer la influencia de la temperatura en la difusividad del agua, siendo D_0 una constante (m^2/s), E_a la energía de activación (kJ/mol) y R es la

constante universal de los gases (8,313kJ/mol·K); la energía de activación fue obtenida linealizando la ecuación de Arrhenius dando origen a la ecuación:

$$D_{ef} = D_o \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (19)$$

$$\ln D_{ef} = \ln D_o - \left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (20)$$

4.4.4.4. Modelos para el proceso de secado por aire caliente

Las curvas de secado experimentales fueron modelados utilizándose los modelos presentados para la simulación del proceso de secado por aire caliente de filetes de Pejerrey, siendo estos modelos de Newton, Page y Fick, los datos experimentales del contenido de humedad de los filetes de Pejerrey estos fueron ajustados a estos modelos.

Estos modelos empíricos (Ecuac. 21 y 22) han sido usados para ajustar los datos experimentales de manzanas, peras, algas, papa y últimamente usado en carnes (Corzo, 2004) y en este caso se aplicó para los filetes de Pejerrey.

Modelo de Newton:

$$\frac{(X - X_e)}{(X_o - X_e)} = \exp(-k_1 \cdot t) \quad (21)$$

Donde:

k_1 : Parámetro del modelo Newton

t : Tiempo de secado

Modelo de Page:

$$\frac{(X - X_e)}{(X_o - X_e)} = \exp(-k_2 \cdot t^n) \quad (22)$$

Donde:

k_2 y n : Parámetro del modelo Page

t : Tiempo de secado

Una de las condiciones necesarias para aplicar el modelo de Fick (ecuac. 23) es que la humedad del sólido, a tiempo cero, sea la misma en cualquier punto, dado que el período de la velocidad de secado constante fue muy corto, se describió el período de velocidad de secado decreciente con el modelo de la ecuación usando el primer término de la serie, y se comparó con los otros 2 modelos empíricos anteriores.

Modelo de Fick

$$\frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cdot \exp \left[-(2n-1)^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{L^2} \right] \quad (23)$$

Donde:

n : Termino de la serie,

D_{ef} : Difusividad efectiva (m^2/s),

X_e : Humedad promedio de equilibrio con el medio ambiente
(Kg_{H_2O}/Kg_{ss}),

X : Humedad media del sólido en el tiempo (Kg_{H_2O}/Kg_{ss}),

X_0 : Humedad inicial del sólido (Kg_{H_2O}/Kg_{ss}),

L : Espesor de la placa (m),

t : Tiempo de secado (s).

4.5 Técnicas para el procesamiento de la información

Para la evaluación cuantitativa de la exactitud de ajuste obtenido de los modelos propuestos sobre los datos experimentales, se utilizaron parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación, el chi-cuadrado y la raíz media de los errores cuadráticos (RMSE).

El Coeficiente de determinación (r^2) (ecuación 25), el cual indica que tan exactos son los valores simulados de los reales en función de la línea recta, esto es, la proximidad de todos los valores deben tener el mismo valor para cada condición en el Tiempo, temperatura y velocidad del aire

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (MR_{\text{mod},t} - MR_{\text{exp},t})^2}{\sum_{t=1}^N (\overline{MR}_{\text{mod}} - MR_{\text{mod},t})^2} \quad (25)$$

Donde:

$\overline{MR}_{\text{mod}}$: Contenido de la humedad adimensional previsto en el modelo

$MR_{\text{mod},t}$: Contenido de la humedad adimensional previsto en el modelo en un tiempo determinado

MR_{exp} : Contenido de humedad adimensional del experimento.

$MR_{exp,t}$: Contenido de humedad adimensional del experimento

N: numero de muestras

El chi-cuadrado reducido (χ^2) (ecuac. 15), es otro parámetro que compara las variaciones entre resultados experimentales y previstos. Este parámetro permite determinar realmente es posible representar un conjunto de valores como distribución normal, y verificar este conjunto se encuentra dentro de los valores de probabilidad que permiten definir el mismo.

$$\chi^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,t} - MR_{mod,t})^2}{(N - z)} \quad (26)$$

El error cuadrado medio ($RMSE$) (Ecuac. 27), es la variabilidad media de la distancia entre el valor previsto y el observado. Este índice nos da idea de la diferencia existente entre la matriz de variancia y de covariancia de la muestra y la matriz del modelo obtenido, partiendo del presupuesto que el modelo es adecuado. Cuando el modelo es perfecto el $RMSE$ es igual a cero, en este sentido, cuanto más próximo de 0 (cero) sea el valor, mayor es la proximidad entre la matriz de variancias y covariancias estimada y la matriz de los datos.

(27)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{\text{mod.t}} - MR_{\text{exp.t}})^2 \right]^{1/2}$$

Los valores más bajos de RMSE y χ^2 o que tiendan a cero, junto con los mas alto valores de r^2 o que tiendan a uno, se consideran como el de mejor ajuste a los datos experimentales

V. RESULTADOS

5.1 Estudio del pretratamiento de la deshidratación osmótica

De la evaluación del efecto de la concentración de Sal sobre la pérdida de humedad y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica.

La influencia de la deshidratación osmótica sobre el contenido de agua durante el procesamiento es mostrado en el Anexo N° 2, se presentan los valores medios de ensayos que fueron analizados por triplicado. Donde se observa que las ganancias de sal (2 - 2,5%) suceden durante los primeros 600 segundos de deshidratación osmótica.

En la Fig. 17, se muestra la evolución de la concentración de NaCl en el músculo de Pejerrey; se observa que la tendencia es ligeramente no lineal y no existe diferencia significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos usados sobre la ganancia de los sólidos de la sal en el músculo del pescado (ver anexo N° 2 sobre el análisis de varianza), por lo que solo las muestras sometidas al tratamiento osmótica de 22% de concentración de NaCl fueron estudiadas para el posterior proceso de secado por aire caliente.

En las Figuras 18, 19 y 20, se ha ajustado la concentración de la sal versus el tiempo de inmersión en las diferentes concentraciones de salmuera al modelo matemático de Gauss:

$$Y = Y_o + \frac{A}{w\sqrt{\frac{\pi}{2}}} \cdot \exp\left[-2\left(\frac{x-x_c}{w}\right)^2\right] \quad (27)$$

Donde:

Y_o : Desplazamiento de línea de base.

x_c : Centro de la curva.

w : Igual a 2 veces la desviación estándar de la distribución

A : Área bajo la curva.

Siendo el coeficiente de Determinación para las concentraciones de 22,26 y 30% de NaCl de 0,97; 0,98 y 0,96 respectivamente. Por los valores obtenidos se observa que la ecuación de Gauss se ajusta bien a los datos experimentales obtenidos. Para el ajuste matemático se hizo uso del programa de Ingeniería: *Origin Lab. Versión 8,0.*

FIGURA N° 17
CURVA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE FILETES DE PEJERREY A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SALMUERA

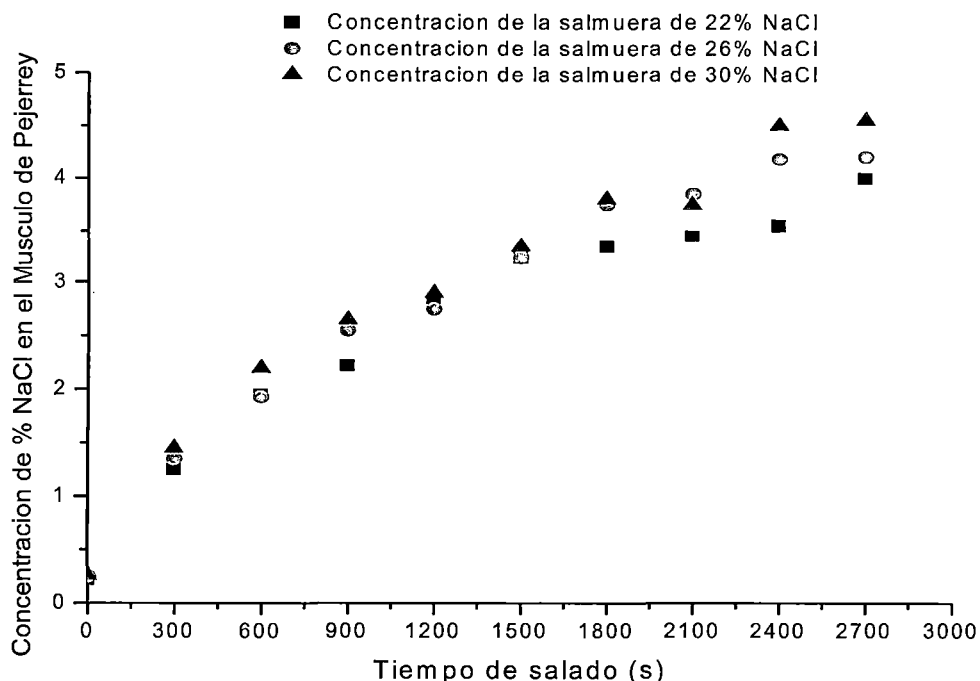


FIGURA N° 18
VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS A 22% NaCl

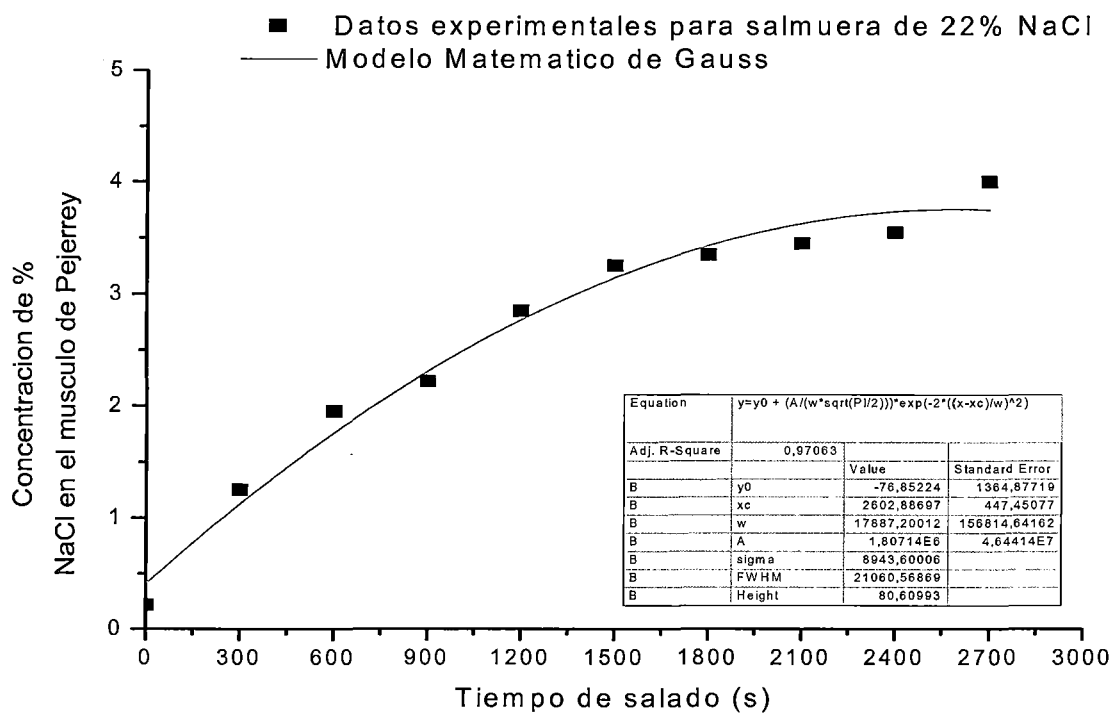


FIGURA N° 19
VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS A 26% NaCl

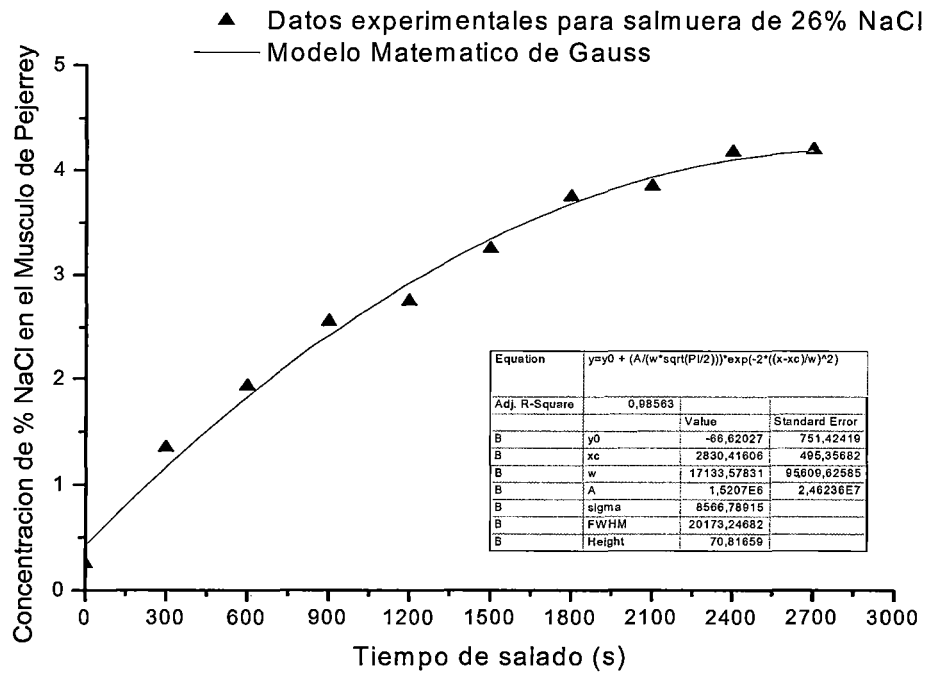
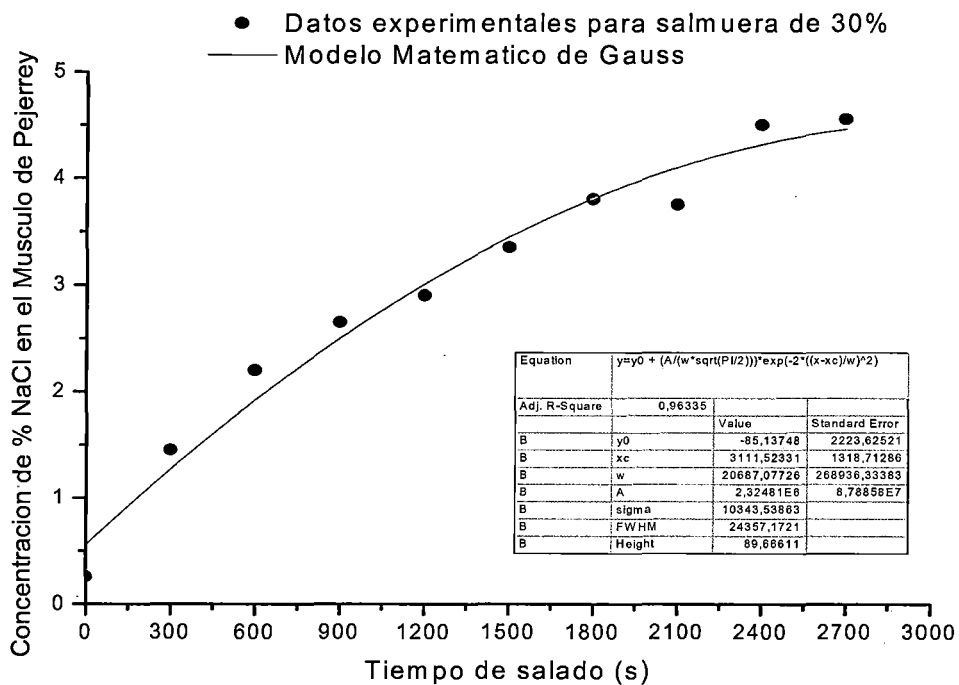


FIGURA N° 20
VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS A 30% NaCl



5.2. Estudio de la operación de secado por aire caliente

Después del tratamiento de la deshidratación osmótica, las muestras se secaron por aire caliente a temperaturas de 40, 50 y 60°C

5.2.1. Características de la Materia-prima

Para esta etapa de estudio, se utilizó filetes de Pejerrey, que fueron sometidos a un proceso de deshidratación osmótica en una solución de cloruro de sodio al 22% (con una humedad de 72%) y por un tiempo de 2700 segundos (2 -2,5% de cloruro de sodio en el músculo).

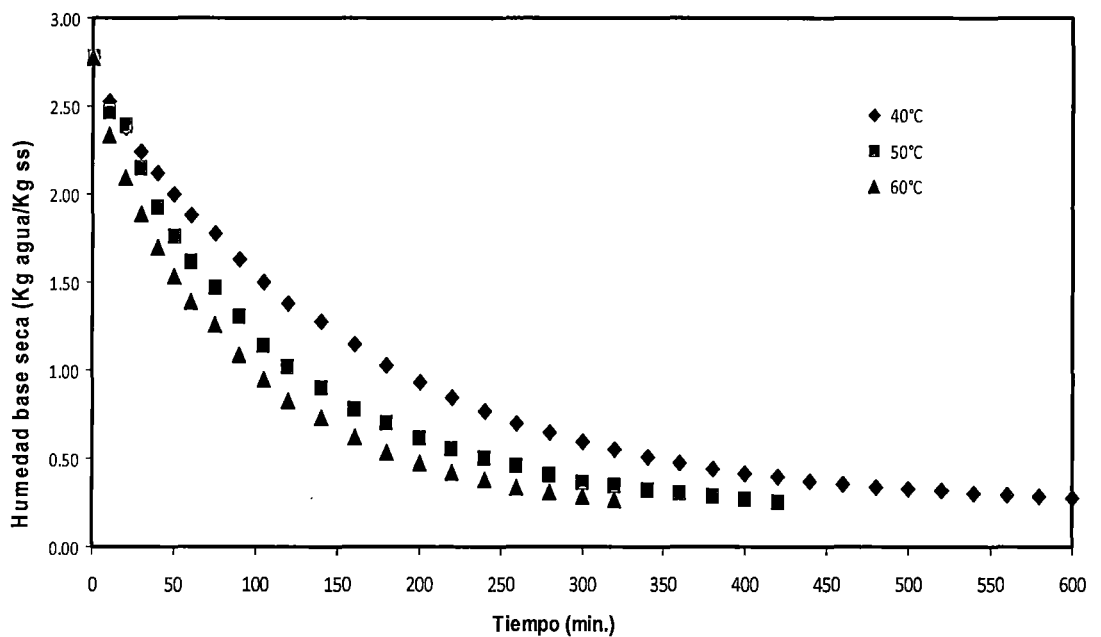
5.2.2. Resultados experimentales del proceso de secado.

5.2.2.1. Cinética de secado

Con la instalación de secado por aire caliente, se usó tres temperaturas de secado (40, 50 y 60°C) y una velocidad de secado de 1m/s, en el anexo N° 3 se presenta los resultados experimentales al pesar las muestras del producto en proceso a diferentes intervalos de tiempo.

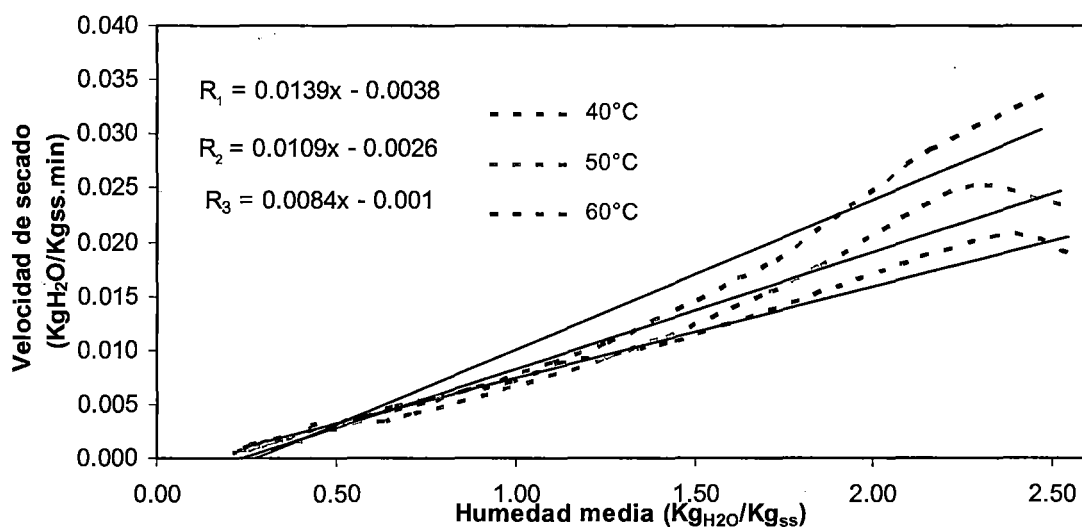
En la Fig. 21, se representan las curvas de secado de los filetes de Pejerrey correspondientes a cada uno de los experimentos, en la forma habitual de representación de la variación del contenido de humedad en base seca versus el tiempo (X vs. t). Las curvas presentan la forma convencional, donde se puede apreciar un corto periodo de secado constante, seguido de un periodo mucho más largo de velocidad decreciente; también se observa las curvas de secado de los filetes de Pejerrey, se ven afectadas al aumentar la temperatura de trabajo, lo que lleva a disminuir el tiempo de secado. A partir de estos datos se obtuvieron las curvas de velocidad de secado que se muestran en la Fig.22.

FIGURA N° 21
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A DIFERENTES
TEMPERATURAS DE SECADO (°C)



En la Fig. 22, se puede apreciar la cinética de secado frente al contenido de humedad para los ensayos experimentales, prevaleciendo una reducción de la velocidad de secado con la caída del contenido de humedad de la muestra, así mismo que la temperatura (manteniendo la velocidad de aire de secado constante) influye directamente sobre la velocidad que tiene lugar la operación.

**FIGURA N° 22:
VELOCIDAD DE SECADO FRENTE A LA HUMEDAD A
DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECADO (°C)**



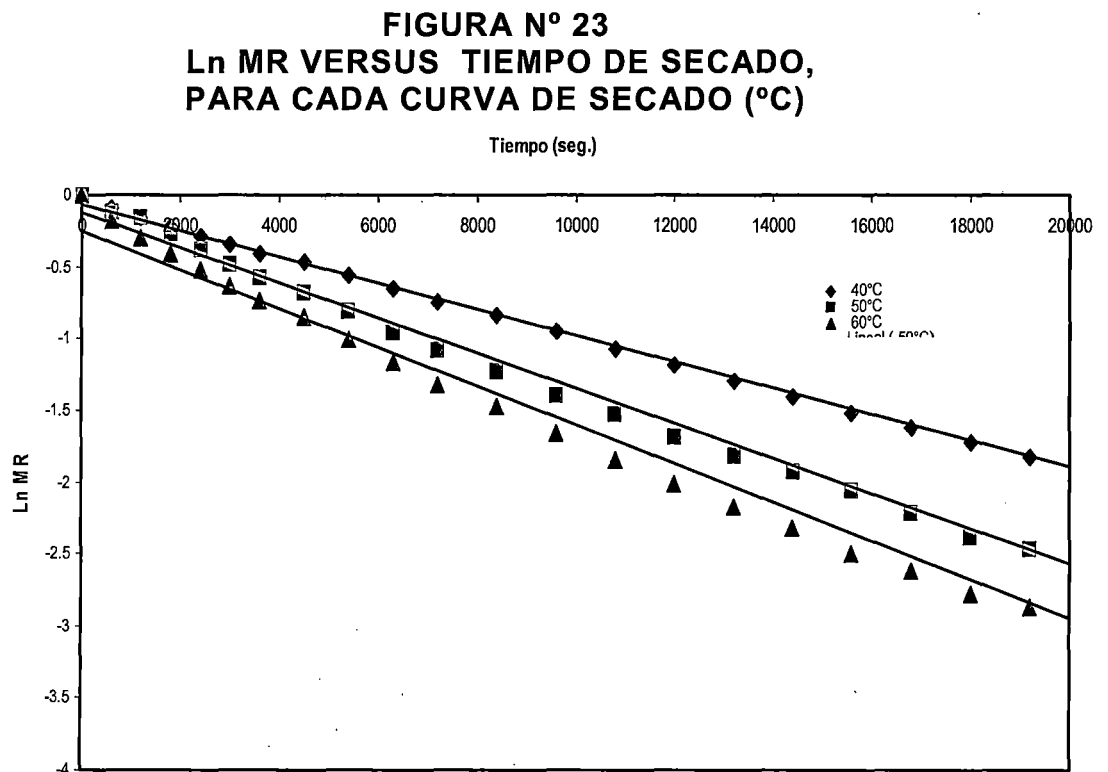
**CUADRO N° 3:
TIEMPO DE SECADO**

Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (min)
40	600
50	400
60	320

5.2.2.2. Velocidad de secado

Se calcularon el coeficiente de difusión efectiva utilizando a ecuación linealizada de transferencia de masa unidimensional transitoria para placa plana con coeficiente de difusión constante, Ecuación (18).

Al graficar el logaritmo de la relación de humedad ($\ln MR$) en función del tiempo se obtiene unas líneas rectas (Fig.23), de cuya pendiente $-(D_{ef} \cdot \pi^2 / 4L^2)$ se puede obtener el coeficiente difusional de agua (D_{ef}) para cada temperatura de trabajo.



Para una variación de temperatura de aire de 40 a 60°C, el valor del coeficiente de difusividad efectiva varía entre 5,71 a $9,29 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ (según cuadro N° 4).

**CUADRO N° 4:
VALORES DE LAS DIFUSIVIDADES**

Tratamiento	Temperatura de secado (°C)	Difusividad efectiva ($\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-10}$
1	40	5,76
2	50	7,13
3	60	9,29

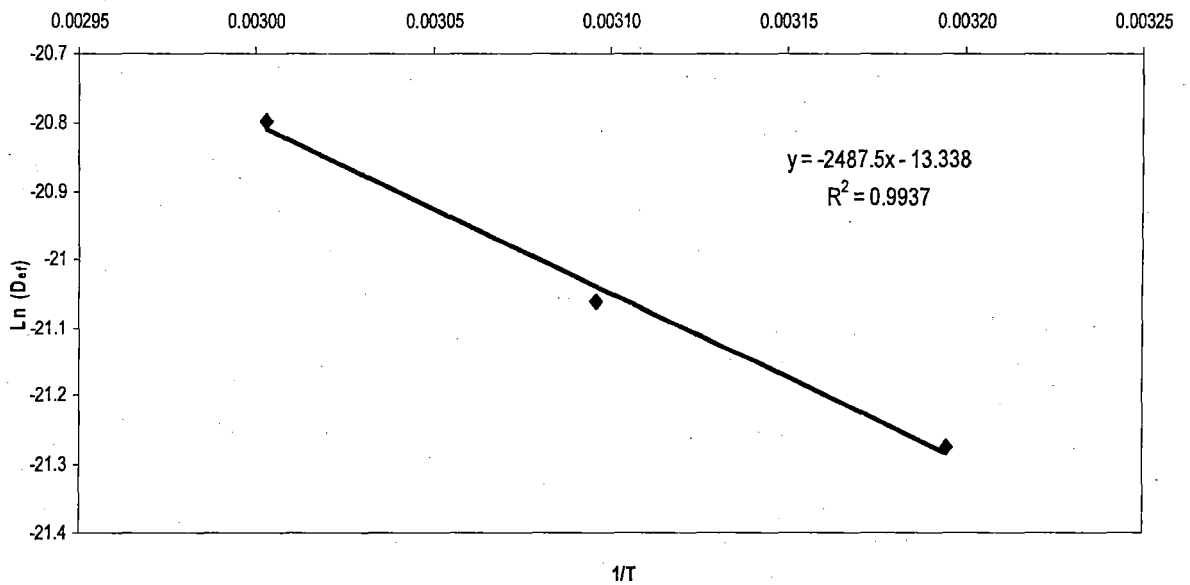
Fuente: elaboración propia (2013).

5.2.2.3. Estudio de la energía de activación (E_a)

El cálculo de la energía de activación fue efectuado, usando los valores de la difusividad efectiva y la temperatura del cuadro N° 6.

En la Fig. 24 se presenta los valores de $\ln(D_{ef})$ versus $1/T$ ajustadas a una recta, cuya pendiente da el valor de la energía de activación (E_a) obteniéndose el valor de 20,68 kJ /mol para filetes de pejerrey con piel.

FIGURA N° 24
VALORES DE Ln(D_{ef}) vs. 1/T



Con los valores de las constantes del ajuste la ecuación toma la forma específica de:

$$D_{ef} = 1,61 \cdot 10^{-6} \cdot \exp \left[- 2487,5 / (T + 273) \right]$$

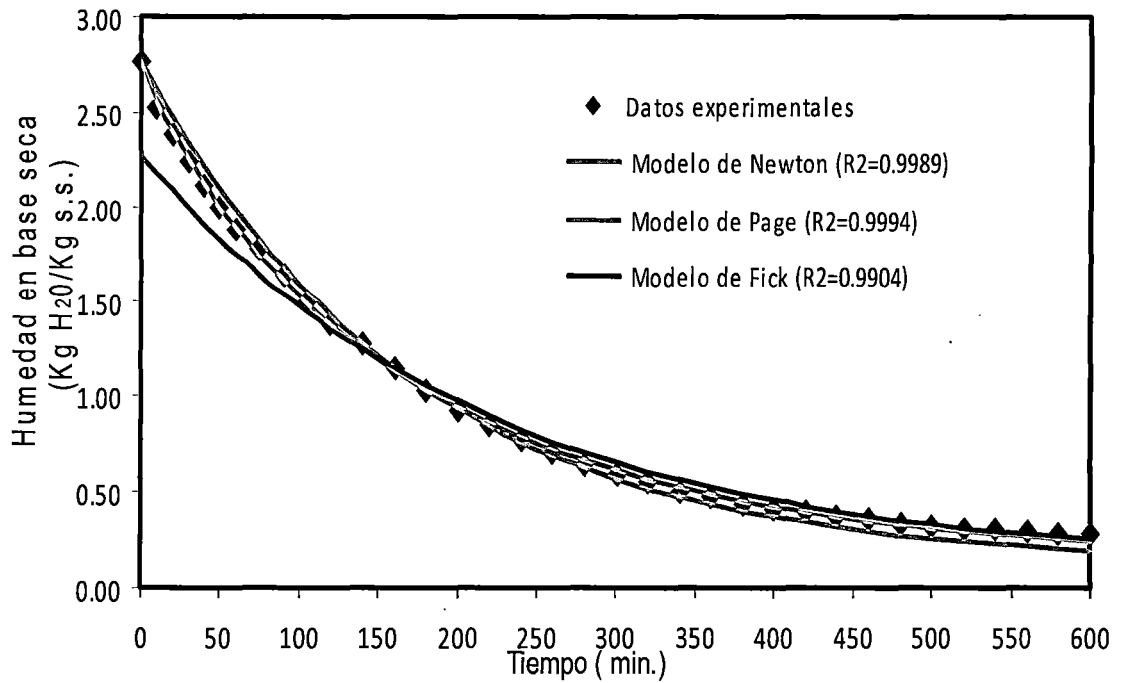
A partir de la ecuación es posible simular el valor de la difusividad del vapor de agua para una temperatura dada dentro de la faja de temperaturas experimentadas, y simular la cinética de secado de filetes de Pejerrey con piel entre las fajas de las temperaturas ensayadas.

5.2.2.4. Modelación del proceso de secado por aire caliente

Los cuadros 5, 6 y 7 muestran los valores de los diferentes parámetros para los modelos Newton, Page y Fick respectivamente, obtenidos para nuestros datos experimentales de secado del filete de Pejerrey a diferentes temperaturas.

La Fig. 25 muestra la comparación de los tres modelos seleccionados, considerando la temperatura de secado de 40°C, velocidad de 1m/s, y espesor de 4×10^{-3} m. Se puede ver que los modelos de Page y Newton presentan una buena concordancia con los datos experimentales, mientras que el modelo Fick diverge ligeramente en relación a los Modelos de Page y Newton.

FIGURA N° 25
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A 40°C, CON
VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO DE 1m/s



Las Fig. 26 y 27, presentan una comparación de la variación de humedad (*base seca*) frente al tiempo de secado utilizando los resultados experimentales y los resultados obtenidos con el modelo de Newton, Page y Fick, para el secado de Filetes de Pejerrey con piel con espesor de $4 \cdot 10^{-3}$ m y velocidad del aire de secado 1 m/s.

FIGURA N° 26
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A 50°C, CON VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO DE 1m/s

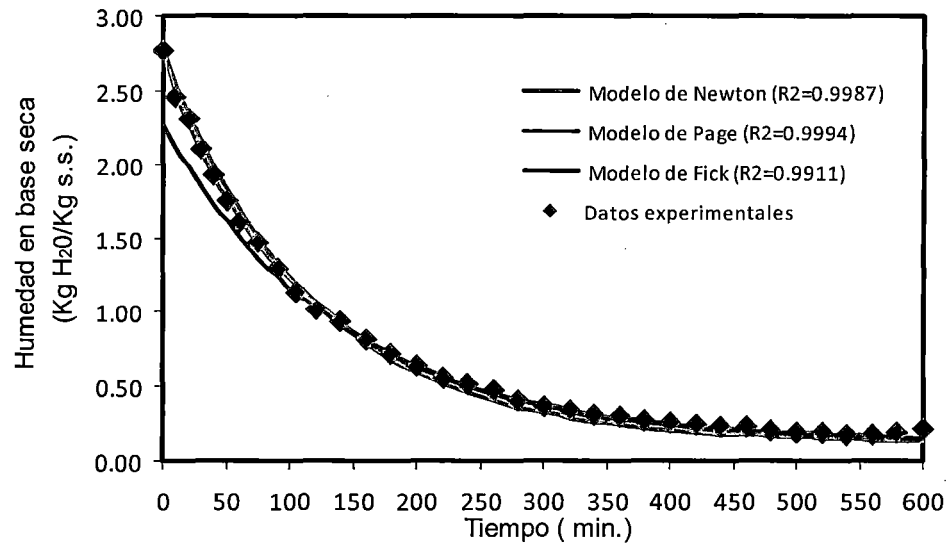
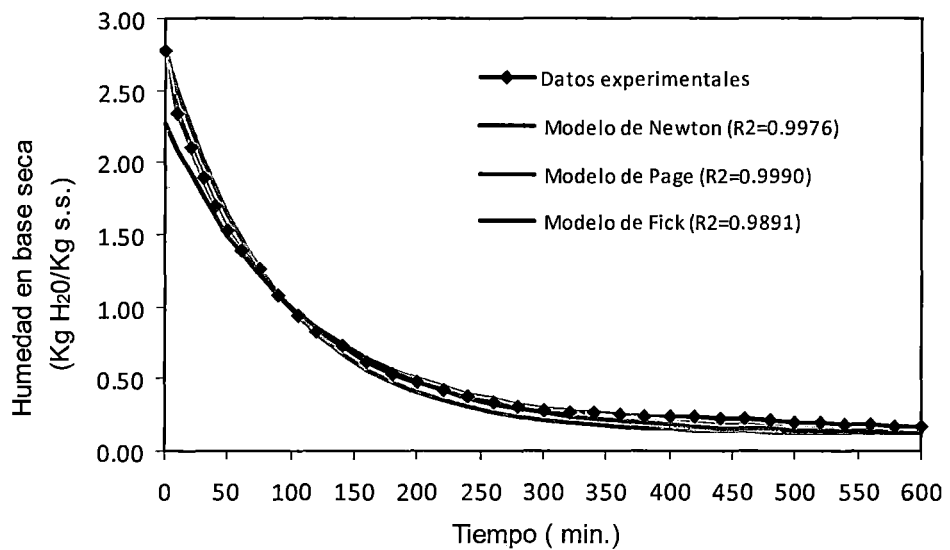


FIGURA N° 27
CURVA DE SECADO DE FILETES DE PEJERREY A 60°C, CON VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO DE 1m/s



**CUADRO N° 5:
PARÁMETROS DEL MODELO DE NEWTON Y COEFICIENTE
DETERMINACIÓN (r^2), DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE
LA CINÉTICA DEL PEJERREY**

Temperatura del aire (°C)	Parámetro del Modelo de Newton k_1
40	0,0059
50	0,0086
60	0,0112

**CUADRO N° 6:
PARÁMETROS DEL MODELO DE PAGE Y COEFICIENTE
DETERMINACIÓN (r^2), CALCULADOS POR REGRESIÓN DE LOS
DATOS EXPERIMENTALES DE LA CINÉTICA DEL PEJERREY.**

Temperatura del aire (°C)	Parámetros del Modelo de Page k_2	n
40	0,0109	0,8829
50	0,0146	0,8911
60	0,0267	0,8099

**CUADRO N° 7:
COEFICIENTE DE DIFUSIÓN PARA EL MODELO FICK**

Temperatura del aire (°C)	$D_{ef} (m^2/s) \times 10^{10}$
40	5,76
50	7,13
60	9,29

**CUADRO N° 8:
PARÁMETROS DEL MODELO DE NEWTON Y COEFICIENTE
DETERMINACIÓN (r^2), DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE
LA CINÉTICA DEL PEJERREY**

	Modelo de Newton	Modelo de Page	Modelo de Fick
r^2	0,9989	0,9994	0,9904
χ^2	$8,161 \cdot 10^{-07}$	$7,387 \cdot 10^{-07}$	$3,153 \cdot 10^{-06}$
RMSE	$2,697 \cdot 10^{-02}$	$1,972 \cdot 10^{-02}$	$6,395 \cdot 10^{-03}$

El modelo de Page presentó el más alto valor del coeficiente de Determinación (R^2) acompañado de los valores más bajos referidos al valor de χ^2 y RMSE. Por lo que la ecuación Matemática de Page para los datos experimentales obtenidos presenta el mejor ajuste para la simulación de este proceso.

5.3. De la optimización de los procesos combinados de la Deshidratación osmótica y secado por aire caliente

En la tabla N° 8, se muestra los grupos experimentales del diseño experimental obteniéndose las variables de respuesta (tiempo de secado).

TABLA N° 8

MATRIZ DE RESULTADO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL(3²)

Experimento	C (%)	T (°C)	Tiempo de Secado (min.)
G1	-1	-1	600
G2	-1	0	400
G3	-1	1	340
G4	0	-1	580
G5	0	0	375
G6	0	1	320
G7	1	-1	610
G8	1	0	410
G9	1	1	350

Fuente: Elaboración propia (2013).

C: concentración de la solución osmótica (%)

T: temperatura de secado por aire caliente (°C)

Usando el software de STATISTICA versión 7,0 se obtuvieron los siguientes resultados:

La salida del Análisis de Varianza del diseño experimental realizado, se presenta en la Tabla N° 8.

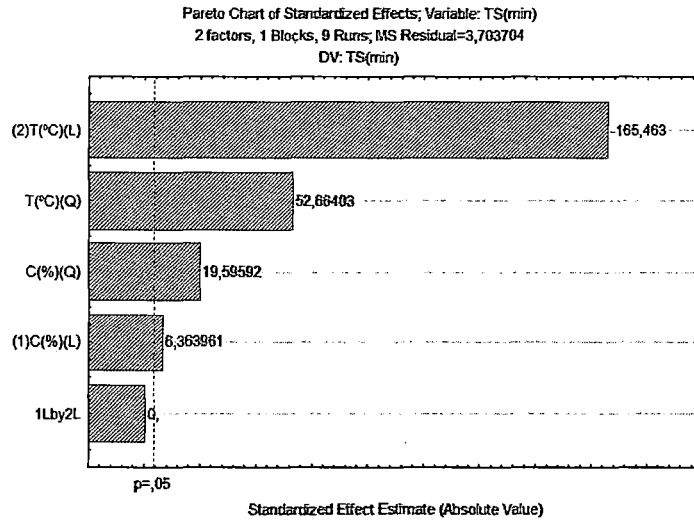
TABLA N° 9.
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

ANOVA; Var.:TS(min); R-sqr=,9999; Adj:,99974 (Spreadsheet8)					
2 factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=3,703704					
DV: TS(min)					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)C%(L)	150,0	1	150,0	40,50	0,007852
C%(Q)	1422,2	1	1422,2	384,00	0,000290
(2)T(°C)(L)	101400,0	1	101400,0	27378,00	0,000000
T(°C)(Q)	10272,2	1	10272,2	2773,50	0,000015
1L by 2L	0,0	1	0,0	0,00	1,000000
Error	11,1	3	3,7		
Total SS	113255,6	8			

Se observa la importancia de los efectos y los coeficientes del modelo de regresión, siendo la variable de temperatura lineal quien representa la mayor importancia. Los términos lineales y cuadráticos de la concentración y temperatura son importantes ($p < 0,05$) no así la combinación lineal de la concentración de la salmuera y la temperatura ($p > 0,05$).

En la grafica de Pareto puede observarse los efectos de las variables usadas sobre la variable de respuesta del tiempo de secado (Fig. 7).

FIGURA N° 7
GRAFICA DE PARETO PARA LA VARIABLE DE RESPUESTA
DEL TIEMPO DE SECADO



Los coeficientes del modelo de regresión de la superficie de respuesta, se presentan en la tabla N°9.

TABLA N° 9
COEFICIENTES DE REGRESIÓN DEL MODELO DE LA
SUPERFICIE DE RESPUESTA

Regr. Coefficients; Var.:TS(min); R-sqr=,9999; Adj.,9998 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=2,777778 DV: TS(min)						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(4)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	377,222	1,242260	303,658	0,000000	373,773	380,671
(1)C(°C)(L)	5,000	0,680414	7,348	0,001826	3,111	6,889
C(°C)(Q)	26,667	1,178511	22,627	0,000023	23,395	29,939
(2)T(°C)(L)	-130,000	0,680414	-191,060	0,000000	-131,889	-128,111
T(°C)(Q)	71,667	1,178511	60,811	0,000000	68,395	74,939

Siendo el modelo matemático para el tiempo de secado de la siguiente forma:

$$\vartheta = 377,22 + 5x_1 + 26,667x_1^2 - 130x_2 + 71,667x_2^2$$

Donde:

ϑ : Tiempo de secado

x_1 : Concentración de la salmuera (%)

x_2 : Temperatura del aire de secado (°C)

Las relaciones de las variables codificadas con las variables reales se presentan a continuación:

$$x_1 = \frac{C-26}{4} \quad (11)$$

$$x_2 = \frac{T-50}{10} \quad (12)$$

En las Figuras N° 8 y 9 se presentan las superficies de respuesta y de contorno respectivamente, correspondiendo que para obtener un **menor tiempo de secado** las variables óptimas combinadas serian usando una temperatura de 60°C y una concentración de salmuera del 26%.

FIGURA N° 8
SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA EL TIEMPO DE SECADO DE LOS
FILETES DE PEJERREY

Fitted Surface; Variable: TS(min)

2 factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=2,77778

DV: Tiempo de Secado (min)

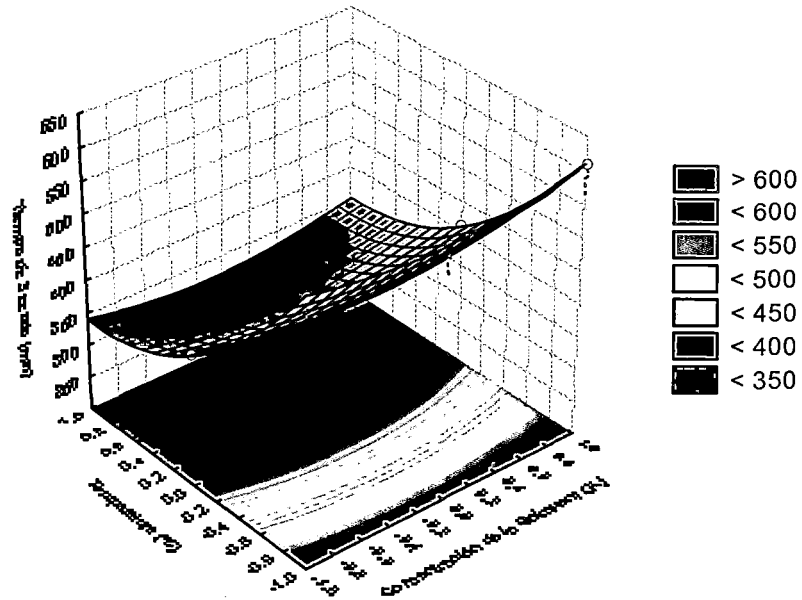
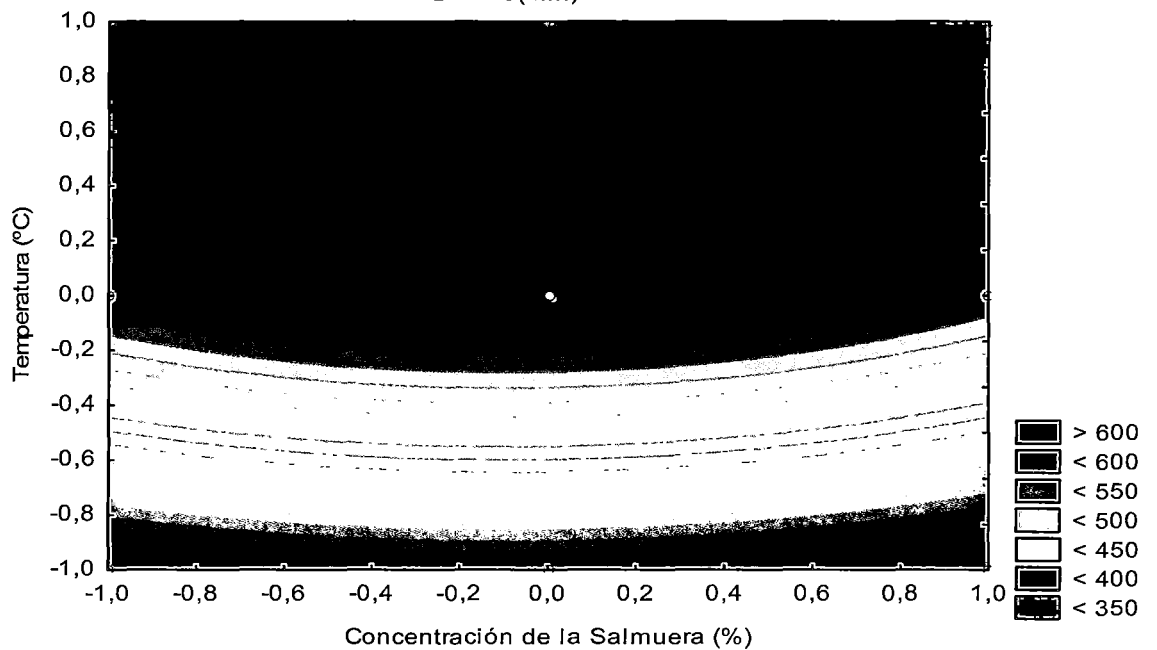


FIGURA N° 9
SUPERFICIE DE CONTORNO PARA EL TIEMPO DE SECADO DE LOS
FILETES DE PEJERREY

Fitted Surface; Variable: Tiempo de Secado (min)

2 factors, 1 Blocks, 9 Runs; MS Residual=2,77778

DV: TS(min)



VI. DISCUSION DE RESULTADOS

Después de estudiar los aspectos más importantes del proceso de deshidratación osmótica y secado de filetes de Pejerrey, se ha llegado a las siguientes discusiones:

1.- La concentración inicial de cloruros obtenida como promedio de las muestras de Pejerrey fue de $0,022\text{Kg}_{\text{soluto}}/\text{Kg}_{\text{Ss}}$, valor que se comparó con el valor de $0,014\text{Kg}_{\text{soluto}}/\text{Kg}_{\text{Ss}}$ (Chirichigno, 2001), estos resultados no corresponden cabe la posibilidad que en el expendio de la mataria prima

2.- La humedad inicial obtenida como promedio de los valores de las gráficas para el Pejerrey fue de $3,17\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{Ss}}$, valor que se corresponde con la humedad inicial de $3,25\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{Ss}}$. (Chirichigno, 2001).

3.- Los filetes de Pejerrey en el proceso de Deshidratación Osmótica para las concentraciones de 22, 26 y 30% de NaCl se obtuvo como coeficiente de Determinación fueron de 0,97; 0,98 y 0,96; valores hacen precisar que no existe diferencia entre los tratamientos de la deshidratación osmótica de los Filetes de Pejerrey.

4.- Las muestras sometidas a diferentes concentraciones de NaCl aumento el tiempo de secado para alcanzar la humedad comercial en las temperaturas de 40, 50 y 60°C, siendo esto que disminuye la velocidad de pérdida de agua , estas debido a la mayor concentración de solutos en las muestras (Xue Keqing, 2004)

5.- Para una variación de temperatura de aire de 40 a 60°C, el valor del coeficiente de difusividad efectiva varía entre 5,71 a $9,29 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$. Estos valores de difusividad están de acuerdo en orden de magnitud encontrados por Vivanco (2005) trabajados con filetes de sardina con piel y no se pudo comparar con otros resultados debido a la escasa cantidad de investigación publicados para productos pesqueros.

Se observó en las corridas experimentales de las muestras sometidas los valores medios y desviaciones estándares de los estadísticos propuestos que los modelos presentan una buena exactitud en el ajuste, cuyos valores del coeficiente de determinación (r^2) fueron de cercanos a la unidad.

VII. CONCLUSIONES

Al comparar las cinéticas de secado de los filetes de Pejerrey con piel, podemos concluir que la cinética del secado fue influenciada fuertemente por la temperatura del aire de secado, temperaturas menores conllevaron a tiempos prolongados de secado para obtener filetes de Pejerrey seco-salados con bajos valores de humedad. Los modelos de Fick, Page y Newton describieron satisfactoriamente los datos experimentales del proceso de secado.

La cinética de secado ocurre en el periodo de secado decreciente y la difusión es los mecanismos que gobierna el movimiento de la humedad.

Para alcanzar la humedad final de 20% (base humedad) ó $0,25\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{Ss}}$ (base seca), el tiempo de secado para alcanzar la humedad comercial de en la experiencia realizada a temperatura de 40°C fue de 600 minutos a velocidad de aire de secado de 1m/s , con la temperatura en la cámara de 50°C fue de 400 minutos y a una temperatura de 60°C fue 340 minutos a velocidad del aire de 1m/s .

Los parámetros más idóneos para el secado por aire caliente fueron temperatura de 60°C, debido a que acorta el tiempo de secado se acorta considerablemente

El aumento de la temperatura e trabajo en le proceso de secado, tiene un efecto que es directamente proporcional al valor numérico de la difusividad efectiva del agua.

Los valores de difusividad efectiva para el proceso de secado fueron del orden de 5,71 a $9,29 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$. Valores que están próximos a los valores publicados.

El valor de la energía de activación (E_a) para los procesos de secado entre las temperaturas empleadas de 40 y 60°C fue del orden de de 20,68kJ /mol.

Del análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que el modelo de Page, presentan el mayor coeficiente de determinación y los menores valores del error medio cuadrado y del chi-cuadrado, Sin embargo, lo anterior no descarta la aplicabilidad del modelo de Fick, que considera en su ecuación el espesor de la muestra causando desvíos en relación a los resultados experimentales cuando la muestra encoge durante el proceso de secado.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Alvites Ruesta, W. Ahumado de pota (*Dosidicus gigas*).
Universidad Nacional del Callao, 2005.
- [2] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-
A.O.A.C. Official Methods of Analysis. Washington, 15th
Edn, 1989.
- [3] Brennan J.G.; Butters, J.R.; Cowell, N.D.; A.E.V. Lilley. Las
operaciones de la ingeniería de los alimentos, Zaragoza:
Acribia, 1998.
- [4] Chirichigno, N.F.; Cornejo, R. M. Catálogo comentado de los
peces marinos del Perú, Callao: Instituto del Mar del Perú,
2001.
- [5] Chirinos, A.; Chuman, E. Notas sobre el desarrollo de
huevos y larvas del pejerrey *Odontesthes regia regia*
(Humboldt), Callao: Instituto del Mar del Perú, 1964.

- [6] Corzo, O.; Bracho, N. Aplicación del modelo de Weibull normalizado en la deshidratación osmótica de láminas de sardina. FCV-LUZ, 2009, XIX (4): 400-407.
- [7] Corzo, O.; Bracho, N.; Figueroa, E. Efecto de las características de flujo de la salmuera sobre la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de láminas de sardina (*sardinella aurita*). Saber, 2006, 18(1): 53 - 59.
- [8] Corzo, O.; Bracho, N.; Millán, R. Cambios de color en las láminas de sardina durante la deshidratación osmótica. FCV-LUZ, 2008, XVIII (4):424 – 430.
- [9] Corzo, O.; Bracho, N.; Rodríguez, J.; González, M.
Estudio de los coeficientes de distribución en equilibrio para el agua y la sal en láminas de sardina deshidratadas osmóticamente con pulso de vacío. Saber, 2004,46(1):35-39.
- [10] Dávila Solar, L.; López Ráez, L. Salado de merluza por pila seca, húmeda y por deshidratación osmótica a vacío (*Merluccius gayi peruanus*). Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2005,8(1):7-12.

- [11] Decreto Supremo N° 040-2001-PE. Norma sanitaria para las actividades pesqueras y acuícolas.
- [12] Directrices del Codex para la evaluación sensorial del pescado y los mariscos en laboratorio: CAC/GL 31-1999.
- [13] Gómez Alfaro, C.; Perea de la Matta, A.; Williams de Castro, M. Aspectos reproductivos del pejerrey (*Odontesthes regia regia*) (Humboldt, 1821) en la zona de pisco durante el periodo 1996-97 y mayo-julio del 2002, relacionados con su conservación, Ecología Aplicada, 2006, 5(1,2):141-147.
- [14] Hall, G. Tecnología del proceso de pescado, Zaragoza: Acribia, 2001.
- [15] INFOPECA. Productos pesqueros en la Región Metropolitana de Lima, 2010.
- [16] Instituto del Mar del Perú/ Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. Compendio Biológico Tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales: Callao, 1996.

[17] Instituto del Mar del Perú – IMARPE. Extraído el 15 de mayo de 2012 desde http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_detalle=000000000000000007803.

[18] Instituto del Mar del Perú – IMARPE. Extraído el 15 de mayo de 2012 desde http://www.imarpe.gob.pe/huacho/Paginas/especies_dem_pe_jerrey.html.

[19] Madrid, A. El pescado y sus productos derivados, Madrid: Mundi-Prensa.

[20] Mendieta T., O.; Medina V., M. Salado y secado solar de Tilapia (*Oreochromis sp*) en la región de San Martín. Folia Amazónica, 1993, 5 (1-2):117-127

[21] Ministerio de la Producción- www.produce.gob.pe

[22] Mohler, K. El curado, Zaragoza: Acribia, 1992.

- [23] Norma Técnica Peruana -NTP 204.042:1989 (Revisada 2010). Productos pesqueros secos y seco-salados. 1ra. Edición.
- [24] Kleeberg, F.; Nieto, M. La industria en el Perú, Lima: Fondo de Desarrollo Editorial, 2001.
- [25] Reyes M., G; Corzo, O.; Bracho, N. Optimización de la deshidratación osmótica de la sardina mediante la metodología de superficies de respuesta. FCV-LUZ, 2005, XV (4):377-384.
- [26] Roberti Pérez, D. Cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola (*Macrobrachium jelskii*) a dos temperaturas y dos velocidades de aire. Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2011, 2 (1): 158-172.
- [27] Vega Gálvez, A.; Andrés, A.; Fito, P. Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum* L. cv Lamuyo). Serena, 2005, 16(6):3-11.

- [28]Vega Gálvez, A.; Tello, C.; Lemus, R. Simulación matemática del proceso de secado de la Gracilaria chilena (*Gracilaria chilensis*). Ingeniería, 2007,15(1):55-64.
- [29] Vivanco Pezantes, D. Estudio cinético de la transferencia de masa en la deshidratación osmótica a vacío y secado en filetes de sardina (*Sardinops sagax sagax*). Universidad Nacional del Callao, 2005.
- [30]Xue Keqing. Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad blanquilla). Universidad Politécnica de Valencia, 2004.

ANEXOS

Anexo N° 1

Superficie y consistencia	
Firme a la presión de los dedos.	5
Cede a la presión ligeramente	4
Queda la huella marcada suavemente	3
Queda la huella marcada profundamente	2
Ojos	
Abombados y translúcidos	5
Aplanado	4
Cóncavo	3
Contraído	2
Branquias	
Rojo sanguinolento	5
Rojo grosella	4
Ligeramente marrón	3
Marrón	2
Olor	
A algas o mar abierto	5
Ligeramente ácido	4
Ácido	3
Fuertemente ácido	2
Muy Bueno (MB)	18 – 20
Bueno (B)	15 – 17
Aceptable (A)	12 – 14
Rechazo (R)	> 12

EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PEJERREY

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peso (gr.)	50	48	55	48	56	52	49	50	54	55
CALIDAD	A	A	A	A	B	A	B	B	A	A
Ojos	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3
Branquias	3	3	4	3	4	3	4	3	3	4
Olor	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3
Superficie y consistencia	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Puntaje (20 – 0)	13	13	14	13	15	13	15	15	13	13

Anexo N° 2
DATA EXPERIMENTAL DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

VALORES DE CONTENIDO DE SOLUTOS

Tiempo (S)	Salmuera a 22% NaCl	Salmuera a 26% NaCl	Salmuera a 30% NaCl
0	0,22	0,25	0,26
300	1,25	1,35	1,45
600	1,95	1,93	2,20
900	2,22	2,55	2,65
1200	2,85	2,75	2,90
1500	3,25	3,25	3,35
1800	3,35	3,75	3,80
2100	3,45	3,85	3,75
2400	3,55	4,18	4,50
2700	4,00	4,20	4,55

Análisis de Varianza

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	10	26,092	2,6092	1,40843751		
Columna 2	10	28,062	2,8062	1,72091329		
Columna 3	10	29,41	2,941	1,84725444		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2	0,55690427	0,278452133	0,16785667	0,84635051	3,354130829
Dentro de los grupos	27	44,7894472	1,658868415			
Total	29	45,3463515				

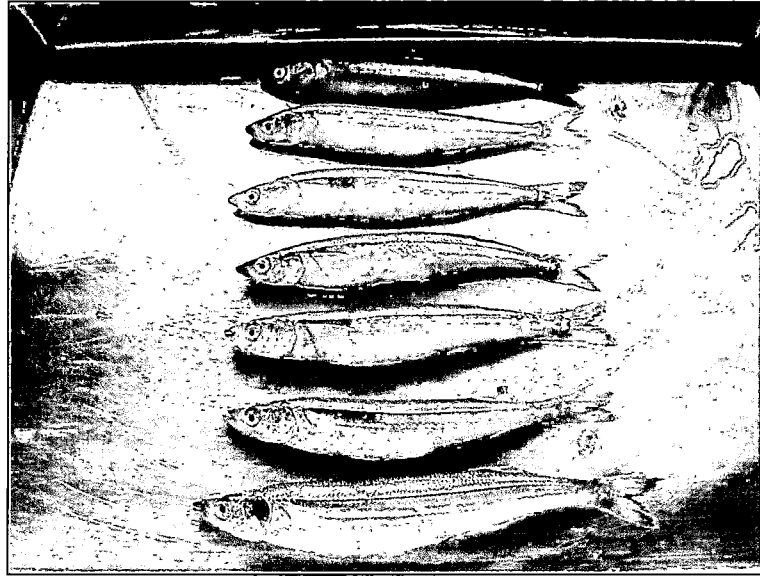
Anexo N° 3

PRUEBAS DE SECADO DE LOS FILETES DE PEJERREY

Tiempo De secado (min.)	40				50				60			
	Contenido de humedad (Kg. H ₂ O/Kg. s.s.)				Contenido de humedad (Kg. H ₂ O/Kg. s.s.)				Contenido de humedad (Kg. H ₂ O/Kg. s.s.)			
	Datos experimentales	Modelo Newton	Modelo Page	Modelo Fick	Datos experim.	Modelo Newton	Modelo Page	Modelo Fick	Datos experim	Modelo Newton	Modelo Page	Modelo Fick
0	2.77	2.77	2.77	2.27	2.77	2.77	2.77	2.27	2.77	2.77	2.77	2.27
10	2.53	2.62	2.56	2.16	2.46	2.55	2.49	2.12	2.34	2.49	2.34	2.09
20	2.38	2.48	2.4	2.05	2.31	2.35	2.27	1.98	2.10	2.24	2.10	1.92
30	2.25	2.34	2.25	1.95	2.11	2.17	2.08	1.85	1.89	2.02	1.89	1.76
40	2.12	2.22	2.12	1.86	1.93	2.00	1.92	1.73	1.7	1.82	1.7	1.62
50	2.00	2.10	2.00	1.77	1.75	1.84	1.77	1.62	1.53	1.64	1.53	1.49
60	1.88	1.98	1.89	1.68	1.61	1.7	1.64	1.51	1.39	1.48	1.39	1.37
75	1.78	1.82	1.74	1.56	1.47	1.51	1.46	1.37	1.25	1.27	1.25	1.22
90	1.63	1.68	1.61	1.45	1.30	1.34	1.31	1.24	1.09	1.09	1.09	1.08
105	1.50	1.55	1.49	1.35	1.14	1.19	1.18	1.13	0.95	0.94	0.95	0.96
120	1.38	1.43	1.38	1.25	1.02	1.06	1.06	1.02	0.83	0.81	0.83	0.85
140	1.27	1.28	1.25	1.14	0.93	0.91	0.93	0.9	0.73	0.68	0.73	0.73
160	1.14	1.15	1.13	1.04	0.82	0.79	0.81	0.79	0.62	0.56	0.62	0.63
180	1.03	1.04	1.03	0.94	0.72	0.68	0.72	0.7	0.54	0.48	0.54	0.55
200	0.93	0.93	0.94	0.86	0.64	0.59	0.64	0.63	0.47	0.4	0.47	0.48
220	0.84	0.84	0.86	0.79	0.56	0.52	0.57	0.56	0.42	0.35	0.42	0.42
240	0.77	0.76	0.79	0.72	0.51	0.46	0.51	0.5	0.38	0.3	0.38	0.37
260	0.70	0.69	0.72	0.66	0.47	0.4	0.46	0.45	0.34	0.27	0.34	0.33
280	0.64	0.63	0.67	0.6	0.41	0.36	0.41	0.4	0.31	0.24	0.31	0.29
300	0.59	0.57	0.62	0.55	0.37	0.32	0.37	0.36	0.29	0.21	0.29	0.26
320	0.55	0.52	0.57	0.51	0.34	0.29	0.34	0.33	0.27	0.19	0.27	0.24
340	0.51	0.48	0.53	0.47	0.32	0.26	0.31	0.3	0.26	0.18	0.26	0.22
360	0.47	0.44	0.49	0.44	0.29	0.24	0.29	0.28	0.25	0.17	0.25	0.2
380	0.44	0.40	0.46	0.40	0.27	0.22	0.27	0.26	0.24	0.16	0.24	0.19
400	0.42	0.37	0.42	0.38	0.25	0.2	0.25	0.24	0.23	0.15	0.23	0.18

Anexo N° 4

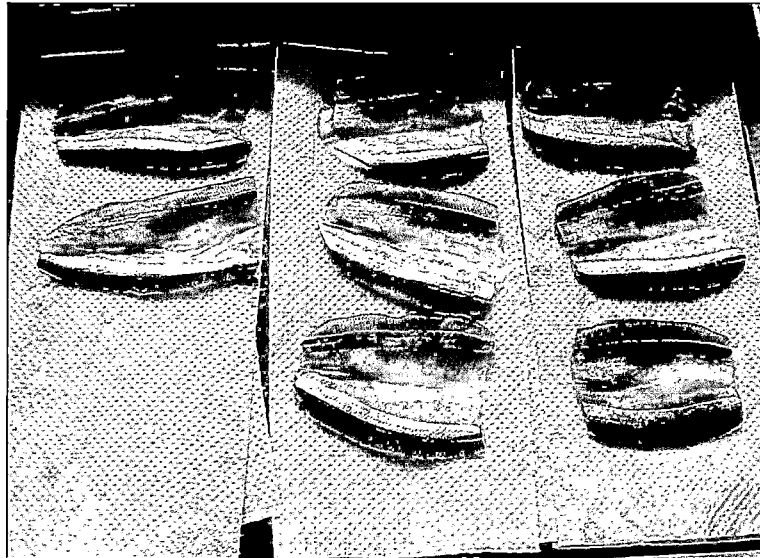
Materia-Prima



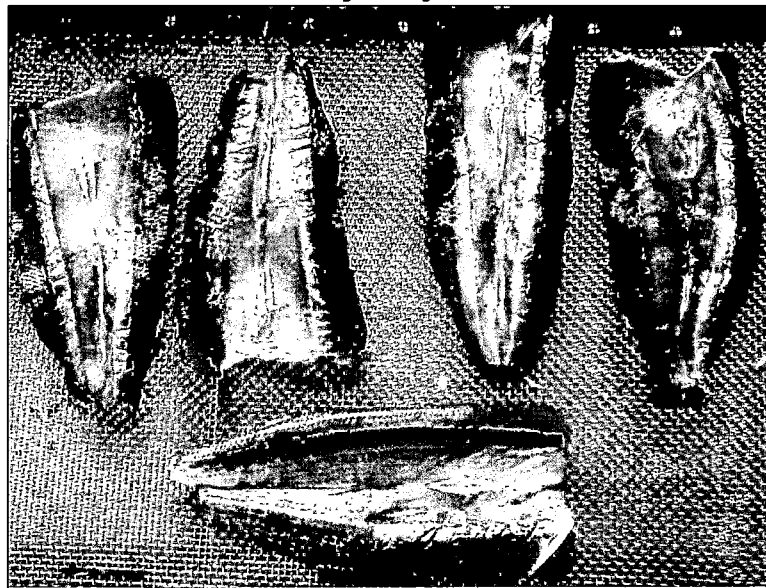
Acondicionamiento de la Materia-prima



Filetes de Pejerrey salado



Filetes de Pejerrey seco-salado



**Anexo N° 5
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				METODOLOGÍA
			VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA	Tipo de investigación
¿Con que concentración de sal y temperatura de secado adecuados en los procesos combinados de deshidratación osmótica y secado, obtendremos filetes de pejerrey procesados de calidad?	Estudiar la cinética en los procesos combinados de la deshidratación osmótica y secado de los filetes de pejerrey (<i>Odontesthes regia regia</i>), con el fin de estimar los parámetros optimizados del proceso.	Con una concentración de sal de 26% y una temperatura de secado por aire caliente de 50°C obtendremos filetes de pejerrey deshidratados de calidad.	Cuantitativa	Función de la Ósmosis.	Concentración de sal en el exterior del filete.	2% - 2.5%	Método AOAC
			Cuantitativa	Intensidad de flujo de calor convectivo Contenido de agua	Temperatura del aire caliente en el secado	40 – 60°C	Método AOAC
			Cuantitativa	Tiempo de Secado	Humedad Final del Filete de Pejerrey.	20-25% (base húmeda)	Método AOAC