

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



TESIS

Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles en la deshidratación

***Piaractus brachypomus* por salado en pila húmeda.**

PRESENTADO POR:

Vanesa Sandy ZAMORA BAUTISTA

ASESOR:

Dr. Alberto Luis HUAMANÍ HUAMANÍ

Para optar el título profesional en:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AYACUCHO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por ser mi guía y brindarme fortaleza de seguir adelante.

Dedico esta tesis a mis queridos padres Rómulo Zamora Ccente y Eulogia Bautista Aquino; por haberme brindado su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por el amor incondicional que me brindaron, a mi hermana Yoisy Keyla por ser mi amiga y compañera, por brindarme su apoyo y comprensión.

A mi hijo Jheremy por ser mi inspiración y motivo de seguir adelante en todos los proyectos que me trazo, y por el amor que me brinda cada día.

Vanesa Sandy...

AGRADECIMIENTO

Primeramente, expresar mi eterna gratitud a mi Alma Mater, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, gestora de conocimientos y fuente de sabiduría y enseñanzas, por acogernos en sus aulas y brindarme la formación profesional.

A toda la plana de docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, y en especial a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por sus enseñanzas, orientación y por su aporte en mi formación profesional.

A mis padres Rómulo Zamora Ccente y Eulogia Bautista Aquino y mi hermana Yoisy Keyla por todo el apoyo que me brindaron día a día en el trascurso de cada año de mi carrera universitaria, a mi hijo Jheremy R. Salas Zamora por ser mi inspiración y motivo de seguir adelante en todos los proyectos que me he trazado y por el amor que me demuestra cada día.

Agradezco también al asesor Dr. Alberto Luis Huamani Huamani, por su orientación y contribución y han hecho posible la culminación final de la tesis.

Finalmente, a mis amigos, familiares y todas aquellas personas que con su apoyo y aliento constante han hecho posible la culminación del presente trabajo.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el tiempo óptimo de deshidratación en pila húmeda de Pacú - *Piaractus brachypomus*. La metodología utilizada fue de pila húmeda de cloruro de sodio (NaCl) - agua, a temperatura ambiental promedio de 20 °C. Los ensayos fueron preparados según el diseño de superficie respuesta factorial de 3^2 con 3 puntos centrales, de dos variables independientes de concentración de solución con tres niveles de 20, 25 y 30 % de solución de NaCl y tiempo de inmersión con 3 niveles de 6, 9 y 12 horas, totalizando 12 ensayos experimentales. Estos ensayos fueron evaluados con la metodología de múltiples respuestas de función de conveniencia. Obteniéndose como resultado las siguientes conclusiones, en el proceso de deshidratación en pila húmeda de *Piaractus brachypomus* las concentraciones de sal determinadas fueron de 30% y el tiempo óptimo de proceso fue de 8.1 horas, la solución obtenida corresponde a las condiciones óptimas que maximizan el valor de la función de conveniencia de un valor de 0.7087, este valor cercano al máximo de 1, el cual representa un buen indicador. El porcentaje de pérdida de agua maximizada fue de 19.95 %; el porcentaje de ganancia de sales (sólidos) minimizadas fue de 4.71 % y el porcentaje de pérdida de peso maximizada fue de 8.02 %. Los cambios de actividad de agua del filete y la salmuera durante el proceso tienden a un equilibrio en aproximadamente 7 horas. La estabilidad del *Piaractus brachypomus* deshidratada en pila húmeda y envasadas en empaque DoyPack superó los 4 meses.

Palabra clave: *Piaractus brachypomus*, pila húmeda, metodología de función de conveniencia.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the optimum dehydration time in wet piles of Pacú - *Piaractus brachypomus*. The methodology used was a wet cell of sodium chloride (NaCl) - water, at an average ambient temperature of 20 °C. The tests were prepared according to the factorial response surface design of 3² with 3 central points, of two independent variables of solution concentration with three levels of 20, 25 and 30% NaCl solution and immersion time with 3 levels of 6, 9 and 12 hours, totaling 12 experimental trials. These trials were evaluated using the convenience function multiple response methodology. Obtaining as a result the following conclusions, in the dehydration process in a wet pile of *Piaractus brachypomus* the salt concentrations determined were 30% and the optimal process time was 8.1 hours, the solution obtained corresponds to the optimal conditions that maximize the value of the convenience function of a value of 0.7087, this value close to the maximum of 1, which represents a good indicator. The percentage of maximized water loss was 19.95 %; the percentage of minimized (solid) salt gain was 4.71% and the percentage of maximized weight loss was 8.02%. The water activity changes of the fillet and the brine during the process tend to equilibrate in approximately 7 hours. The stability of *Piaractus brachypomus*) dehydrated in a wet pile and packed in DoyPack packaging exceeded 4 months.

Keywords: *Piaractus brachypomus*, wet cell, convenience function methodology.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 PACÚ	10
2.3 DESHIDRATACIÓN DEL PESCADO EN PILA HÚMEDA.....	13
2.3.1 FACTORES QUE CONTROLAN EL DESHIDRATADO EN PILA HÚMEDA 17	
2.4 METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN POR FUNCIÓN CONVENIENCIA 23	
2.4.1 DISEÑO SUPERFICIE RESPUESTA	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.2 MATERIA PRIMA	30
3.2.1 Muestra de Pacú	30
3.3 EQUIPOS Y MATERIALES	30
3.3.1 Materiales	30

3.3.2 Equipos	31
3.4 DISEÑO METODOLÓGICO	31
3.4.1 Control de pescado como materia prima	32
3.4.2 Control de peso y talla.....	33
3.4.3 Contenido de humedad	33
3.4.4 Lavado e eviscerado	34
3.4.5 Fileteo.....	35
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
3.5.1 Preparación de pila húmeda (solución de NaCl-Agua).....	36
3.5.2 Proceso de la deshidratación en pila húmeda.....	38
3.5.3 Análisis de regresión polinomial y ANOVA de regresión.....	40
3.5.4 Optimización de las variables por metodología de función de conveniencia ...	42
3.5.5 Medición de actividad de agua (aw) durante deshidratación	43
3.5.6 Evaluación sensorial durante el almacenamiento.....	44
IV. RESULTADOS	45
4.1 Resultados de evaluación de materia prima (pacú fresco)	45
4.2 Características fisicoquímicas del pacú fresco y deshidratado en pila húmeda	49
4.3 Influencia de concentración de NaCl y tiempo de inmersión en la pérdida de agua (WL%).....	50
4.4 Influencia de concentración de NaCl y tiempo de inmersión en la ganancia de sólidos (SG).....	52

4.5	Influencia de concentración de NaCl y tiempo de inmersión en la pérdida de peso (WR).....	54
4.6	Optimización de concentración de sal y tiempo durante el proceso	56
4.7	Actividad de agua durante el proceso de deshidratación en pila húmeda	58
4.8	Evaluación sensorial de estabilidad del pacú deshidratado y envasado en solución de salmuera.	59
V. DISCUSIONES.....		62
5.1	Influencia de concentración de sal (NaCl) y tiempo de inmersión en la pérdida de agua (WL%)	62
5.2	Influencia de concentración de sal (NaCl) y tiempo de inmersión en la ganancia de sólidos (SG).....	63
5.3	Influencia de concentración de sal (NaCl) y tiempo de inmersión en la pérdida de peso (WR).....	65
5.4	Optimización de concentración de sal (NaCl) y tiempo durante el proceso	66
5.5	Evaluación sensorial de estabilidad del pacú deshidratado y envasado en solución de salmuera.	67
V. CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES		70
VI. REFERENCIAS		71
ANEXO 8: Algunas imágenes de trabajo.....		102

Lista de Figuras

Figura 1. Pez pacú (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	11
Figura 2. Flujo de componentes en deshidratación en pila húmeda.	14
Figura 3. Diseño metodológico a usar en la investigación.	32
Figura 4. Medición de la talla del pez.....	33
Figura 5. Proceso de preparación de muestras en la determinación de humedad.....	34
Figura 6. Muestra de pescado paco lavado e eviscerado.	34
Figura 7. Muestras de filete de pescado listo para cada tratamiento.	35
Figura 8. Muestras de filete de pescado en soluciones de sal.....	38
Figura 9. Sistema de optimización de deshidratación de pacú en pila húmeda con las restricciones de maximización y minimización.	42
Figura 10. Medición directa de actividad de agua en filete de pescado.	43
Figura 11. Gráfico de probabilidad normal para los pesos (g) de peces usados.....	46
Figura 12. Gráfico de probabilidad normal para los tamaños (cm) de peces usados.	47
Figura 13. Superficie de respuesta para la variable pérdida de agua, en función de la concentración de NaCl (%) y tiempo (h).	50
Figura 14. Valores experimentales y predichos para la variación de la pérdida de agua (WL%).	52
Figura 15. Superficie de respuesta para ganancia de sólidos, relacionando con la concentración de NaCl (%) y tiempo (h).	53
Figura 16. Valores experimentales y predichos para la variación de ganancia de sólidos (SG%).	54
Figura 17. Superficie de respuesta para la pérdida de peso, relacionando con la concentración de NaCl (%) y tiempo (h).	55

Figura 18. Valores experimentales y ajustados para la variable de la pérdida de peso (WR%).	56
Figura 19. Función de conveniencia total o deseabilidad vs variables independientes,	57
Figura 20. Actividad de agua en <i>Piaractus brachypomus</i> en función del tiempo de deshidratación.	59
Figura 21. Pescado deshidratado en pila húmeda.	60
Figura 22. Comparación de filetes fresco y deshidratado en pila húmeda.	61
Figura 23. Flujo de proceso del tratamiento optimizado de deshidratado en pila húmeda del pacu y envasado en salmuera.	105

Lista de Tablas

Tabla 1 Composición proximal medio de pacú preservado.....	12
Tabla 2 Niveles de las dos variables estudiadas para la deshidratación en pila húmeda.	36
Tabla 3 Concentración de las soluciones de sal preparadas para pila húmeda y tiempo de aplicación para la obtención de pacú deshidratado.....	37
Tabla 5 Cartilla de evaluación sensorial durante el almacenamiento del pacú deshidratado en pila húmeda.	44
Tabla 6 Características de peso y talla del pez pacú usado.....	45
Tabla 7 Parte comestible y parte residual de un pez pacú de tamaño medio.....	48
Tabla 8 Características fisicoquímicas del pacú fresco y deshidratado en pila húmeda.	49
Tabla 9. Optimización de variables en la deshidratación de pacú en pila húmeda....	58
Tabla 10 Cambios de calidad del pacú deshidratado en pila húmeda en almacenamiento.	60

GLOSARIO:

1. **Salmuera:** La salmuera es agua con una concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) disuelta superior al 5 por ciento, Este método es recomendable **para la conservación de ciertos salazones, pescados o carnes**. Ya que evitan su descomposición y posterior putrefacción a causa de las bacterias. A través de la sal del compuesto, podemos absorber gran parte de la humedad y deshidratar el alimento para su perfecto consumo.
2. **Deshidratación de pescado:** Cuando la deshidratación tiene lugar por **evaporación del agua en la superficie del pescado** se dice que éste ha sido desecado. Primero se evapora el contenido en agua de la capa superficial y posteriormente el resto contenido en capas interiores que afluye a la superficie a una velocidad cada vez menor.
3. **Impregnación:** **Hacer que las partículas de una sustancia o materia penetren en otra.** Uso: se emplea también como pronominal: impregnarse (absorber)
4. **Inmersión:** **Acción de introducir o introducirse algo en un fluido.**
5. **Cloruro de Sodio (NaCl):** Compuesto químico (*NaCl*) muy soluble en agua; es una sustancia blanca y cristalina que abunda en la naturaleza en forma de grandes masas sólidas, o disuelta en el agua del mar y en la de algunas lagunas y manantiales, nombre común Sal domestica.

INTRODUCCIÓN

El pacú (*Piaractus brachypomus*) es considerada la especie nativa de más alto potencial piscícola, debido a su resistencia a enfermedades, hábitos omnívoros y rusticidad al manejo en cautiverio. Los peces son productos muy perecibles a comparación de las carnes de animales. El pescado salado deshidratado es un producto alimenticio de gran demanda en diferentes partes del mundo, y puede ser un producto noble con alto valor agregado (por ejemplo, comercializado en salmuera). En general, estos productos no requieren refrigeración para su conservación, lo que implica una reducción de los costes de transporte y almacenamiento. En los últimos años, ha aumentado el interés por el procesamiento de alimentos, que utiliza soluciones altamente concentradas para eliminar el agua y agregar solutos al producto. Esta técnica se denomina "Deshidratación en pila húmeda" recientemente se ha llamado "Deshidratación por impregnación-inmersión" o proceso "DII" (Raoult _Wack, Rios, Saurel, Giroux, & Guilbert, 1994). En la zona del VRAEM existe producción a nivel piscigranjas de esta especie de pacú, en la zona no todas las poblaciones tienen acceso a este producto fresco, por la distancia de las piscigranjas, el producto por su perecibilidad su conservación es limitada, frente a este problema de deterioro rápido, una alternativa de conservación muy importante sería el uso de conservación en pila húmeda de este producto y además existen pocos estudios e informaciones al respecto. Con base en lo anterior, el objetivo general es evaluar el efecto de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y el tiempo de inmersión sobre la pérdida de peso, pérdida de agua, adición de sólidos y tiempo de almacenamiento durante el secado de especies de Pacú - *Piaractus brachypomus* en pilas húmedas.

Descripción de la situación problemática

En la actualidad zona del VRAEM tiene una producción a nivel de pequeños pobladores de piscigranjas del pez pacú, como también existe pobladores donde no les llega este producto por las distancias muy lejas del centro de producción y por la perecibilidad del pescado su conservación es limitada ayudado por la temperatura elevada de la zona; frente a este problema de deterioro rápido, una alternativa de conservación planteada sería conservar el pescado fresco y húmedo en pila húmeda usando una solución de salmuera y para ello es necesario determinar la concentración de sal a usarse en la salmuera y el tiempo de proceso para tener una conservación adecuada.

Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, sobre la pérdida de peso, contenido de agua, incremento de sólidos y conservación, de *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda?

Problemas específicos

1. ¿Cuál es la influencia de concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en la variación de peso del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda?

2. ¿Cuál es la influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en el contenido de agua del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda?
3. ¿Cuál es la influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en el incremento de sólidos del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda?
4. ¿Cuál será la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo óptimo, durante la deshidratación de *Piaractus brachypomus* en pila húmeda?
5. ¿Cuál es la influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la actividad de agua en el *Piaractus brachypomus*?
6. ¿Cuál es la influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la estabilidad sensorial durante el almacenamiento del *Piaractus brachypomus*?

Objetivo general

Determinar la influencia de concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, la variación de peso, contenido de agua, incremento de sólidos y conservación de *Piaractus brachypomus* deshidratado en pila húmeda.

Objetivos específicos:

1. Determinar la influencia de concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en la variación de peso del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda.

2. Determinar la influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en el contenido de agua del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda.
3. Determinar la influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en el incremento de sólidos del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda.
4. Determinar la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo óptimo durante la deshidratación de *Piaractus brachypomus* en pila húmeda.
5. Determinar de influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la actividad de agua en el *Piaractus brachypomus*.
6. Determinar la influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la estabilidad sensorial durante el almacenamiento del *Piaractus brachypomus*

Hipótesis general

Existe influencia entre concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, sobre la pérdida de peso, contenido de agua, incremento de sólidos y conservación de *Piaractus brachypomus* deshidratado en pila húmeda.

Hipótesis específica

1. Existe influencia de concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en la variación de peso del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda

2. Existe influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en el contenido de agua del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda
3. Existe influencia de la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, en el incremento de sólidos del *Piaractus brachypomus* durante el deshidratado en pila húmeda
4. Se logra la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo óptimo, durante la deshidratación de *Piaractus brachypomus* en pila húmeda
5. Existe influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la actividad de agua en el *Piaractus brachypomus*.
6. Existe influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la estabilidad sensorial durante el almacenamiento del *Piaractus brachypomus*

VARIABLES E INDICADORES

Variable independiente: Condiciones del proceso.

Indicadores:

- Concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) (%)
- Tiempo (h)

Variable dependiente: Cambios en pescado durante el deshidratado en pila húmeda.

Indicadores:

- Pérdida de peso (g)
- Pérdida de humedad (g)
- Ganancia de sólidos (g)

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

[Mancera-Rodriguez et al.\(2022\)](#), en la investigación, “Desarrollo, caracterización y estabilidad de un producto tipo paté de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*); tuvieron como objetivo formular, caracterizar y evaluar la estabilidad de un producto a base de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). De cuatro fuentes de lípidos (grasa de cerdo, aceite de canola, aceite de oliva o aceite de sachá inchi), se seleccionó la de mayor índice de aceptación en función del índice de aceptación y las características sensoriales. La formulación se optimizó utilizando el método de superficie de respuesta; Se utilizaron 15 formulaciones por triplicado, evaluando los valores de pH, humedad, color y aceptación sensorial. Se determinó la composición de macronutrientes y el perfil lipídico de la formulación óptima; se evaluó su estabilidad en condiciones de refrigeración midiendo la degradación de lípidos y proteínas, cambios de color, textura, cambios a nivel microbiológico y sensorial. Se encontró una proporción óptima de inclusión de pasta de cachama blanca 50%, aceite de canola 21% y agua 23%. La estabilidad del producto final obtenido fue de 42 días, con 82% de índice de aceptabilidad. Este producto podría ser una alternativa a otros productos tipo paté de otras especies”.

[Saavedra et al.\(2022\)](#), en la investigación “Un enfoque secuencial para reducir el cloruro de sodio en las hamburguesas de pescado de agua dulce considerando las respuestas químicas, de textura y sensoriales del consumidor. El objetivo fue determinar el efecto de la reducción y sustitución de sal (NaCl) en hamburguesas de

pacú (*Piaractus brachipomus*), un pez de agua dulce amazónico. En la primera etapa, cinco tratamientos con concentraciones de NaCl de 0.5 a 1.5 g/100 g fueron evaluados en composición proximal, textura instrumental, pérdidas por cocción, perfil sensorial, gusto general y oxidación lipídica durante ocho semanas. Los resultados sugieren una reducción del 50% en el contenido de NaCl sin afectar los parámetros de las hamburguesas. En la segunda etapa se reemplazó el NaCl hasta en un 50% por cloruro de potasio (KCl) o cloruro de calcio (CaCl_2), observándose que el cloruro de calcio (CaCl_2) al 50% de sustitución de NaCl presenta mejor compatibilidad con el producto en el aspecto químico, textura instrumental, perfil sensorial y gusto general, con la mejora en la disminución de la oxidación de lípidos en comparación con el producto con solo sal (cloruro de sodio o NaCl). Las reducciones de sal (cloruro de sodio o NaCl) en las dos etapas alcanzaron hasta un 75% de reducción de NaCl en la hamburguesa, mostrando la relevancia de estudiar primero la reducción de sal (cloruro de sodio o NaCl) y luego la incorporación de sustitutos de sal (cloruro de sodio o NaCl)”.

La deshidratación osmótica de pescado fue estudiada por ([Poligné, Collignan, & Trystram, 2001](#)), que trabajando con filetes de anchoveta, sometieron simultáneamente a la salazón e inmersión en ácido acético, glucónico y una mezcla de ácido acético y glucónico. El proceso se ha optimizado para obtener las mismas características en términos de contenido de sal y pH. También se evaluó la influencia del tipo de ácido sobre la calidad microbiológica y físico-química del producto, después de condimentado ya lo largo del almacenamiento.

[Wang et al.\(2018\)](#), investigaron la cinética de la deshidratación del salmón cultivado utilizando una solución de 20% sal (cloruro de sodio o NaCl) (p /v) a 10 °C donde se aplicó un modelo de diferencias finitas para determinar la difusividad de la sal y simular la infusión de sal en el músculo del salmón Los autores encontraron que los valores predichos son adecuados para describir las curvas cinéticas de las ganancias de sal.

[Corzo & Bracho\(2005\)](#), estudiaron el modelado de la cinética durante la deshidratación osmótica en filetes de sardina usando los modelos de Zugarramurdi y Lupín, usaron soluciones de salmuera en diferentes concentraciones (15 - 24 % p /p), temperatura (30 - 38°C) y tiempo (20 - 240 minutos) de procesamiento. Los autores concluyeron que los modelos aplicados a los datos experimentales en relación al contenido de agua y cloruros de sodio fueron aceptables a un nivel de confianza del 95%.

[Szenttamásy et al.\(1993\)](#) investigaron el procesamiento del pacú cultivado en tanques piscicultura. Concluyeron, a través de los análisis sensoriales de productos procesados, que los pacuados y pacú ahumados que fueron aceptados por la mayoría de los catadores que los clasificaron como productos, respectivamente, son de excelente sabor y buen gusto ([Borges et al., 2013](#)).

[Ruiz & Lorena\(2014\)](#), Investigó, “Determinación de las mejores variables de proceso y cinética de obtención de un producto mínimamente procesado a partir de *Piaractus brachypomus* (pacú), realizó pruebas, para la obtención de un producto

mínimamente procesado mediante la deshidratación osmótica, a partir de filete de *Piaractus brachypomus* (paco), pez amazónico con características muy importantes para su consumo y comercialización. El diseño experimental considera como factores de estudio a la concentración de la solución osmótica, y la temperatura de proceso. En estas pruebas preliminares se han trabajado con nueve tratamientos, se trabajó con un % de concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) en la solución 15, 20, 25 % y a una temperatura de 5°C, 10°C, 15°C. Utilizando NaCl y hielo para bajar la temperatura rápidamente en una relación de 1:3. La obtención del Producto mínimamente procesado (PMP) a partir del paco, se ha aplicado un proceso en frío a 10°C con una concentración de la solución osmótica del 25 % con sus factores de estudio tiempo de proceso (60, 90 y 120 minutos) y tipo de corte (Enteros sin cabeza, mitades y en trozos) Las pruebas preliminares nos explican claramente la cinética de deshidratación osmótica en función de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de cloruro de sodio durante 180 minutos de proceso, con una velocidad de flujo de la solución osmótica de 1,5 m³ /hr, indicándonos que a menor temperatura la pérdida de agua, la pérdida de peso y la ganancia de cloruro de sodio en el filete de paco son menores. El balance de masa en la obtención de un producto mínimamente procesado (PMP) a partir de *Piaractus brachypomus* (paco) sin considerar la cabeza nos da un rendimiento de 67.35%. Las pruebas sensoriales indican que no hay diferencias significativas a un $\alpha=0.05$ en los atributos de textura, color, apariencia general, olor; no así con el sabor salado. El mejor tratamiento en relación a sus atributos sensoriales es el tratamiento tres (T3) que son PMP enteros y 120 minutos de impregnación y el tratamiento siete (T7) que son PMP en trozos y 60 min de impregnación. Los resultados del análisis físico-químico del producto mínimamente procesado seleccionado es de: 75.37 % de

humedad, 2.8 % de grasa, 20.06 de proteína, 0.01 % de carbohidratos y 105.48 de calorías. De la determinación microbiológica del PMP por 10 meses de almacenamiento los valores reportados son valores por debajo de la normativa referente a Aerobios Mesófilos Viables, *Staphylococcus Aureus*, *Escherichia Coli* y *Salmonella sp* (NTS N° 071 MINSA/DIGESA V01)”.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PACÚ

Pacú (*Piaractus brachipomus*) es una especie común en las cuencas del Amazonas y Orinoco de América del Sur. Se considera una especie importante para la acuicultura en varios países, incluidos Colombia, Brasil, Perú, Venezuela y América Central (Kumar *et al.*, 2018). Esta especie se puede encontrar en los países: Brasil, Colombia, Perú y Venezuela. En algunos lugares es conocido con otros nombres como pacú, cachama blanca, pirapitinga y morocoto, tiene una similitud con gamitana, sin embargo, el paco es de menor tamaño. Es una especie que da muy buenos resultados en la reproducción inducida, además resiste la crianza en ambientes controlados, porque son dóciles, rústicos y poseen buena calidad de carne, motivos por los cuales se utiliza en la piscicultura de esa forma contribuye a la seguridad alimentaria (Mesa-Granda & Botero-Aguirre, 2007). También se cultiva semi-intensivamente en estanques de arcilla y en menor medida en jaulas flotantes (Gomes *et al.*, 2006).

El pacú (*Piaractus brachypomus*) es un pez omnívoro que se considera una especie prometedora para la acuicultura. Poco se sabe sobre la regulación endocrina de la alimentación en esta especie (Volkoff et al., 2017).

Kumar et al.(2018) afirman que el cultivo en estanques y la cría de pacu han aumentado rápidamente a lo largo de los años. Aunque los agricultores aprecian la tasa de crecimiento de esta especie, a menudo se cuestiona su impacto en todo el sistema de producción del estanque. No se dispone de ningún estudio sistemático de las interacciones de esta especie con carpas más grandes para confirmar estas observaciones. Por lo tanto, este estudio se realizó como un intento de evaluar el crecimiento y la compatibilidad de la especie con la carpa india más grande.



Figura 1. Pez pacú (Piaractus brachypomus).

El *P. papuostamicus* se puede usar potencialmente para las ventas y la vida útil de eviscerado y almacenado en hielo de acuerdo con el análisis bacteriológico y los

resultados de QIM fue de 11 días, período en el cual es apta para el consumo (Borges *et al.*, 2013).

2.1.1.1 Composición química del pez

El pacú (*Piaractus brachypomus*) es considerado un pescado graso porque la grasa subcutánea se acumula principalmente en la zona abdominal. La carne es la parte comestible del pescado, y la introducción de tecnologías necesarias para el crecimiento de este tejido es importante para el desarrollo de la granja. (Dos Santos *et al.*, 2017).

Su composición química reportada Borges *et al.* (2013), se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Composición proximal medio de pacú preservado.

Componente	Peso g/100 g
Humedad	75.51 ± 0.88
Proteína	20.58 ± 0.87
Ceniza	2.42 ± 0.07
Lípidos	1.89 ± 0.88
Total	100.92 ± 0.67

Fuente: Borges *et al.*(2013).

2.3 DESHIDRATACIÓN DEL PESCADO EN PILA HÚMEDA

El proceso de deshidratación en pila húmeda es una técnica para la concentración de alimentos sólidos con alto contenido de humedad. Se basa en colocar los peces enteros o en filetes, en soluciones concentradas de sal, sal más azúcar u otro, donde ocurrirán dos tipos de flujos paralelos en contracorriente: como es la salida del agua del producto hacia la solución y la migración de sólidos solubles al interior del filete. El aspecto interesante de este proceso es que en él ocurre simultáneamente una reducción de la cantidad de agua presente inicialmente en el producto y una incorporación de otros sólidos a los ya existentes, reduciendo la actividad de agua y muchas veces, permitiendo una formulación del producto final ([Medina-Vivanco, Sobral, & Hubinger, 2002](#)).

El proceso de deshidratado en pila húmeda, se basa en la inmersión del pescado, entero o filete en una solución hipertónica, originando dos flujos simultáneos y en contracorriente: una salida del agua del producto a la solución y una migración de solutos de la solución al sólido. Una tercera corriente, también involucrada, es la pérdida de algunos sólidos naturales como azúcares, minerales y otros nutrientes que, aunque relativamente insignificantes en comparación con las dos corrientes principales, pueden ser importantes en términos de características sensoriales (aroma, color, textura y minerales nutricionales y vitaminas) ([Raoult-Wack *et al.*, 1994](#)). La Figura 2 ilustra el mecanismo descrito:

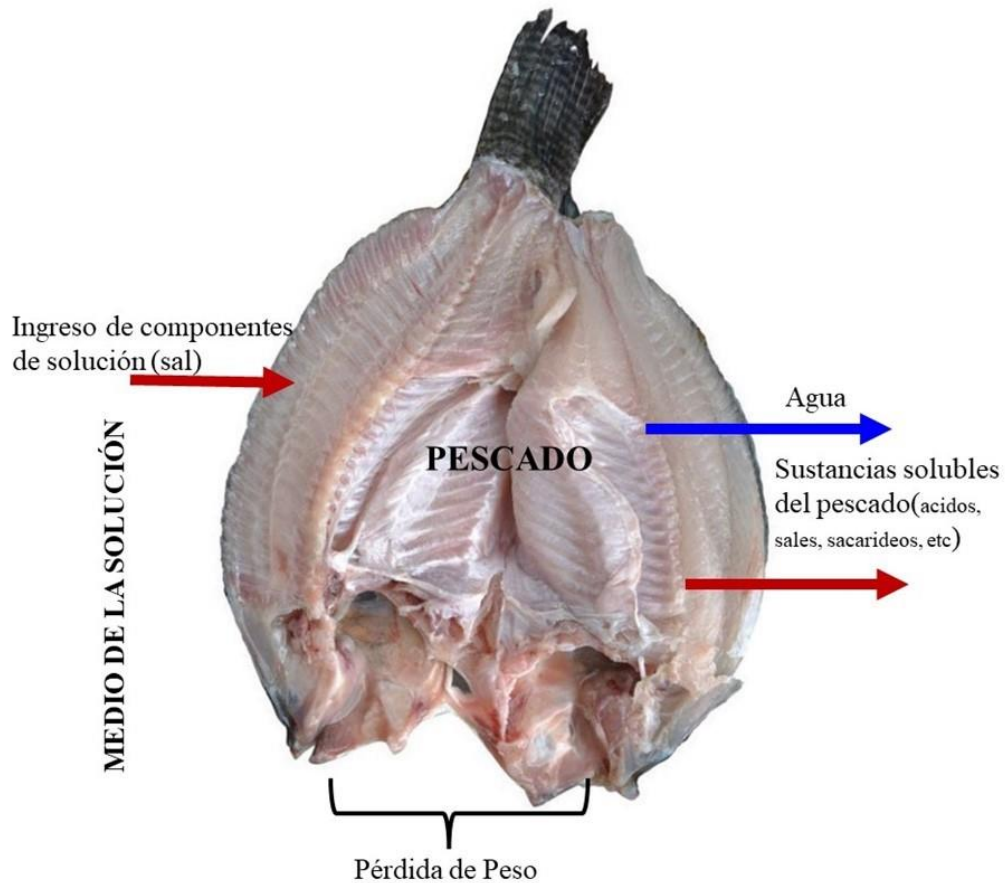


Figura 2. Flujo de componentes en deshidratación en pila húmeda.

La salazón es uno de los métodos antiguos de conservación de productos cárnicos y pesqueros, muy utilizado por ser un proceso sencillo y de bajo coste. La salazón suele ser un paso preliminar en la producción de productos pesqueros secos, ahumados y marinados. Realizando el control de la concentración final de sal o sólidos solubles en el tejido muscular es posible obtener productos pesqueros con diferentes características. Teniendo en cuenta el efecto conservante de la sal por su reducción de la actividad del agua en el músculo del pescado, la salazón se convierte en una etapa crítica para obtener productos pesqueros comerciales de buena calidad con un alto rendimiento y una vida útil adecuada. Además, desde una perspectiva sensorial, la

salazón contribuye al sabor, aspecto y textura de los productos pesqueros ([Agustinelli, 2014; Martínez-Alvarez & Gómez-Guillén, 2013](#)).

Los métodos de salazón son variados, incluida la salazón en seco, en la que el músculo del pescado está en contacto directo con los cristales de sal, y la salazón en salmuera, en la que las porciones de pescado se sumergen en una solución de sal en agua. En la industria pesquera, el salmuerado es un proceso preliminar, crítico e incluso esencial para muchos productos tradicionales e innovadores obtenidos, por ejemplo, mediante tecnología de obstáculos. El tiempo de procesamiento de salmuera a escala industrial puede ser considerable y está influenciado por muchos factores diferentes ([Tomac *et al.*, 2020](#)).

En este proceso se coloca el pescado en una solución de salmuera preparada previamente. Se utiliza fundamentalmente en productos que necesitan una salazón muy baja o ligera. El propósito de este tipo de salazón por inmersión para salar el pescado es mantener el producto fuera del contacto con el aire atmosférico, debido a las limitaciones de la cantidad de rancidez que podría desarrollar. Este es un método preferido para la salazón de peces grasos ([Regenstein & Regenstein, 1991](#)).

[Seminario\(2003\)](#) describe a continuación el proceso general de preparación de pescado muy salado: el pescado se pone en contacto directo con cristales de sal y luego se apilan en recipientes donde se colocan alternativamente la sal y el pescado. . Si se deja salir la salmuera del recipiente durante la preparación de la mezcla, se dice que es salmuera dry stack, y si la salmuera natural resultante se queda con el pescado

hasta cubrirlo, decimos que es mojada. salado en ambos casos, el pescado debe mezclarse con cristales de sal en una proporción de kg de sal por cada 10 kg de pescado y luego colocarse en recipientes que contengan la llamada sal y tapar en el caso de pila húmeda. pescado o déjelo escurrir fuera del tanque si es una celda seca. El tiempo mínimo de maduración para peces medianos es de aproximadamente 96 horas.

[Raoult-Wack et al. \(1994\)](#) manifiestan que durante la deshidratación en pila húmeda al menos ocurren dos flujos simultáneamente (Figura 2): salida de agua para la solución osmótica y la transferencia de solutos de esta misma solución al alimento a través de la membrana celular. En general, la deshidratación osmótica puede mejorar muchas propiedades de los alimentos, tales como:

- Reducción del daño térmico, mejorando la calidad de la textura, retención de las vitaminas, permitiendo un sabor más suave y dulzura que el alimento fresco, como la estabilización del color, sin adición del sulfito ([Torreggiani, 1993](#));
- Disminución del tiempo de secado ([Lenart, 1996](#));
- Reducción del consumo de energía durante el secado del 20% al 30% comparado con el secado convencional por convección ([Raoult _Wack et al., 1994](#)).

En Ingeniería de Alimentos se asume que el alimento está compuesto de agua, solutos e inertes. Esto representaría los componentes macromoleculares que constituye la matriz sólida del alimento. La concentración de cada componente en un sistema de alimento es representada con (fracción de la masa). Los alimentos sólidos también pueden considerarse un sistema de dos fases, donde el estado sólido es la matriz sólida

del alimento con algo de agua absorbida, y la fase líquida del alimento es una solución que contiene la mayor parte del agua y los solutos (Fito *et al.*, 2001).

2.3.1 FACTORES QUE CONTROLAN EL DESHIDRATADO EN PILA HÚMEDA

Las variables más importantes que rigen el proceso de secado húmedo se clasifican en variables que dependen de la naturaleza del propio producto y variables técnicas del proceso (Ribeiro, 2005), que se describen a continuación:

2.3.1.1 Propiedades del tejido

El transporte de masa depende de las propiedades del tejido, especialmente del espacio intercelular disponible. Cuando los materiales (frutas, legumbres, etc.) se sumergen en una solución osmótica, el proceso de secado depende en gran medida de las propiedades de la microestructura biológica original, tales como: Porosidad (Islam & Flink, 2007; Lenart, 1996).

El fenómeno de transferencia de masa entre el tejido del pescado y el medio deshidratante está estrictamente afectado por la naturaleza del producto (especie, variedad, nivel de maduración, forma y tamaño, pretratamiento) y de las variables del proceso (composición / concentración del medio osmótico, la relación entre el producto, la temperatura, el contacto, el tiempo de duración del proceso) (Palou *et al.*, 1993; Ramya & Jain, 2017).

La transferencia de agua y de los solutos, depende de las propiedades intrínsecas de los tejidos biológicos (Medina-Vivanco, 2002). En los tejidos animales, la transferencia de masa está fuertemente influenciada por el contenido de lípidos (Collignan *et al.*, 2001).

Según Wang *et al.* (2000), la presencia de grasa hace que la sal tome un camino tortuoso que reduce significativamente su difusividad. Otros estudios mostraron que la carne y el filete de pescado, con las mismas dimensiones y contenido de grasa, productos que tienen una diferencia marcada en sus matrices proteicas, tuvieron un comportamiento similar (cuantitativo y cualitativamente) con respecto a la transferencia de masa (Raoult _Wack *et al.*, 1994). Bohuon *et al.*(1998), reportaron que la pérdida de agua y la ganancia de sólidos disminuyeron con el aumento del contenido de grasa en el filete de pescado.

2.3.1.2 Agente osmótico

Para elegir el agente osmótico deberá considerarse que no generen cambios en los valores nutritivos y en las propiedades sensoriales del producto final y en el costo del proceso debe ser bajo (Lenart, 1996). La solución salina utilizada debe tener baja actividad de agua (*aw*) y, además, el soluto debe ser inocuo y de gusto agradable (Lerici *et al.*, 1985).

La sal (NaCl) es sin duda el aditivo más conocido y utilizado y tiene muchos papeles. La sal es el más importante de los condimentos y el elemento de uso más amplio en las carnes preparadas. En la nutrición humana ha sido un valioso ingrediente

alimentario desde el comienzo de la civilización, y de tal forma fija su participación en el proceso industrial. Muchos prefieren para los productos curados, la designación genérica de "salados" (Pardi *et al.*, 1993).

La sal no tiene ningún efecto antibacteriano específico. Su efecto sobre los microorganismos es función de la concentración. En concentraciones lo suficientemente altas, la sal atrae la misma cantidad de agua para que los microbios no puedan usarla. Esta falta de agua significa que los procesos vitales se ralentizan o se detienen por completo. Si la salinidad es lo suficientemente alta, sus iones penetran en el líquido intracelular, alterando posiblemente el metabolismo de la célula y, por ese efecto, también dañando las células bacterianas. La susceptibilidad de los microorganismos a la sal varía ampliamente (Pardi *et al.*, 1993).

El uso de solutos con alto peso molecular favorece la pérdida de agua y la disminución de la ganancia de sólidos (la migración es limitada por el alto peso molecular), promoviendo una mayor pérdida de peso del material. Los azúcares de bajo peso molecular (glucosa, fructosa) favorecen la incorporación de sólidos, debido a la alta velocidad de penetración de las moléculas (Contreras & Smyrl, 1981).

Raoult-Wack *et al.* (1994) estudiaron la aplicación de soluciones altamente concentradas (50–70 g de soluto/100 g de solución) para evaluar la eficiencia del proceso de deshidratación osmótica en frutas. Llegaron a la conclusión de que al aumentar la concentración de la solución osmótica se producía una mayor pérdida de agua y, por tanto, un mayor peso del fruto. El uso de soluciones osmóticas

concentradas puede reducir la pérdida de sustancias hidrosolubles como el ácido ascórbico al formar una capa límite con solutos que impiden la eliminación de sustancias hidrosolubles como el ácido ascórbico.

2.3.1.3 Temperatura

La influencia de la temperatura en la cinética de deshidratación osmótica es decisiva, haciendo que haya un incremento de la velocidad de transferencia de masa con el aumento de la temperatura. (Contreras & Smyrl, 1981). (Lenart & Flink, 2007), resaltan que altas temperaturas permiten mejorar la circulación de la solución osmótica debido a la reducción de la viscosidad.

Según (Medina-Vivanco, 2002), altas temperaturas activan los mecanismos de autólisis, que deterioran el alimento de origen animal. (Serenó *et al.*, 2001), trabajando con cilindros de manzana utilizando soluciones binarias de sacarosa y cloruro de sodio, así como soluciones ternarias en las que ambas soluciones tienen diferentes concentraciones y temperaturas, concluyen que al aumentar la temperatura también aumenta la velocidad de secado.

2.3.1.4 Cambios de la proteína durante el proceso de salado

Durante la salación hay un aumento en el contenido de sal del músculo, debido a la difusión del NaCl presente en la solución de salmuera. También hay difusión de agua en la salmuera, provocada por la diferencia en la concentración de NaCl entre el músculo y la sal/sal que lo rodea (Thorarinsdottir *et al.*, 2010). Cuando la

concentración de sal intramuscular está ligeramente por encima de la fuerza iónica fisiológica ($>0,15$ mol), el efecto de protección electrostática de los iones de sal que se unen a la porción cargada del filamento expande el espacio entre las fibrillas y aumenta la capacidad de retención de agua del filamento. . filamento de proteína (Barat et al., 2002; Offer et al., 1989; Offer & Trinick, 1983). A concentraciones > 0.5 mol, los filamentos gruesos se despolimerizan, lo que conduce a un hinchamiento significativo de las miofibrillas, alcanzando un máximo a concentraciones de sal de 0.8 a 1 mol, en un proceso conocido como “salting in” (Fennema, 1990; OFFER, 1988). A concentraciones más altas (>1 mol), las proteínas musculares comienzan a agregarse irreversiblemente y esto provoca una contracción lateral del compartimiento miofibrilar. Como resultado, el músculo se endurece y se retrae. La capacidad de retención de agua de las células disminuye y el músculo comienza a perder agua, en un proceso conocido como “salado” (KELLEHER & HULTIN, 1991; Stefansson & Hultin, 1994). Durante el proceso de salazón en seco, aumenta la entrada de sal en el músculo por un mecanismo de difusión, y aumenta la extracción de agua de los tejidos, lo que provoca la deshidratación del pescado, debido a la mayor diferencia de concentraciones entre el medio de solución y el pescado, el efecto de presión por el peso de la sal y el efecto de capilaridad en el lecho de sal (Barat et al., 2002). Esta pérdida de agua afecta la conformación de las proteínas musculares, provocando su desnaturalización y agregación, y por lo tanto cambios en las propiedades funcionales (Martínez-Alvarez & Gómez-Guillén, 2013).

2.3.1.5 Cálculo de pérdida de agua e incremento de solidos

Durante el secado por vía húmeda se suelen producir cambios cinéticos en el producto: pérdida de agua, aumento del contenido de materia seca y disminución de la masa. Estas son variables cinéticas analizadas durante el secado húmedo (Conway *et al.*, 1983).

En las investigaciones realizadas del efecto de la temperatura y concentración de solutos, se observó el grado de pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG) (Lerici *et al.*, 1985), y estos pueden ser calculados con las siguientes ecuaciones (Hawkes & Flink, 1978):

- **Perdida de agua (WL)**

$$WL(\%) = \frac{MA_0 - (M_t - MS_t)}{MA_0 + MS_0} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

MA₀ = masa de agua inicial (g);

MS₀ = masa de los sólidos inicial (g);

M_t = masa de la muestra en el tiempo t (g);

MS_t = masa de los sólidos en el tiempo t (g).

- **Ganancia de solidos (SG)**

$$SG(\%) = \frac{MS_t - MS_0}{MA_0 + MS_0} * 100 \quad (2)$$

Dónde:

MA₀ = masa del agua inicial (g);

M_{So} = masa de los sólidos inicial (g);

M_t = masa de la muestra en el tiempo t (g);

M_{St} = masa de los sólidos en el tiempo t (g).

2.4 METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN POR FUNCIÓN

CONVENIENCIA

El método habitual para optimizar una respuesta o propiedad es el procedimiento paso a paso, que consiste en modificar un factor manteniendo constantes los demás y observar el efecto que produce esta modificación. Otro enfoque es realizar una optimización utilizando diseños experimentales y un análisis de respuesta de superficie, determinado por ajuste de mínimos cuadrados, para establecer las condiciones en las que la respuesta toma un valor determinado, ya sea máximo o mínimo. Este enfoque también considera posibles interacciones entre los factores estudiados. Dicho análisis puede no ser suficiente para un proceso que involucre caucho, porque en el momento de la composición, el comportamiento gomoso no se puede predecir con precisión a partir de una sola propiedad. En este caso es útil emplear una optimización simultánea de propiedades mediante herramientas como la Función de Deseabilidad (Del Castillo *et al.*, 1996; Derringer & Suich, 1980; Harrington, 1965); esta metodología convierte una función de respuestas múltiples a una función de respuesta única, denotado como deseabilidad simultánea (D). En este método, los valores de cada respuesta estimada se transforman en un valor de deseabilidad adimensional d_i . Estos últimos valores van de cero a uno, es decir, de una respuesta inaceptable a una óptima, respectivamente.

En este trabajo, se requiere que las tres respuestas (maximizar ganancia de sal, maximizar pérdida de agua y minimizar pérdida de peso) tomen un cierto valor objetivo cada una (**ti**). Por lo tanto, para establecer los valores de d_i es necesario definir la siguiente función continua:

$$d_i = 0 \quad \text{si} \quad y_i \leq \min_i \quad \text{o} \quad y_i \geq \max_i$$

$$d_i = \left[\frac{y_i - \min_i}{t_i - \min_i} \right]^{w_1} \quad \text{si} \quad \min_i < y_i < t_i$$

$$d_i = \left[\frac{\max_i - y_i}{\max_i - t_i} \right]^{w_2} \quad \text{si} \quad t_i < y_i < \max_i$$

donde y_i es la respuesta pronosticada del modelo ajustado, y \min_i , \max_i representan el valor mínimo y máximo aceptable de y_i , respectivamente. Los d_i se ven afectados por (w_1 , w_2) que enfatiza el valor objetivo o los límites mínimo y máximo. Para un proceso con n respuestas, la deseabilidad simultánea es una media geométrica de todas las respuestas transformadas:

$$D = (d_1^{v_1} \cdot d_2^{v_2} \cdot \dots \cdot d_n^{v_n})^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n v_i}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{v_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n v_i}}$$

donde v_i es una importancia relativa asignada a cada respuesta transformada d_i .

Cuando $d_i = 0$, la función general se convierte en cero (0). Los valores asumidos por las respuestas están continuamente relacionados con las condiciones

iniciales; siendo d_i una función de esas respuestas, por lo que se puede establecer que la función simultánea D es también una función continua a las condiciones iniciales.

Las respuestas múltiples experimentales se pueden optimizar utilizando el procedimiento de función de conveniencia. El método de la función de conveniencia fue utilizado por [Li, Sun, Gong, Wang, and Zhao \(2017\)](#) para producir microcápsulas de gelatina-quitosano que contienen aceite esencial de angélica; [Derringer and Suich \(1980\)](#) optimizaron tres respuestas (pérdida de agua, ganancia de sólidos y pérdida de peso) y para identificar las variables de procesamiento óptimo. La metodología consiste en la obtención de una función de respuestas múltiples optimizadas transformada a una de respuesta única optimizada, esta herramienta es conocida también como función de conveniencia simultánea ([Martinez Delfa, Olivieri, & Boschetti, 2009](#)). En este método cada valor de la respuesta, obtenido a partir de la obtención de las ecuaciones polinomiales, es convertido en un valor adimensional de la función de conveniencia d_i . Estos valores varían entre 0 y 1, 0 corresponde a una respuesta inaceptable y 1 corresponde a una muy buena aceptación de la función optimizada.

Si una respuesta se desea maximizar, d_i , definiríamos de la siguiente manera:

$$d_i = 0 \quad y_i < L_i \quad : \quad d_i = 1 \quad y_i > T_i$$

$$d_i = \left[\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i} \right]^{\theta_1} \quad L_i \leq y_i \leq T_i \quad (9)$$

Si la respuesta Y deseamos minimizar, la función de conveniencia individual (d_i) es como sigue:

$$d_i = 1 \quad y_i < L_i \quad y_i < T_i : \quad d_i = 0 \quad y_i > U_i$$

$$d_i = \left[\frac{U_i - y_i}{U_i - T_i} \right]^{\theta_2} \quad T_i \leq y_i \leq U_i \quad (10)$$

Donde:

y_i : es la respuesta predicha por el modelo polinomial

L_i y U_i : representan los valores de y_i mínimos y máximos aceptables, respectivamente

T_i es el valor objetivo correspondiente al valor máximo, mínimo o fijado dependiendo de las restricciones especificadas para cada respuesta.

Los valores d_i son definidos por el usuario (θ_1, θ_2) que ponderan la influencia del valor objetivo y de los límites mínimos y máximos. Con el fin de alcanzar los valores que representen las condiciones óptimas de procesamiento solo una función de conveniencia global (DT) es obtenida, la cual es calculada utilizando (d_i):

$$DT = (d_1^{v_1} \cdot d_2^{v_2} \cdot \dots \cdot d_n^{v_n})^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n v_i}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{v_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n v_i}} \quad (11)$$

Donde v_i es la importancia relativa asignada a cada d_i . Cuando la respuesta es inaceptable ($d_i=0$), la función total se hace cero, lo cual da una mayor coherencia a la función de conveniencia obtenida. Un valor alto de DT indica las mejores

combinaciones de factores, considerado como solución óptima del sistema. Los valores óptimos para cada factor son determinados a partir de los valores de funciones de conveniencia individual que maximizan la función total DT (Corzo, Bracho, Vásquez, & Pereira, 2008).

(Raoult_Wack *et al.*, 1994), manifiesta que durante la deshidratación osmótica es un proceso generalmente involucra una significativa pérdida de agua (40-70 g de agua se pierde por 100 g de la masa inicial del producto) y la incorporación de sólidos (5-25 g de solución de peso en 100 g de la masa inicial).

Sereno *et al.* (2001), deshidratando manzanas en solución binarias y ternarias de sacarosa y NaCl, utilizaron la relación pérdida de agua / ganancia de sólidos (PA / GS) para evaluar la deshidratación y verificaron que cuanto más alta la relación PA / GS, mayor la deshidratación del producto.

2.4.1 DISEÑO SUPERFICIE RESPUESTA

La falta de una planificación experimental a menudo es la causa del fracaso de una investigación, siendo raros los investigadores que piensan en estadística antes de realizar sus experimentos. A través de planificaciones experimentales basadas en principios estadísticos se puede extraer del sistema en estudio, información útil haciendo el mínimo de experimentos (Barros, Scarminio, & Bruns, 2003).

La esencia de una buena planificación consiste en diseñar un experimento de forma que sea capaz de proporcionar exactamente el tipo de información que

buscamos. Para ello, es necesario definir claramente qué objetivo se pretende alcanzar con los experimentos, porque eso determinará qué tipo de planificación experimental debe ser utilizado. Cuando se desea hacer una selección inicial de los factores, es ventajoso comenzar por la ejecución de planificaciones factoriales fraccionarios. Estas planificaciones son extremadamente económicas y se pueden utilizar para estudiar veinte o más factores experimentales al mismo tiempo. Los planificadores factoriales completos evalúan cuantitativamente la influencia de las variables sobre la respuesta de interés, así como sus posibles interacciones. Cuando el objetivo principal del investigador es optimizar su sistema, es decir, maximizar o minimizar algún tipo de respuesta, se utiliza la metodología de la superficie de respuesta (Barros *et al.*, 2003).

La metodología de superficie de respuesta fue ampliamente y efectivamente utilizada en investigaciones industriales y otros procesos para la mejora y/o desarrollo nutricional de alimentos por su utilidad práctica en la optimización por: Draper and Dennis (1990); Fichtali, Van De Voort, and Khuri (1990); Floros and Chinnan (1988). Esta metodología presupone el uso de diseños experimentales con el objetivo de investigar la forma funcional de los procesos o sistemas que involucran una o más respuestas que son influenciadas por varios factores o variables independientes (Corzo *et al.*, 2008). Un adecuado diseño experimental es fundamental para habilitar a un investigador a explorar el proceso en estudio y encontrar a través de la optimización, el máximo o el mínimo, si éstos existen, o determinar la región, dentro del espacio total de los factores, que sea la condición operacional deseable (Bezerra, Santelli, Oliveira, Villar, & Escaleira, 2008).

La metodología de superficie de respuesta del inglés Response Surface Methodology (RSM) es una técnica de análisis de procesos basada en el empleo de planificaciones factoriales, cuyo principal atractivo es la reducción del número de ensayos necesarios para evaluar la influencia de determinadas variables en la respuesta en el estudio, además de proporcionar resultados mejores que los obtenidos por el análisis de una variable tradicional, que además de necesitar una mayor cantidad de experimentos, no proporciona las interacciones que pueden existir entre las variables (Box , Hunter, & Hunter, 1978).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación desarrollada fue el ambiente de laboratorio de Análisis de Alimentos, Centro Experimental de Jugos y Conservas de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.2 MATERIA PRIMA

3.2.1 Muestra de Pacú

Pacú (*Piaractus brachypomus*) fueron adquiridos de las piscigranjas del distrito de Pichari, Provincia de Convención- Cuzco – Perú. Se obtuvieron muestras de pacú, un total de 12 peces con un peso de $350 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ en los meses: septiembre, octubre y noviembre de 2020. Las muestras fueron transportadas en una caja térmica con hielo en proporción de 3:1 (pescado/hielo). El tiempo de transporte al laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería química y Metalurgia- Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.3 EQUIPOS Y MATERIALES

3.3.1 Materiales

- Bandejas de plástico

- Deposito isotérmico
- Cuchillo
- Sal domestica
- Bolsas DoyPack de 500g

3.3.2 Equipos

- Refractómetro: Atago (Atago, Tokio, Japón)
- Balanza analítica: marca OHAUS, Analitical Standard, modelo AS200. Cap 200 g repetibilidad 0,0001g.
- Calibrador Vernier Digital: Schubert Milimétrico
- Estufa de secado: Marca Memmert, modelo UN750 single display.
- HYGROPALM HP23-AW-A. rango: 0.000 a 1.000 Aw (0 a 100% de humedad relativa), de 5 a 50 ° C; Resolución de aw de 0.001 Aw (0,1% HR); Precisión actividad del Agua: ± 0.001 Aw.

3.4 DISEÑO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico que se ha seguido es la que se muestra en la Figura 3, para lo cual describiremos cada operación:

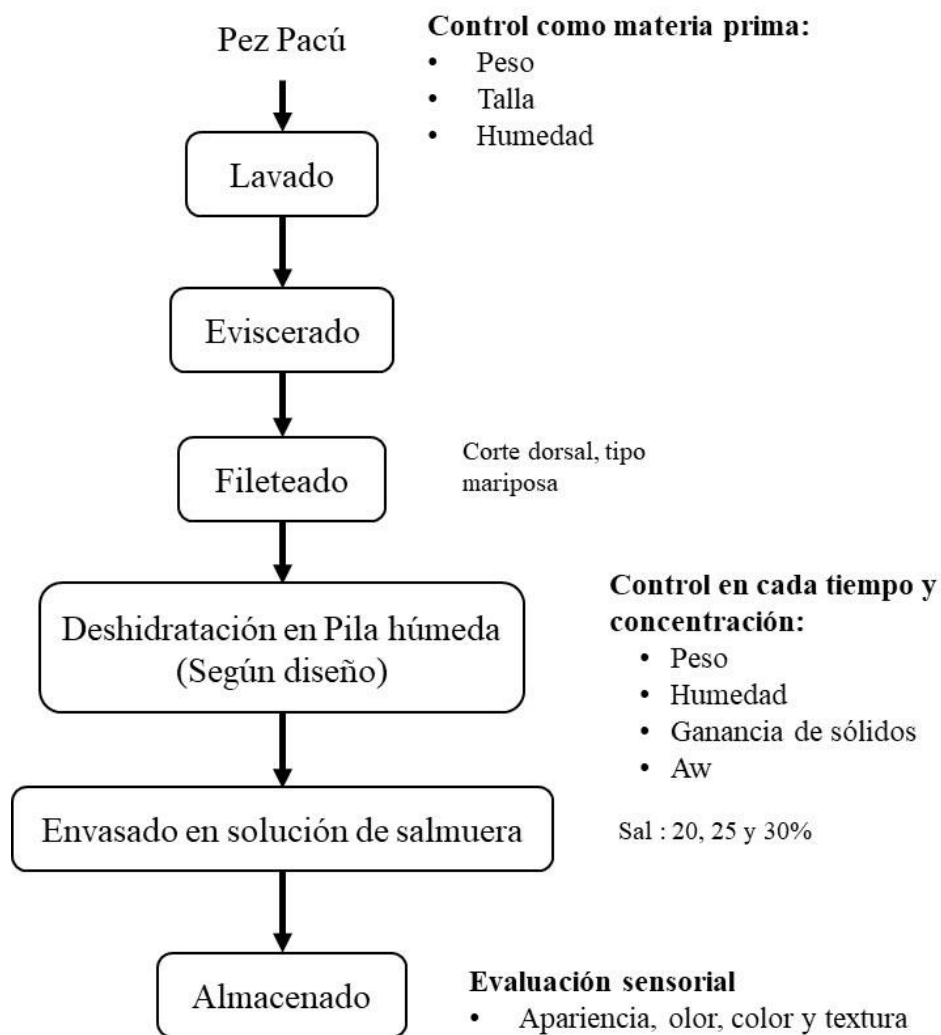


Figura 3. Diseño metodológico a usar en la investigación.

3.4.1 Control de pescado como materia prima

Para conocer que la muestra usada es homogénea se realizó los siguientes controles:

3.4.2 Control de peso y talla

La medición de la talla y peso fue realizada en forma aleatoria a 12 ejemplares, que representaban más del 30% del lote. La talla se determinó midiendo sobre el eje longitudinal del pez, desde la punta del hocico hasta la bifurcación de la cola, los mismos fueron pesados posteriormente.



Figura 4. Medición de la talla del pez.

3.4.3 Contenido de humedad

Las mediciones de humedad fueron realizado a través del uso de la metodología de AOAC.



Figura 5. Proceso de preparación de muestras en la determinación de humedad.

3.4.4 Lavado e eviscerado

Fueron realizados cortes del tipo mariposa (corte dorsal) y retiro manual de las vísceras, agallas, seguido de lavado hasta la eliminación total de restos de sangre para luego tener en espera en un depósito rectangular con hielo trozado.



Figura 6. Muestra de pescado pacu lavado e eviscerado.

3.4.5 Fileteo

Fueron realizados cortes del tipo mariposa (corte dorsal), luego divididos por mitad, las dimensiones de las muestras fueron de 0.17 m de ancho, 0.19 m de largo y espesor de 0.013 m con un peso promedio de 117- 125 g.



Figura 7. Muestras de filete de pescado listo para cada tratamiento.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental usado es el diseño superficie respuesta de factorial de 3 niveles: 3^2 con 3 puntos centrales. Como factores se tiene: Concentración de solución de 25 a 30 por ciento de porcentaje de sal y tiempo de inmersión de 6 a 12 horas. Los factores de respuesta o variables dependientes se tienen a: Pérdida de agua (WL), ganancia de sólidos (GS) y pérdida de peso (WR).

Tabla 2

Niveles de las dos variables estudiadas para la deshidratación en pila húmeda.

<i>Factores</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Continuo</i>
NaCl	20	30	%	Sí
Tiempo	6	12	h	Sí

Los valores promedios de las variables respuestas como: pérdida de agua, ganancia de sólidos y pérdida de peso, fueron sometidos a un análisis de regresión no lineal múltiple usando el método de mínimos cuadrados y ajustados a un modelo de segundo orden incluyendo la curvatura e interacción para modelar la superficie.

3.5.1 Preparación de pila húmeda (solución de NaCl-Agua)

Para preparar la pila húmeda se usó agua destilada y sal domestica tipo refinado yodado. Las concentraciones de la solución utilizadas fueron según el diseño experimental, a las concentraciones de 20, 25 y 30% (p/p) de cloruro de sodio de acuerdo al diseño experimental presentado en la Tabla 3:

Tabla 3

Concentración de las soluciones de sal preparadas para pila húmeda y tiempo de aplicación para la obtención de pacú deshidratado.

Ensayo	ClNa (%)	Tiempo (h)
1	20	6
2	30	6
3	20	12
4	30	12
5	18	9
6	32	9
7	25	5
8	25	13
9	25	9
10	25	9
11	25	9
12	25	9

Diseñado en Software Minitab 19

3.5.2 Proceso de la deshidratación en pila húmeda

El pescado, debidamente cortada en la geometría de placa plana, fue pesada y colocada en un recipiente de 1000 mL, conteniendo una solución con la concentración indicada a la temperatura de proceso (20 °C). La relación de pescado / solución, fue de 1:5 se utilizó para garantizar la concentración constante de la solución de salmuera. El conjunto muestra-solución deshidratante fue entonces llevado a un ambiente de mesa de trabajo y mantenido en la temperatura de estudio. Se adoptó una agitación constante de 80 rpm, pues esta agitación provenía de un movimiento satisfactorio de la muestra dentro de la solución sin que la misma sufriera impacto con las paredes del recipiente.



Figura 8. Muestras de filete de pescado en soluciones de sal.

Durante la deshidratación en pila húmeda se realizaron los análisis: pérdida de peso, humedad y ganancia de sólidos, las muestras se retiraron, drenaron y eliminaron el agua superficial con un papel toalla de cocina para eliminar la solución en exceso y proceder a pesar (Fito et al., 2001).

Determinación de pérdida de peso

La pérdida de peso fue determinada por gravimetría, las muestras fueron pesadas al inicio y al final de cada experimento y luego determinar los sólidos totales, fueron secadas en estufa a 70 °C (A.O.A.C, 2000).

Determinación de pérdida de humedad

La pérdida de humedad fue determinada realizando el pesaje inicial y final. Todas las mediciones se realizarán por triplicado. El cálculo de pérdida de humedad fue calculado con la siguiente ecuación matemática:

$$WL = \frac{m_t * x_{wt} - m_0 * x_{w0}}{m_0} * 100 \quad (12)$$

Determinación de ganancia de sólidos

La ganancia de sólidos fue obtenida por cálculos usando la ecuación:

$$SG = \frac{m_t * x_{st} - m_0 * x_{s0}}{m_0} * 100 \quad (13)$$

Dónde:

m_0 : Peso inicial de la muestra (g)

m_t : Peso de la muestra (g) tratada al tiempo t

x_{s0} : Contenido de sólidos solubles (cloruro de sodio) de la muestra inicial
(gNaCl / g muestra)

x_{st} : Contenido de sólidos solubles (cloruro de sodio) de la muestra tratada a un
tiempo t (gNaCl / g muestra)

x_{w0} : Contenido inicial de humedad de la muestra (g H₂O / g muestra)

x_{wt} : Contenido de humedad de la muestra tratada a un tiempo t (g H₂O
/ g muestra).

3.5.3 Análisis de regresión polinomial y ANOVA de regresión.

Con el propósito de encontrar la concentración de ClNa y el tiempo óptimo de deshidratación en pila húmeda se realizó, los resultados fueron sometidos a una regresión polinomial (RP) con la finalidad obtener una única función matemática en función de las variables independientes.

El modelo matemático para las cinéticas de transferencia de masa fue desarrollado con la siguiente función polinomial de segundo orden, los coeficientes de estos modelos fueron determinados a través de regresión no lineal. El modelo matemático general propuesto para cada respuesta es:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (15)$$

Donde Y es la respuesta predicha (WL, SG o WR), β_0 es el término independiente de la ecuación, β_i es el coeficiente lineal, β_{ii} es el término de los efectos cuadráticos, β_{ij} representa el término de los efectos de interacción entre las variables y X_i representa a las variables operativas. Para la obtención de los coeficientes de los modelos matemáticos se siguieron el procedimiento siguiente:

- 1) Los resultados experimentales (WL, SG y WR), del diseño se importaron del Excel (Tabla 1 del Anexo1)
- 2) Se plantea determinar los coeficientes de los modelos matemáticos para las variables WL, SG y WR en función de la concentración de la solución y el tiempo.

$$WL = b_1 + b_2 * t + b_3 * A_z + b_4 * t^2 + b_5 * A_z^2 + b_6 * t * A_z$$

$$SG = b_1 + b_2 * t + b_3 * A_z + b_4 * t^2 + b_5 * A_z^2 + b_6 * t * A_z$$

$$WR = b_1 + b_2 * t + b_3 * A_z + b_4 * t^2 + b_5 * A_z^2 + b_6 * t * A_z$$

- 3) Se desarrollo un programa (códigos) en Matlab para determinar: a) Coeficientes del modelo matemático expuesto anteriormente, a través de una regresión polinomial de 2 variables, b) coeficiente de correlación (R^2) de ajuste, c) Valor estadístico de correlación (valor-p) y d) gráficos en 3D de $WL = f(\text{Concentracion}, \text{tiempo})$; $SG = f(\text{Concentracion}, \text{tiempo})$ y $WR = f(\text{Concentracion}, \text{tiempo})$.

Programa elaborado y usado en **archivo.m** de Matlab, según ANEXO 6.

3.5.4 Optimización de las variables por metodología de función de conveniencia

Se usó la metodología usada por (Derringer & Suich, 1980). Es una herramienta útil para optimizar un amplio rango de procesos industriales y permitir una rápida sin necesidad de hacer diseño experimental estricto. En esta parte lo que se busca es optimizar realizando las siguientes restricciones:

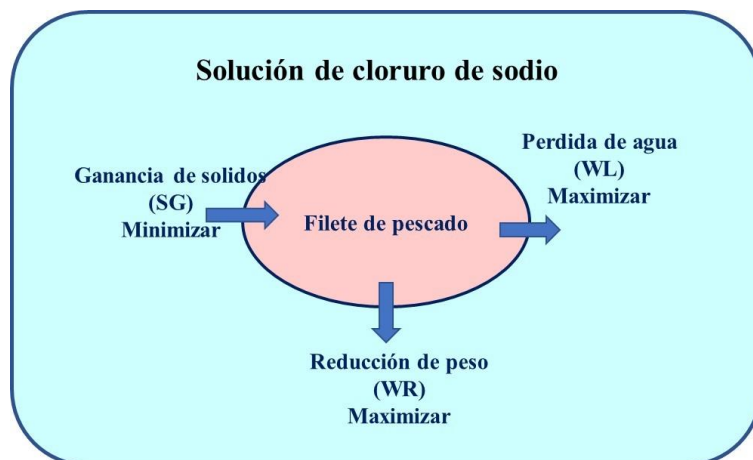


Figura 9. Sistema de optimización de deshidratación de pacú en pila húmeda con las restricciones de maximización y minimización.

Análisis estadístico

Fue realizado con el análisis de la varianza (ANVA), los modelos polinómicos fueron realizados con el propósito de evaluar la exactitud de los modelos predictivos y el efecto de cada factor sobre las respuestas. Como no siempre los coeficientes mostrados en la ecuación (15) son estadísticamente significativos, fue necesario realizar un análisis estadístico apropiado para asegurar la validez de estos coeficientes dentro de un nivel de confianza establecido (p).

3.5.5 Medición de actividad de agua (a_w) durante deshidratación

La actividad de agua de los filetes de pescado se midió usando un medidor de actividad de agua equipo portátil (Figura 10), HYGROPALM HP23-AW-A. rango: 0.000 a 1.000 A_w (0 a 100% de humedad relativa), de 5 a 50 ° C; Resolución de a_w de 0.001 A_w (0,1% HR); Precisión actividad del Agua: $\pm 0.001 A_w$. Se realizó haciendo la medición directa, se colocó 0.5 g de muestra aproximadamente en la porta muestra del equipo y luego se observándose en unos 3 minutos la lectura respectiva.



Figura 10. *Medición directa de actividad de agua en filete de pescado.*

3.5.6 Evaluación sensorial durante el almacenamiento.

La estabilidad del pacú en solución de salmuera fue evaluado a través de la evaluación de la parte externa (piel) y la parte interna (carne) y olor durante el tiempo de almacenamiento, fue evaluada mediante pruebas sensoriales, evaluando el aspecto de la piel: brillo, coloración, la parte interna se evaluó el olor (olor a salmuera), color (color propio cremoso) y textura táctil (firmeza). Para esta evaluación se usó la cartilla siguiente de la Tabla 5, donde de manera visual se llenó dicha cartilla:

Tabla 4

Cartilla de evaluación sensorial durante el almacenamiento del pacú deshidratado en pila húmeda.

Tiempo (meses)	Piel	Carne interna		
		Olor	Color	Textura
0				
1				
2				
3				
4				

IV. RESULTADOS

Teniendo en cuenta que la constatación de la hipótesis es la actividad que, mediante la observación, la experimentación, la documentación y/o la prueba (demuestra) adecuadamente, si una hipótesis es falsa o verdadera, procederemos a contrastar la hipótesis general y las específicas. Para rechazar o aceptar la presente hipótesis, se sometió a pruebas empíricas y teóricas, mencionadas en antecedentes, con relación a los resultados obtenidos en:

4.1 Resultados de evaluación de materia prima (pacú fresco)

Para evaluar la materia prima, a los peces usados se evaluaron el tamaño, el peso como se puede ver los resultados de las medidas en la Tabla 4 y los resultados de la prueba estadística en las Figuras 11 y 12 respectivamente.

Tabla 5

Características de peso y talla del pez pacú usado.

Característica	Unidad de medida
Peso	298.8 ± 1.414 g
Talla	21.27 ± 0.657 cm

Peso

En la Figura 11, se presenta los resultados del análisis del peso de los peces usados en la investigación, presentan en promedio de 298.8 ± 1.414 g. Como resultado del análisis estadístico de la distribución mostrados en las Figura 9, se tiene un valor $p = 0.110 > a 0.05$; donde podemos afirmar que las muestras usadas presentan una homogeneidad en pesos, y no existe diferencia significativa entre el contenido de los pesos entre pez y pez usados en la investigación. El grado de dispersión de peso se encuentra dentro del valor establecido como manifiesta [Carot \(2001\)](#), que es entre 0 a 10 por ciento, por lo que el peso de los peces usados es homogéneo en su contenido de pesos.

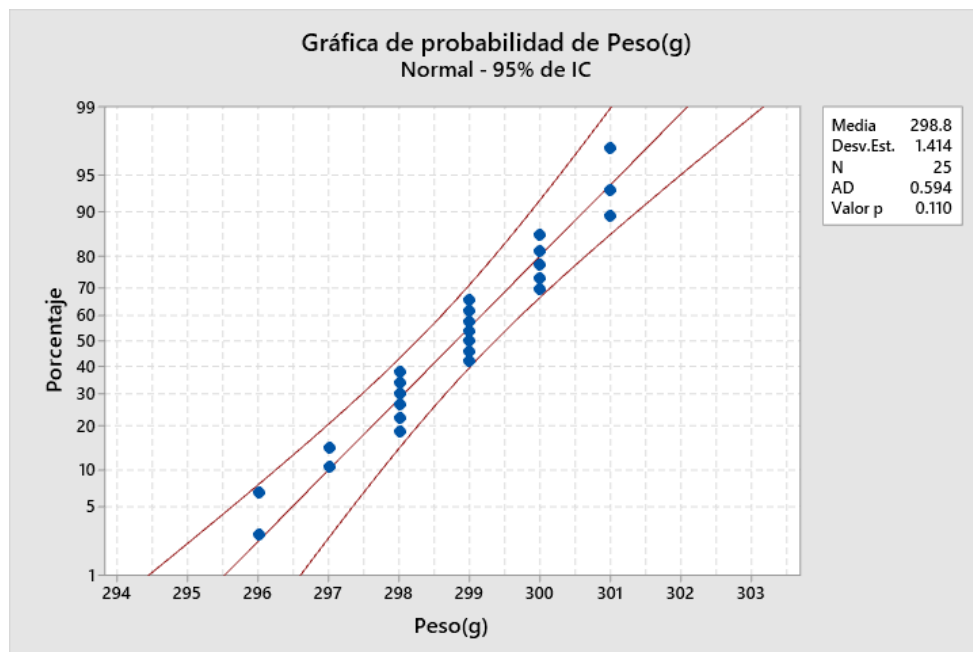


Figura 11. Gráfico de probabilidad normal para los pesos (g) de peces usados.

Talla

En la Figura 12, se presenta los resultados del análisis del tamaño de los peces usados en la investigación, presentan en promedio de 21.27 ± 0.657 cm. Como resultado del análisis estadístico de la distribución se tiene un valor $p = 0.272 > a 0.05$; donde podemos afirmar que las muestras usadas presentan una homogeneidad en tamaños, y no existe diferencia significativa entre el contenido de las tallas entre pez y pez usados en la investigación. El grado de dispersión de peso se encuentra dentro del valor establecido como manifiesta Carot (2001), que es entre 0 a 10 por ciento, por lo que la talla de los peces usados es homogéneo.

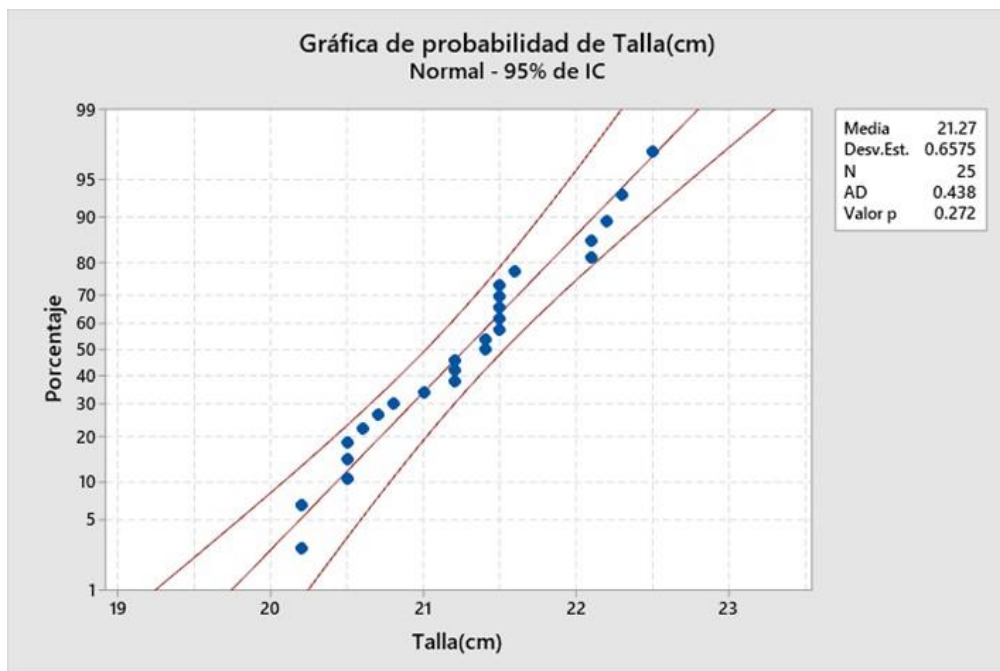


Figura 12. Gráfico de probabilidad normal para los tamaños (cm) de peces usados.

Después de lavar, pesar y fileteado fueron separado las partes comestibles y no comestibles, las características del pacú entero de la parte entera, parte aprovechable y residuos mostramos en la Tabla 5, para fines de balance de materia en el proceso.

Tabla 6

Parte comestible y parte residual de un pez pacú de tamaño medio.

Parte del pescado	Peso (kg)	(%)
Entero fresco	330.31	100
Entero aprovechable (filete)	271.68	82.25
Residuos	58.63	17.75
Filete deshidratado en pila húmeda	193.55	---
Rendimiento / fresco entero		58.60
Rendimiento /entero aprovechable		71.24

Los resultados son similares a los reportados por ([Szenttamásy et al., 1993](#)), donde un 82.25 por ciento la parte aprovechable y un 17.75 por ciento de parte residual de la referencia al pescado fresco. En canto el rendimiento del pescado deshidratado en pila húmeda se tiene un rendimiento del 58.60 por ciento en referencia a la materia prima o pescado fresco entero, pero si cuantificamos en referencia a la parte aprovechable es un rendimiento de 71.24 %.

4.2 Características fisicoquímicas del pacú fresco y deshidratado en pila húmeda

En la Tabla 4, podemos observar el alto contenido de humedad del pescado fresco lo que, entre otros factores, lo convierte en un alimento muy perecedero.

Los contenidos de los componentes de la composición próxima del pacú, como se muestra en la Tabla 4, se asemejan a los reportados por (Natarajan & Sreenivasan, 2011; Szenttamásy et al., 1993).

Tabla 7

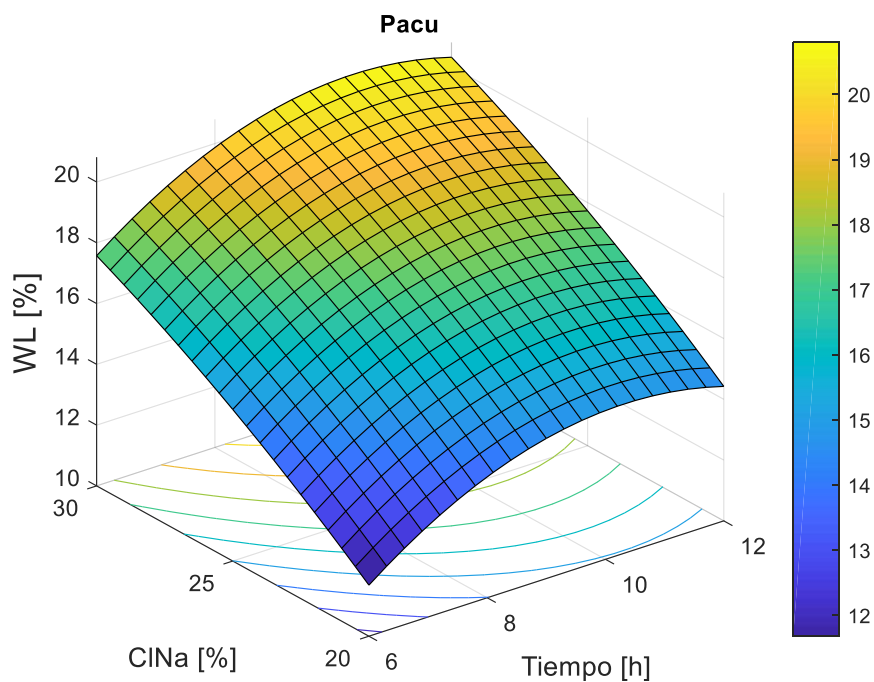
Características fisicoquímicas del pacú fresco y deshidratado en pila húmeda.

Componente	Cantidad (g/100 g)	
	Antes del proceso	Después del proceso
Humedad	67.42	59.24
Ceniza	1.45	17.44
Actividad de agua	0.86	0.63

Todavía en la Tabla 6, el bajo contenido de actividad del agua (aw) del pescado deshidratado en pila húmeda, 0.63 se debe a la salazón que posee para la conservación por la disminución de la humedad.

4.3 Influencia de concentración de NaCl y tiempo de inmersión en la pérdida de agua (WL%)

Los resultados de la regresión no lineal de pérdida de agua en función de las variables de concentración de sal y tiempo de inmersión, es mostrado en la Figura 13, de ello podemos obtener los siguientes resultados:



a) Modelo matemático de pérdida de agua

A través de la regresión no lineal el modelo matemático obtenido fue:

$$\begin{aligned}
 \text{WL} = & -23.9834 + 3.57628*\text{Tiempo} + 1.31107*\text{Sal} - 0.173097*\text{Tiempo}^2 - \\
 & 0.00015*\text{Tiempo}*\text{Sal} - 0.014415*\text{Sal}^2
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

$$R^2_{\text{WL}} = 0.8294$$

$$p_{\text{value}} = 0.0265$$

El ajuste de regresión presenta un valor cercano a la unidad, indicando ello la buena dependencia de las variables independientes como la concentración de sal y el tiempo de inmersión. El modelo matemático obtenido reporta una pérdida de agua que es significativo ($p \leq 0.05$), y un valor de R^2 indicó que el modelo explica el 82.94 % de la variación de la pérdida de agua. Analizando los efectos lineales (X), cuadráticos (X^2) y las interacciones de las variables independientes sobre la variable de respuesta de la pérdida de agua (WL%) así como los resultados en el análisis estadístico allí podemos observar que la concentración de sal y el tiempo tienen efecto significativo sobre la pérdida de agua durante la deshidratación en pila húmeda. Se observa que los valores de la desviación relativa se consideran bajos, debido al valor del coeficiente de determinación obtenido de la ecuación de regresión, y la ecuación del modelo puede ser considerada muy confiable.

En la Figura 14, se muestra la correlación de los valores predichos y experimentales de la variación de la pérdida de agua (WL%). Dicha correlación representa un 96.35 %, dando confianza a los valores experimentales encontrados.

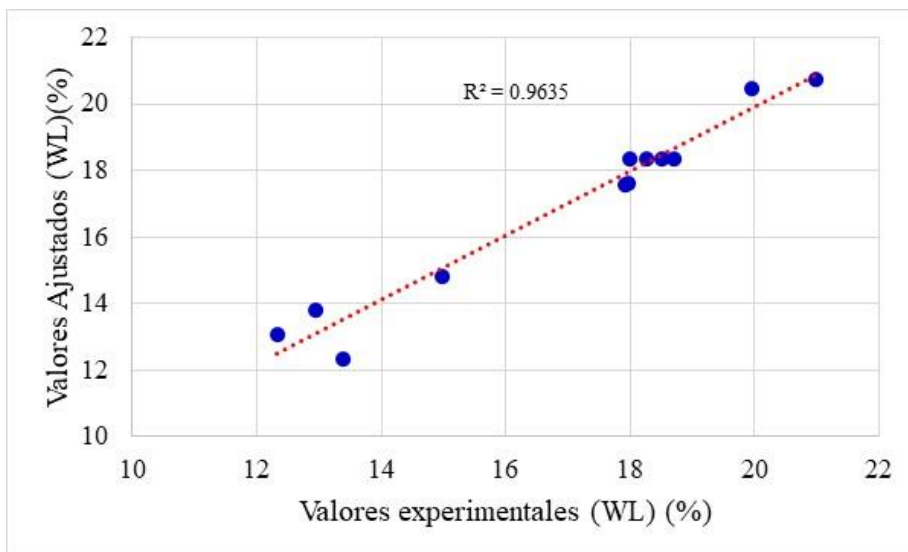


Figura 14. Valores experimentales y predichos para la variación de la pérdida de agua (WL%).

4.4 Influencia de concentración de NaCl y tiempo de inmersión en la ganancia de sólidos (SG)

Los resultados de la regresión no lineal de ganancia de sólidos en función de las variables de concentración de sal y tiempo de inmersión, es mostrado en la Figura 15, de ello podemos obtener los siguientes resultados:

El modelo matemático para representar la ganancia de sólidos en la deshidratación en pila húmeda de pacú en solución de NaCl es el siguiente:

$$SG = 3.58825 + 0.920722 * \text{Tiempo} - 0.5225 * \text{Sal} - 0.0464722 * \text{Tiempo}^2 + 0.007 * \text{Tiempo} * \text{Sal} + 0.01187 * \text{Sal}^2 \quad (17)$$

$$R^2_{SG} = 0.8105$$

$$p_value = 0.0355$$

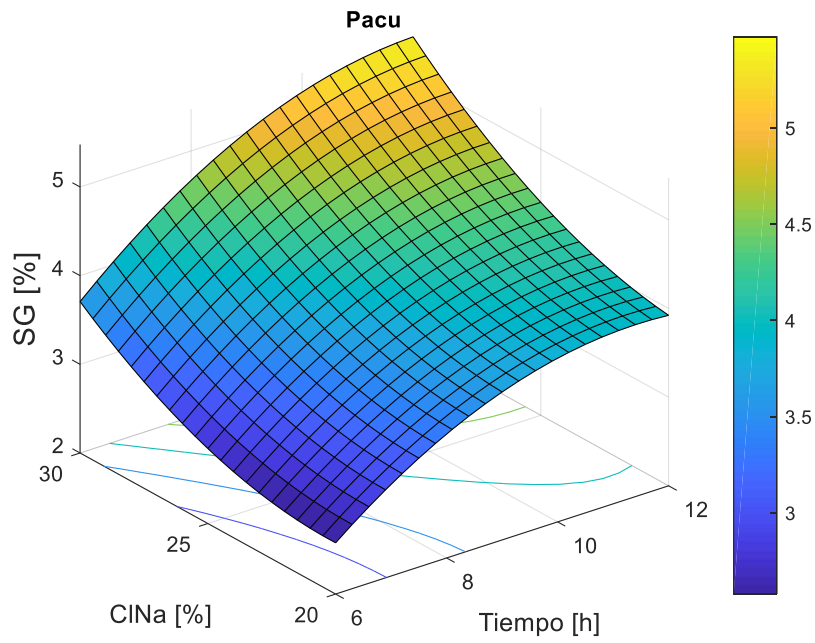


Figura 15. Superficie de respuesta para ganancia de sólidos, relacionando con la concentración de NaCl (%) y tiempo (h).

Para una mejor visualización del ajuste del modelo, se calcularon los valores de la ganancia de sólidos predichos por el modelo y comparados con los valores experimentales, obteniéndose las desviaciones relativas entre ellos, como muestra la en la Figura 16.

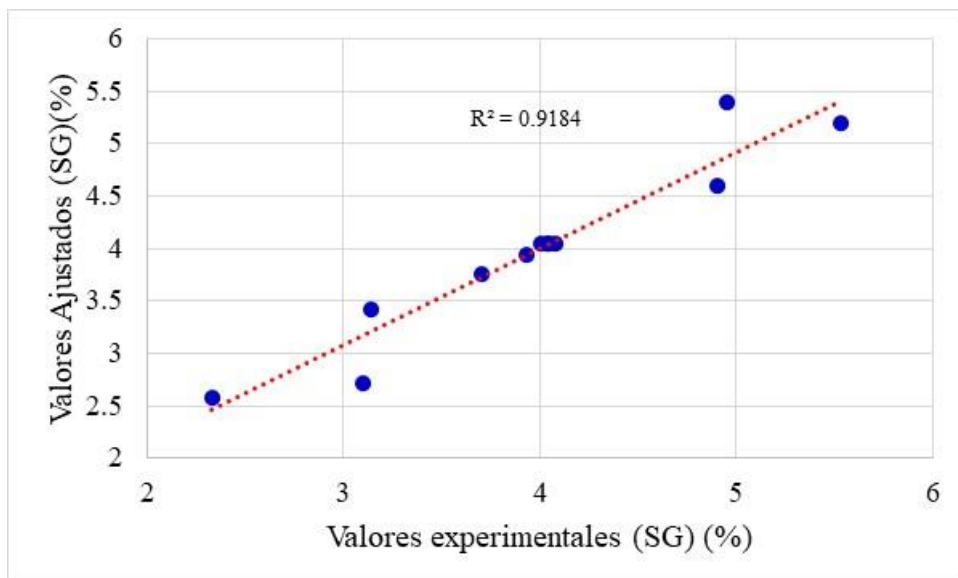


Figura 16. Valores experimentales y predichos para la variación de ganancia de sólidos (SG%).

4.5 Influencia de concentración de NaCl y tiempo de inmersión en la pérdida de peso (WR)

En la Figura 17 se muestra la curva de superficie de respuesta para la variable pérdida de peso en el filete de pescado paco durante la deshidratación en pila húmeda. A una temperatura de ambiental de 20 °C aproximadamente de proceso en la deshidratación en pila húmeda de pacú. El efecto estimado indica cuánto cada factor influye en las respuestas estudiadas (en este caso, la pérdida de peso). Cuanto mayor es su valor, mayor es su influencia, y un efecto positivo indica que, al pasar de un valor mínimo a un máximo de la variable, la respuesta aumenta. Un efecto negativo indica lo contrario, es decir, al pasar de un valor mínimo al valor máximo, la respuesta disminuye.

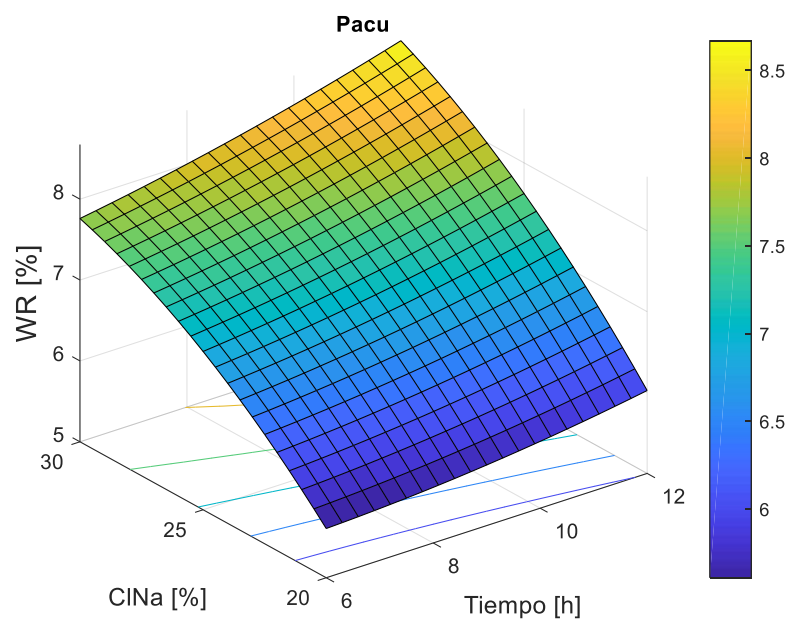


Figura 17. Superficie de respuesta para la pérdida de peso, relacionando con la concentración de NaCl (%) y tiempo (h).

El modelo matemático para la variable de pérdida de peso en función de concentración de sal y tiempo es el siguiente:

$$WR = -4.13679 - 0.229806 * \text{Tiempo} + 0.711783 * \text{Sal} + 0.00751389 * \text{Tiempo}^2 + 0.0082 * \text{Tiempo} * \text{Sal} - 0.010915 * \text{Sal}^2 \quad (18)$$

$$R2_WR = 0.9948$$

$$p_value = 9.2528e-07$$

El valor-p es menor que 0.05, por lo tanto, podemos afirmar que el coeficiente de regresión está al nivel de significancia de las variables independientes sobre la respuesta en estudio. Del modelo matemático obtenido, la pérdida de peso

relativamente bajo, que representa 4.14 %, es el resultado de la eliminación de agua y ganancia de sólidos.

Para una mejor visualización del ajuste del modelo, se calcularon los valores de pérdida de pesos predichos por el modelo y comparados con los valores experimentales, obteniéndose las desviaciones relativas entre ellos, como muestra la en la Figura 18.

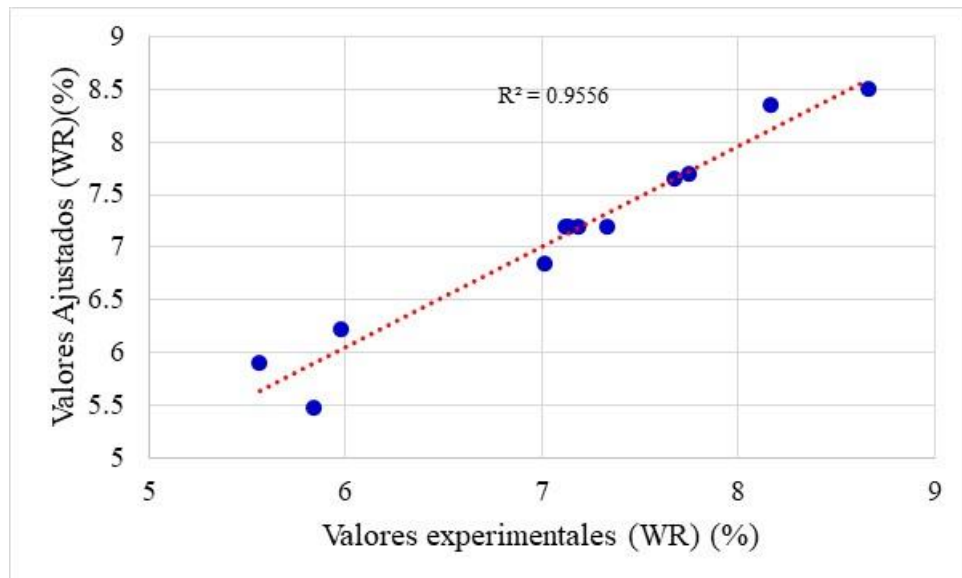


Figura 18. Valores experimentales y ajustados para la variable de la pérdida de peso (WR%).

4.6 Optimización de concentración de sal y tiempo durante el proceso

Las superficies de respuesta óptima de los valores de conveniencia total es mostrado en la Figura 19, en función de los niveles de concentración de cloruro de sodio (20, 25 y 30 %) y tiempos (6, 9 y 12 h). Las regiones de los valores óptimos de la función conveniencia (DT) son identificados con círculos de color turquesas. Es

posible observar una zona de baja conveniencia que se manifiesta como una caída abrupta en el valor de DT cercano a los valores mínimos de concentración y tiempo.

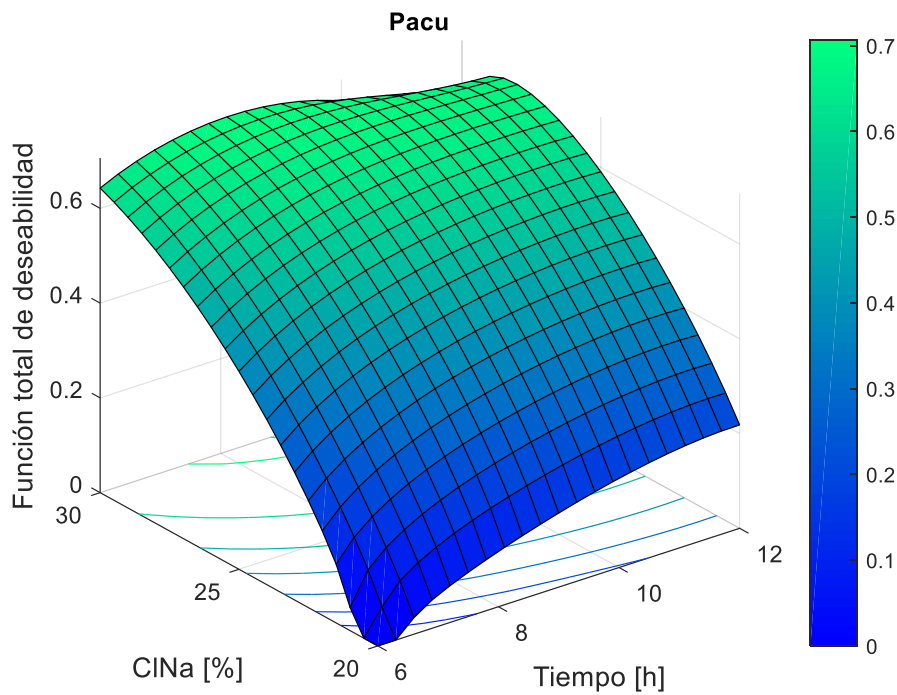


Figura 19. Función de conveniencia total o deseabilidad vs variables independientes,

Las condiciones de procesamiento óptimas para la deshidratación de pacú (*Piaractus brachypomus*) fueron obtenidas de acuerdo con las soluciones matemáticas de la función de conveniencia total considerando el criterio de optimización seleccionado (Tabla 4). Una solución fue obtenida correspondiente a las condiciones óptimas que maximizan el valor de la función de conveniencia total tiene un valor de 0.7087, este valor cercano al máximo de 1, representa un buen indicador. Las

condiciones óptimas de procesamiento fueron concentración de solución de cloruro de sodio entre 30 % y tiempos de proceso entre 8.1 horas.

Tabla 8. Optimización de variables en la deshidratación de pacú en pila húmeda.

Producto	Condiciones optimas		Respuestas Óptimas			DTmax
	NaCl (%)	Tiempo (h)	WL (%)	SG (%)	WR (%)	
Objetivo	-	-	Max	Min	Max	
Pacú deshidratado en pila húmeda	30	8.1	19.95	4.71	8.02	0.7062

WL: Pérdida de agua

SG: Ganancia de solidos

WR: Pérdida de peso

4.7 Actividad de agua durante el proceso de deshidratación en pila húmeda

En la Figura 21 podemos observar el comportamiento de la actividad de agua en el filete y la solución, se visualiza que la actividad de agua se iguala con la de la solución. Considerando que el equilibrio es alcanzado cuando las actividades de agua en el filete y en la solución son iguales, estas se denominarían a_w en el equilibrio experimental.

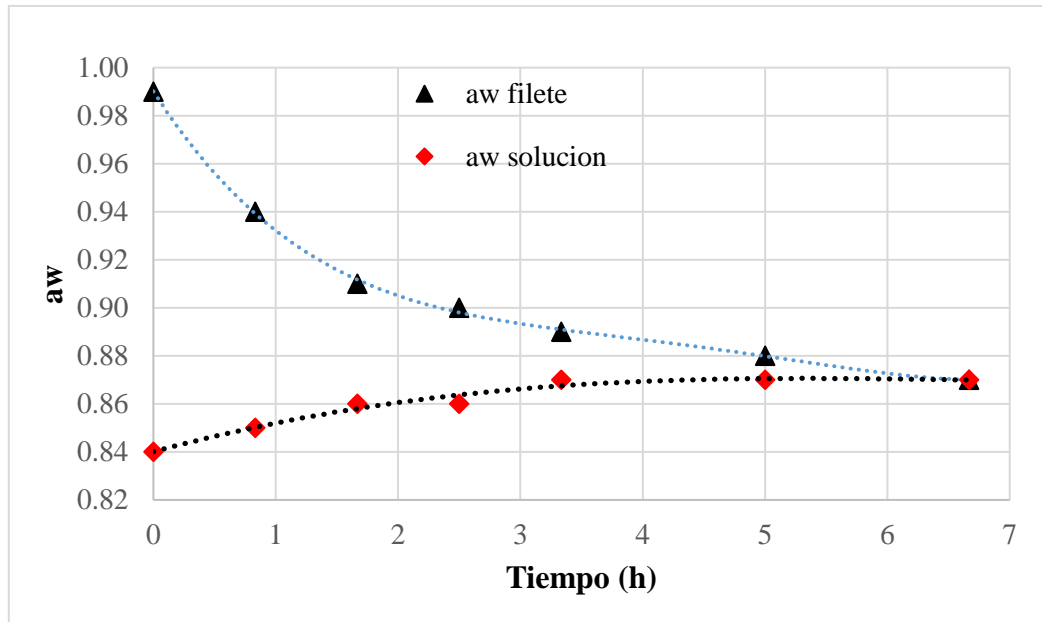


Figura 20. Actividad de agua en *Piaractus brachypomus* en función del tiempo de deshidratación.

Estos resultados son coherentes con los encontrados por [Beraquet et al. \(1983\)](#) en el salado de cavalinha por el metodo salado humedo.

4.8 Evaluación sensorial de estabilidad del pacú deshidratado y envasado en solución de salmuera.

Como resultado del comportamiento durante el almacenamiento de los peces deshidratados en pila húmeda y almacenado en salmuera, como observamos en las Figura 22, no se observaron cambios significativos en apariencia física ni en aspecto sensorial (color, olor y textura) internamente ni externamente.



Figura 21. *Pescado deshidratado en pila húmeda.*

En la Tabla 8 se tiene los resultados sensoriales evaluados durante el almacenamiento, se tiene los cambios a partir de la semana 4 de almacenamiento.

Tabla 9

Cambios de calidad del pacú deshidratado en pila húmeda en almacenamiento.

Tiempo (meses)	Piel	Carne interna		
		Olor	Color	Textura
0	Brillante	Olor a salmuera	Cre moso	Firme
1	Brillante, color natural	Olor a salmuera	Cre moso	Firme
2	Brillante, color natural	Olor a salmuera	Cre moso	Firme
3	Brillante, color natural	Olor a salmuera	Cre moso	Firme
4	Brillante, color natural	Olor a salmuera	Cre moso oscuro	Firme

Los resultados del siguiente cuadro son fundamentados según al resultado de las pruebas sensoriales realizadas.



Fresco

Después de deshidratado en pila húmeda

Figura 22. Comparación de filetes fresco y deshidratado en pila húmeda.

Realizando la observación los cambios pudieran ser percibidos por varios factores, como las propiedades musculares y sus componentes, edad, tamaño y estado nutricional, glucólisis, pH, estado de “rigor mortis”, temperatura de almacenamiento, entre otros ([Johnston, 1999](#)).

Se encontraron algunas muestras con ligero fracturabilidad, lo que indica que la carne es ligeramente seca y quebradizo. Esto también se puede ver por los bajos valores de cohesión de las proteínas, que representa la fuerza de los enlaces internos que constituyen las proteínas del alimento ([Rosenthal & Rosenthal, 1999](#)).

V. DISCUSIONES

5.1 Influencia de concentración de sal (NaCl) y tiempo de inmersión en la pérdida de agua (WL%)

En el modelo matemático el valor de -23.9834 %, resultado que indica que el agua sale del alimento, pudiéndose observar que la pérdida de agua aumenta gradualmente conforme aumenta la concentración de la solución de salmuera y el tiempo, hasta alcanzar un valor máximo de pérdida de agua. (Medina-Vivanco *et al.*, 2002) y Ribeiro (2005) trabajando con deshidratación osmótica de tilápia y mapara, observaron similar influencia del tiempo y de la concentración de cloruro de sodio (NaCl) en la pérdida de agua.

En la Figura 13 también podemos apreciar a mayor concentración de sal en la superficie y mayor tiempo de exposición la pérdida de agua se incrementa. (Souraki *et al.*, 2014) manifiesta la tasa de pérdida de agua de este proceso está directamente relacionada con el tiempo de exposición de la muestra en el medio deshidratante. Similar resultado reporta (Derringer & Suich, 1980) donde el contenido de humedad disminuyó significativamente con el aumento del tiempo de salado. Este fenómeno de disminución en el contenido de agua se da por una pérdida de capacidad de retención de agua en las miofibrillas debido a la formación de sales en las proteínas (Offer & Trinick, 1983; Xiong, 2005).

En el mecanismo de transferencia de agua y de los solutos de la solución hacia el filete en el salado depende de las propiedades intrínsecas de los tejidos biológicos y

de las condiciones de operación como: temperatura, concentración y composición de la solución y condiciones de la interfaz sólido / líquido (Medina-Vivanco *et al.*, 2002).

A valores menores de tiempo y concentración de la salmuera (< 50 min y 10% NaCl) se presenta el fenómeno de entumecimiento del filete de pescado. El autor hace referencia cuando una ligera concentración de salmuera es usada, parte del agua es absorbida por el pescado observándose un parálisis debido a la peptización y la solubilización de las proteínas las cuales son insolubles en agua fresca ayudando a incrementar el peso del pescado en un determinado porcentaje, al final del proceso de salazón. De igual modo, (Regenstein & Regenstein, 1997) mencionan que cuando la concentración de la salmuera es menor que el 12%, el pescado absorbe la salmuera y si la concentración de la salmuera es mayor que el 12%, el pescado pierde agua y sustancias solubles.

En tejidos animales, la transferencia de masa está fuertemente influenciada por el contenido de lípidos (Bohuon *et al.*, 1998; Collignan *et al.*, 2001). (Bohuon, 1995) informó que la pérdida de agua y la ganancia de soluto disminuyeron con el aumento del contenido de grasa en el filete de pescado. Según (D. Wang *et al.*, 2000), la presencia de grasa hace que la sal tome un camino tortuoso, lo que reduce significativamente su difusividad.

5.2 Influencia de concentración de sal (NaCl) y tiempo de inmersión en la ganancia de sólidos (SG)

El ajuste de regresión presenta un valor de 0.8105, indicando ello la buena dependencia de las variables independientes como la concentración de sal y el tiempo de inmersión. El modelo matemático obtenido reporta ganancia de sólidos significativo (valor- $p \leq 0.05$), y un valor de R^2 indicó que el modelo explica el 81.05 % de la variación de ganancia de sólidos.

En el modelo matemático el valor de 3.588 %, resultado que indica que la ganancia de sólidos es baja en el pescado, modelo generado en la superficie de respuesta a partir de las variables tiempo y concentración, pudiéndose observar que la ganancia de sólidos aumenta lentamente conforme aumenta la concentración de la solución de salmuera y el tiempo.

La Figura 15 muestra también un efecto antagónico, pues hay la disminución de la ganancia de sólidos con el aumento de la concentración. [Torreggiani \(1993\)](#), explica que este fenómeno es esencialmente debido a la diferencia difusional entre el agua y el soluto, que están relacionados a sus diferentes masas molares. [Raoult-Wack \(1994\)](#), describe este efecto antagónico de transferencia de agua y soluto, y explica que es, probablemente, debido a la combinación de penetración de soluto por difusión y transporte de este mismo soluto por el flujo de agua.

Estos resultados coincidente con lo publicado por [\(Ráez & Solar, 2005\)](#), quienes trabajaron en el salado de filetes de merluza (*Merluccius gayi peruanus*) en pila seca y pila húmeda y deshidratación osmótica a vacío.

5.3 Influencia de concentración de sal (NaCl) y tiempo de inmersión en la pérdida de peso (WR)

A través de las Figuras 17 se observa un incremento de pérdida de peso, valor menor al 8 %. Estos resultados son compatibles con la primera etapa a la que se refiere (Medina-Vivanco *et al.*, 2002). Estos autores hacen referencia a tres etapas en el proceso de salazón: primero ocurre aumento de pérdida de peso en función del tiempo, la concentración hasta alcanzar un máximo; segundo es cuando la pérdida de peso pasa a decrecer cuando la humedad ya alcanzó un valor constante, mientras que la concentración de cloruro de sodio aún no alcanzó un nivel; el final de la segunda etapa presenta una parcial redistribución de sal y agua dentro del músculo. En la tercera etapa una menor cantidad de sal se mueve, pero el peso del pescado aumenta.

Según Barros *et al.* (2003), una regresión, aunque significativa desde el punto de vista de la prueba F, puede no ser útil para realizar predicciones por cubrir un rango de variación pequeña de los factores estudiados. Box and Wetz (1973), sugirieron que para una regresión ser significativa no sólo estadísticamente, sino también ser útil para fines predictivos, el valor de F calculado para la regresión debe ser como mínimo de cuatro a cinco veces mayor que el valor de F tabulado. El F de la falta de ajuste en relación al error puro, por el contrario, debe presentar el menor valor posible, pues un alto F indica que hay una gran falta de ajuste de los datos al modelo obtenido.

El análisis de varianza (Tabla 1 (Anexo 2) mostró que el modelo ajustado para la pérdida de peso (Ecuación 18) fue significativo con un 95% de confianza y también predictivo, que satisfacen el criterio sugerido por Box and Wetz (1973), ya que el F

calculado fue 53.6 veces mayor que el F Tablado y el ajuste fue significativa en el mismo nivel de confianza. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.9948

A partir de los resultados de ANOVA se pueden observar diferentes comportamientos (Anexo 2). Los resultados del análisis de la varianza muestran a los modelos predictivos polinómicos estadísticamente significativos (nivel de confianza 95%), presentan coeficientes de determinación cercanos a la unidad ($R^2 \geq 0.9$) lo cual indica buen comportamiento de los resultados y consecuencia de ello buen ajuste.

5.4 Optimización de concentración de sal (NaCl) y tiempo durante el proceso

El método de la función de conveniencia puede ser aplicado en la optimización de funciones matemáticas no lineales, en casos de los alimentos con el propósito de encontrar las variables que optimicen procesos. En el caso de la deshidratación en pila húmeda pueden ser usados, WL, SG, WR, textura, color, tiempo de proceso, costo, etc., solos o combinados. En la presente trabajo de investigación, las condiciones óptimas para la deshidratación del pescado pacú en pila húmeda, usando el método de la función de conveniencia, desarrollado de acuerdo con el siguiente criterio: maximizar la pérdida de agua (WL), minimizar la ganancia de sólidos (SG), maximizar la pérdida de peso (WR); este mismo criterio fueron utilizados por [Arballo \(2013\)](#), [\(Eren & Kaymak-Ertekin, 2007\)](#), [\(Manivannan & Rajasimman, 2011\)](#) y [\(Noshad, mohebbi, Shahidi, & Ali Mortazavi, 2011\)](#).

Los resultados indican que la pérdida de agua, la ganancia de sólidos y la pérdida de peso del pez pacú, sometidos a la deshidratación en pila húmeda, tienen

comportamiento similar en el tiempo. La función de conveniencia obtenida de 0.7087, es un valor muy bueno, siendo el valor máximo 1. Los valores óptimos para cada variable son determinados a partir de los valores de las funciones de conveniencia individual que maximizan la función total(DT) ([Corzo, Bracho, Vásquez, & Pereira, 2008](#)).

5.5 Evaluación sensorial de estabilidad del pacú deshidratado y envasado en solución de salmuera.

Los cambios no ocurrieron, el pescado al estar dentro de una solución salina, el pescado no hace contacto con el aire atmosférico, debido a las limitaciones de la cantidad de rancidez que podría desarrollar, como uno de los cambios notorios en los peces grasos o semigrasos. Este es un método preferido para la salazón de peces grasos ([Regenstein & Regenstein, 1991](#)).

V. CONCLUSIONES

1. En esta tesis se determinó la influencia de concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo, la variación de peso, contenido de agua, incremento de sólidos y conservación de *Piaractus brachypomus* deshidratado en pila húmeda.

2. En esta tesis se determinó la influencia de concentración de cloruro de sodio (NaCl) y tiempo de inmersión en la pérdida de peso en la deshidratación en pila húmeda de *Piaractus brachypomus* fue como se muestra en la siguiente ecuación:

$$WR = -4.13679 - 0.229806 * \text{Tiempo} + 0.711783 * \text{Sal} + 0.00751389 * \text{Tiempo}^2 + 0.0082 * \text{Tiempo} * \text{Sal} - 0.010915 * \text{Sal}^2$$

3. En esta tesis se determinó la influencia de concentración de cloruro de sodio (NaCl) y tiempo de inmersión en la pérdida de agua en la deshidratación en pila húmeda de *Piaractus brachypomus* fue como se muestra en la siguiente ecuación:

$$WL = -23.9834 + 3.57628 * \text{Tiempo} + 1.31107 * \text{Sal} - 0.173097 * \text{Tiempo}^2 - 0.00015 * \text{Tiempo} * \text{Sal} - 0.014415 * \text{Sal}^2$$

4. En esta tesis se determinó la influencia de concentración de cloruro de sodio (NaCl) y tiempo de inmersión en la ganancia de sólidos en la deshidratación en pila húmeda de *Piaractus brachypomus* fue como se muestra en la siguiente ecuación matemática:

$$SG = 3.58825 + 0.920722 * \text{Tiempo} - 0.5225 * \text{Sal} - 0.0464722 * \text{Tiempo}^2 + 0.007 * \text{Tiempo} * \text{Sal} + 0.01187 * \text{Sal}^2$$

5. En esta tesis se determinó la concentración de sal (cloruro de sodio o NaCl) y tiempo óptimo durante la deshidratación de *Piaractus brachypomus* en pila

húmeda. Donde la concentración de sal y tiempo en el proceso optimizado fue de 30% de sal y el tiempo de 8.1 h, durante la deshidratación en pila húmeda de *Piaractus brachypomus*, con un indicador de función conveniencia de 0.7087 muy bueno. Para una pérdida de agua maximizada de 19.95 %; ganancia de solidos minimizados de 4.71 % y de pérdida de peso maximizada de 8.02 %.

6. Se determino la influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la actividad de agua en el *Piaractus brachypomus*. Los cambios de actividad de agua del filete y la salmuera durante el proceso tienden a un equilibrio en aproximadamente 7 horas.

7. Se determino la influencia del deshidratado en pila húmeda sobre la estabilidad sensorial durante el almacenamiento del *Piaractus brachypomus*. El del Pacú o *Piaractus brachypomus* deshidratada en pila húmeda y envasadas en empaque DoyPack supero los 4 meses.

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas con análisis de cambios estructurales de la proteína durante la deshidratación.
2. Realizar pruebas que permita realizar el procesamiento primario del pescado amazónico,
3. Generar proyectos en la acuicultura y brindar asesoramiento técnico para la implementación de un sistema de crianza de peces amazónicos y derivados.

VI. REFERENCIAS

- Agustinelli, S. P. (2014). Estudio del proceso de ahumado frío de filetes de caballa (*Scomber japonicus*): Evaluación y modelado de parámetros tecnológicos.
- Azuara, E., CortÉS, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(4), 409-418. doi:10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x
- Arballo, J. R. (2013). *Modelado y simulación de la deshidratación combinada en pila húmeda-microondas de frutihortícolas*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10915/26611>
- Barat, J. M., Rodríguez-Barona, S., Andrés, A. al, & Fito, P. (2002). Influence of increasing brine concentration in the cod-salting process. *Journal of Food Science*, 67(5), 1922-1925.
- Bohuon, P. (1995). Déshydratation-imprégnation par immersion en solutions ternaires: Étude des transports d'eau et de solutés sur gel et produits d'origine animale. Université de Montpellier 2.
- Bohuon, P., Collignan, A., Rios, G. M., & Raoult-Wack, A. L. (1998). Soaking process in ternary liquids: Experimental study of mass transport under natural and forced convection. *Journal of Food Engineering*, 37(4), 451-469. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00073-9)
- Borges, A., Conte-Junior, C. A., Franco, R. M., & Freitas, M. Q. (2013). Quality Index Method (QIM) developed for pacu *Piaractus mesopotamicus* and determination of its shelf life. *Food Research International*, 54(1), 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.012>

- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., & Poligné, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 153-162.
- Contreras, J. E., & Smyrl, T. G. (1981). An Evaluation of Osmotic Concentration of Apple Rings Using Corn Syrup Solids Solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14(4), 310-314.
[https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(81\)72932-8](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(81)72932-8)
- Conway, J., Castaigne, F., Picard, G., & Vovan, X. (1983). Mass Transfer Considerations in the Osmotic Dehydration of Apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(1), 25-29.
[https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(83\)72014-6](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(83)72014-6)
- Corzo, O., & Bracho, N. (2005). Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin model. *Journal of food engineering*, 66(1), 51-56.
- Del Castillo, E., Montgomery, D. C., & McCarville, D. R. (1996). Modified desirability functions for multiple response optimization. *Journal of quality technology*, 28(3), 337-345.
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12(4), 214-219.
- Fennema, O. R. (1990). Comparative water holding properties of various muscle foods: A critical review relating to definitions, methods of measurement, governing factors, comparative data and mechanistic matters. *Journal of Muscle Foods*, 1(4), 363-381.
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., Andrés, A., & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in

- matrix engineering. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 175-183.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00220-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00220-X)
- Gallo Seminario, M. (2003). *Investigación y Tecnología Pesquera*.
- Harrington, E. C. (1965). The desirability function. *Industrial quality control*, 21(10), 494-498.
- Hawkes, J., & Flink, J. M. (1978). OSMOTIC CONCENTRATION OF FRUIT SLICES PRIOR TO FREEZE DEHYDRATION. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2(4), 265-284. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1978.tb00562.x>
- Islam, M. N., & Flink, J. M. (2007). Dehydration of potato: I. Air and solar drying at low air velocities. *International Journal of Food Science & Technology*, 17(3), 373-385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb00193.x>
- Johnston, I. A. (1999). Muscle development and growth: Potential implications for flesh quality in fish. *Aquaculture*, 177(1-4), 99-115.
- Kelleher, S. D., & Hultin, H. O. (1991). Lithium chloride as a preferred extractant of fish muscle proteins. *Journal of Food Science*, 56(2), 315-317.
- Lenart, A. (1996). Osmo-Convective Drying of Fruits and Vegetables: Technology and Application. *Drying Technology*, 14(2), 391-413.
<https://doi.org/10.1080/07373939608917104>
- Lenart, A., & Flink, J. M. (2007). Osmotic concentration of potato.: II. Spatial distribution of the osmotic effect. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 65-89. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb00327.x>

- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Rosa, M. D., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food science*, 50(5), 1217-1219.
- Mancera-Rodriguez, L., Muñoz-Ramirez, A. P., Lopez-Vargas, J. H., & Simal-Gandara, J. (2022). Development, characterization and stability of a white cachama pâté-type product (*Piaractus brachypomus*). *Food Chemistry*, 375, 131660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131660>
- Martínez-Alvarez, O., & Gómez-Guillén, C. (2013). Influence of mono- and divalent salts on water loss and properties of dry salted cod fillets. *LWT - Food Science and Technology*, 53(2), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.013>
- Medina-Vivanco, M. (2002). Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. *Chemical Engineering Journal*, 86(1-2), 199-205. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(01\)00290-X](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(01)00290-X)
- Mesa-Granda, M. N., & Botero-Aguirre, M. C. (2007). La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(1), 79-86.
- Natarajan, M. V., & Sreenivasan, A. (2011). Proximate and mineral composition of freshwater fishes.
- Offer, G. (1988). The structural basis of water-holding in meat. *Development in meat science*, 4, 63.
- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., Elsey, J., Parsons, N., Sharp, A., Starr, R., & Purslow, P. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food structure*, 8(1), 17.

- Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat science*, 8(4), 245-281.
- Palou, E., Malo, L., Argai, A., & Welti, J. (1993). Osmotic dehydration of papaya: Effect of syrup concentration. *Revista española de ciencia y tecnología de alimentos*.
- Pardi, M. C., dos Santos, I. F., de Souza, E. R., & Pardi, H. S. (1993). *Ciência, higiene e tecnologia da carne (Vol. 1)*. CEGRAF-UFG.
- Ráez, L. L., & Solar, L. D. (2005). Salado de merluza por pila seca, húmeda y por deshidratación osmótica a vacío (*Merluccius gayi peruanus*). *Industrial data*, 8(2), 0.
- Ramya, V., & Jain, N. K. (2017). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach: OSMO-DEHYDRATION OF FRUITS AND VEGETABLES. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12440. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12440>
- Raoult-Wack, A. L., Rios, G., Saurel, R., Giroux, F., & Guilbert, S. (1994). Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). *Food Research International*, 27(2), 207-209. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(94\)90165-1](https://doi.org/10.1016/0963-9969(94)90165-1)
- Regenstein, J. M., & Regenstein, C. E. (1991). Current issues in kosher foods. *Trends in Food Science & Technology*, 2, 50-54.
- Ribeiro, S. C. A. (2005). Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de filés de mapará (*Hypopthalmus edentatus*). Campinas: UNICAMP/FEA.
- Rosenthal, A. J., & Rosenthal, A. J. (1999). *Food texture: Measurement and perception*.

- Ruiz, L., & Lorena, T. (2014). Determinación de las mejores variables de proceso y cinética de obtención de un producto mínimamente procesado (pmp) a partir de *Piaractus brachypomus* (paco). Repositorio institucional - UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6983>
- Saavedra, A. R. L., Rios-Mera, J. D., Imán, A., Vásquez, J., Saldaña, E., Siche, R., & Tello, F. (2022). A sequential approach to reduce sodium chloride in freshwater fish burgers considering chemical, texture, and consumer sensory responses. *LWT*, 167, 113854. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113854>
- Sereno, A. M., Moreira, R., & Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of food Engineering*, 47(1), 43-49.
- Souraki, B. A., Ghavami, M., & Tondro, H. (2014). Correction of moisture and sucrose effective diffusivities for shrinkage during osmotic dehydration of apple in sucrose solution. *Food and Bioproducts Processing*, 92(1), 1-8.
- Stefansson, G., & Hultin, H. O. (1994). On the solubility of cod muscle proteins in water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), 2656-2664.
- Szenttamásy, E. R., Barbosa, S., Oetterer, M., & Moreno, I. A. M. (1993). Tecnologia do pescado de água doce: Aproveitamento do pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Scientia Agricola*, 50, 303-310.
- Thorarinsdottir, K. A., Arason, S., Thorkelsson, G., Sigurgisladottir, S., & Tornberg, E. (2010). The effects of presalting methods from injection to pickling, on the yields of heavily salted cod (*Gadus morhua*). *Journal of food science*, 75(8), E544-E551.

- Tomac, A., Rodríguez Mallo, S., Perez, S., Garcia Loredo, A. B., & Yeannes, M. I. (2020). Vacuum impregnation in *Merluccius hubbsi* hake fillets brining. Effect on mass transfer kinetics, texture and colour. *LWT*, 119, 108892. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108892>
- Volkoff, H., Sabioni, R. E., Coutinho, L. L., & Cyrino, J. E. P. (2017). Appetite regulating factors in pacu (*Piaractus mesopotamicus*): Tissue distribution and effects of food quantity and quality on gene expression. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 203, 241-254.
- Wang, D., Tang, J., & Correia, L. R. (2000). Salt diffusivities and salt diffusion in farmed Atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. *Journal of Food Engineering*, 43(2), 115-123. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00140-5)
- Wang, T., Li, Q., & Bi, K. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(1), 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.004>
- Xiong, Y. L. (2005). Role of myofibrillar proteins in water-binding in brine-enhanced meats. *Food Research International*, 38(3), 281-287.
- Azuara, E., CortÉS, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(4), 409-418. doi:10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x
- Barat, J.M., Grau, A. & Fito, P. (1998). Deshidratación en pila húmeda de alimentos. Ed. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia. España.

- Barros Neto, B.; Scarminio, I.S.; Bruns, R.E. **Como fazer experimentos pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2001. 401p.
- Arballo, J. R. (2013). *Modelado y simulación de la deshidratación combinada en pila húmeda-microondas de frutihortícolas*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10915/26611>
- Azuara, E., CortÉS, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(4), 409-418. doi:10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x
- Barros, N., B., Scarminio, I. S., & Bruns, R. E. (2003). *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*: Editora da Unicamp.
- Bastos, J. R. (1977). *Influencia da secagem sobre algumas propriedades fisico-químicas do musculo do cação branco, Carcharhynus porosus Ranzani*. [s.n.]. Retrieved from <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/255313>
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-977. doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
- Bohuon, P., Collignan, A., Rios, G. M., & Raoult-Wack, A. L. (1998). Soaking process in ternary liquids: Experimental study of mass transport under natural and forced convection. *Journal of Food Engineering*, 37(4), 451-469. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00073-9)

- Borges, A., Conte-Junior, C. A., Franco, R. M., & Freitas, M. Q. (2013). Quality Index Method (QIM) developed for pacu *Piaractus mesopotamicus* and determination of its shelf life. *Food Research International*, *54*(1), 311-317.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.012>
- Borges, A., Conte-Junior, C. A., Franco, R. M., Mársico, E. T., & Freitas, M. Q. (2014). Quality Index Method (QIM) for the hybrid tambacu (*Colossoma macropomum* × *Piaractus mesopotamicus*) and the correlation among its quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, *56*(2), 432-439.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.008>
- Box, G. E., Hunter, W. G., & Hunter, J. S. (1978). *Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis, and model building*: Wiley.
- Box, G. E., & Wetz, J. (1973). *Criteria for Judging Adequacy of Estimation by an Approximating Response Function*. Retrieved from
- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., & Poligné, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, *49*(2), 153-162.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00215-6)
- Contreras, J. E., & Smyrl, T. G. (1981). An Evaluation of Osmotic Concentration of Apple Rings Using Corn Syrup Solids Solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, *14*(4), 310-314.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(81\)72932-8](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(81)72932-8)
- Conway, J., Castaigne, F., Picard, G., & Vovan, X. (1983). Mass Transfer Considerations in the Osmotic Dehydration of Apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, *16*(1), 25-29.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(83\)72014-6](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(83)72014-6)

- Corzo, O., & Bracho, N. (2005). Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupin model. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 51-56.
- Corzo, O., Bracho, N., Vásquez, A., & Pereira, A. (2008). Optimization of a thin layer drying process for coroba slices. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 372-380. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.024>
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214-219. doi:10.1080/00224065.1980.11980968
- Dos Santos, V. B., de Oliveira, M. Wendeborn M., Salomão, R. A. S., Santos, R. d. S., de Paula, T. G., Silva, M. D. P., & Mareco, E. A. (2017). Influence of temperature and exercise on growth performance, muscle, and adipose tissue in pacus (*Piaractus mesopotamicus*). *Journal of Thermal Biology*, 69(Supplement C), 221-227. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.08.004>
- Draper, N. R., & Dennis, K. J. L. (1990). Small Response-Surface Designs. *Technometrics*, 32(2), 187-194. doi:10.2307/1268862
- Eren, İ., & Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 344-352. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.069>
- Fichtali, J., Van De Voort, F. R., & Khuri, A. I. (1990). MULTIRESPONSE OPTIMIZATION of ACID CASEIN PRODUCTION. *Journal of Food Process Engineering*, 12(4), 247-258. doi:10.1111/j.1745-4530.1990.tb00053.x

- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., . . . Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49(2), 175-183. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00220-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00220-X)
- Floros, J. O. D., & Chinnan, M. A. S. (1988). Seven Factor Response Surface Optimization of a Double-Stage Lye (NaOH) Peeling Process for Pimiento Peppers. *Journal of Food Science*, 53(2), 631-638. doi:10.1111/j.1365-2621.1988.tb07771.x
- Fresneda, A., Lenis, G., Agudelo, E., & Olivera-Angel, M. (2004). *Espermiación inducida y Crioconservación de Cachama blanca (Piaractus brachypomus)* (Vol. 17).
- Gallo, M. (1999). Procesamiento de Productos Salados. Separatas de Curso Internacional ITP/JICA – Perú. .
- Gomes, C. L., Chagas, E. C., Martins-Junior, H., Roubach, R., Ono, E. A., & de Paula Lourenço, J. N. (2006). Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. *Aquaculture*, 253(1-4), 374-384.
- Hawkes, J., & Flink, J. M. (1978). OSMOTIC CONCENTRATION OF FRUIT SLICES PRIOR TO FREEZE DEHYDRATION¹. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2(4), 265-284. doi:10.1111/j.1745-4549.1978.tb00562.x
- Islam, M. N., & Flink, J. M. (1982). Dehydration of potato. *International Journal of Food Science & Technology*, 17(3), 373-385. doi:10.1111/j.1365-2621.1982.tb00193.x

- Kumar, A., Pradhan, P. K., Das, P. C., Srivastava, S. M., Lal, K. K., & Jena, J. K. (2018). Growth performance and compatibility of pacu, *Piaractus brachypomus* with Indian major carps in polyculture system. *Aquaculture*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.052>
- Lenart, A. (1996). Osmo-Convective Drying of Fruits and Vegetables: Technology and Application. *Drying Technology*, 14(2), 391-413. doi:10.1080/07373939608917104
- Lenart, A., & Flink, J. M. (1984). Osmotic concentration of potato. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 65-89. doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb00327.x
- LERICI, C. R., PINNAVAIA, G., ROSA, M. D., & BARTOLUCCI, L. (1985). Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*, 50(5), 1217-1219. doi:doi:10.1111/j.1365-2621.1985.tb10445.x
- Li, Q., Sun, L.-J., Gong, X.-F., Wang, Y., & Zhao, X.-L. (2017). Simultaneous Optimization of Multiple Response Variables for the Gelatin-chitosan Microcapsules Containing Angelica Essential Oil. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research : IJPR*, 16(1), 50-62.
- Manivannan, P., & Rajasimman, M. (2011). OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS FOR THE OSMOTIC DEHYDRATION OF BEETROOT IN SUGAR SOLUTION. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 804-825. doi:10.1111/j.1745-4530.2009.00436.x
- Martinez Delfa, G., Olivieri, A., & Boschetti, C. E. (2009). Multiple response optimization of styrene–butadiene rubber emulsion polymerization.

Computers & Chemical Engineering, 33(4), 850-856.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.01.002>

Medina-Vivanco, M., Sobral, P. J. d. A., & Hubinger, M. D. (2002). Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. *Chemical Engineering Journal*, 86(1), 199-205. doi:[https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(01\)00290-X](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(01)00290-X)

Noshad, M., mohebbi, M., Shahidi, F., & Ali Mortazavi, S. (2011). *Multi-Objective Optimization of Osmotic-Ultrasonic Pretreatments and Hot-Air Drying of Quince Using Response Surface Methodology* (Vol. 5).

Palou, E., Malo, L., Argai, A., & Welti, J. (1993). Osmotic dehydration of papaya: effect of syrup concentration. *Revista española de ciencia y tecnología de alimentos*.

Pardi, M. C., Santos, I., Souza, E., & Pardi, H. (1993). *Ciência, higiene e tecnologia da carne: tecnologia da carne e subprodutos, processamento tecnológico. Goiânia: UFG.*

Poligné, I., Collignan, A., & Trystram, G. (2001). Characterization of traditional processing of pork meat into boucané. *Meat science.*, 59(4), 377-389.

Ramya, V., & Jain, N. K. (2017). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12440-n/a. doi:10.1111/jfpe.12440

Raoult-Wack, A.-L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 5(8), 255-260.

Raoult _Wack, A. L., Rios, G., Saurel, R., Giroux, F., & Guilbert, S. (1994). Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). *Food*

Research International, 27(2), 207-209. doi:[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(94\)90165-1](https://doi.org/10.1016/0963-9969(94)90165-1)

Regenstein, J. M., & Regenstein, C. E. (1997). Introduction to Fish Technology. 269.

Ribeiro, S. d. C. A. (2005). *Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de files de mapara (Hypophthalmus edentatus)*. Retrieved from <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000346730>

<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/255623>

Sereno, A. M., Moreira, R., & Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 43-49. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00098-4)

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26(1), 59-68. doi:[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(93\)90106-S](https://doi.org/10.1016/0963-9969(93)90106-S)

Valle, F., & Nickerson, J. (1967). Studies on salting and drying fish. I. Equilibrium considerations in salting. *Journal of Food Science*, 32(2), 173-179.

Volkoff, H., Estevan Sabioni, R., Coutinho, L. L., & Cyrino, J. E. P. (2017). Appetite regulating factors in pacu (*Piaractus mesopotamicus*): Tissue distribution and effects of food quantity and quality on gene expression. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 203(Supplement C), 241-254. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.09.022>

Wang, D., Tang, J., & Correia, L. R. (2000). Salt diffusivities and salt diffusion in farmed Atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. *Journal of Food*

Engineering, 43(2), 115-123. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00140-5)

ANEXO

ANEXO 1: Resultados Experimentales

Tabla 1
Resumen de resultados experimentales de deshidratado en pila húmeda.

N°	t(h)	Sal(%)	WL(%)	SG(%)	WR(%)
1	6	20	13.396	3.098	5.564
2	6	25	12.934	2.331	7.011
3	9	20	12.332	3.138	5.838
4	12	20	14.988	3.933	5.981
5	12	30	19.495	4.957	8.661
6	9	25	18.694	4.047	7.189
7	12	25	17.981	4.907	7.673
8	6	30	17.912	3.702	7.752
9	9	30	20.978	5.53	8.165
10	9	25	18.512	4.043	7.336
11	9	25	18.254	4.005	7.118
12	9	25	18.004	4.081	7.136

ANEXO 2: Análisis Estadístico de datos experimentales para variable pérdida de agua

Tabla 1: Análisis de Varianza (ANOVA) para pérdida de peso (WL)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tie	11.2669		11.2669	4.56	0.076
B:Sal	52.0323		52.0323	21.06	0.003
AA	6.47193		6.47193	2.62	0.156
AB	0.00002025	5	0.0000202	0.00	0.997
BB	0.34632		0.34632	0.14	0.721
Error total	14.8244		2.47073		
Total (corr.)	86.9169	1			

R-cuadrada = 82.9442 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 68.731 por ciento

Error estándar del est. = 1.57186

Error absoluto medio = 0.857937

Estadístico Durbin-Watson = 1.836 (P=0.2362)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0175635

Tabla 2: Coeficiente de regresión para pérdida de peso (WL)

Coef. de regresión para WL

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-23.9834

A:Tiempo	3.57628
B:Sal	1.31107
AA	-0.173097
AB	-0.00015
BB	-0.014415

$$WL = -23.9834 + 3.57628 * \text{Tiempo} + 1.31107 * \text{Sal} - 0.173097 * \text{Tiempo}^2 - 0.00015 * \text{Tiempo} * \text{Sal} - 0.014415 * \text{Sal}^2$$

Tabla 3: Resultados Estimados para WI

	<i>Observados</i>	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
<i>Fila</i>	<i>Valores</i>	Valores	para Media	para Media
1	13.396	11.6801	8.25794	15.1023
2	12.934	14.9876	12.2679	17.7073
3	12.332	14.6106	11.8909	17.3303
4	14.988	14.4253	11.0031	17.8475
5	19.495	20.3105	16.8883	23.7326
6	18.694	17.9158	16.1602	19.6713
7	17.981	17.7283	15.0086	20.4479
8	17.912	17.5743	14.1521	20.9965
9	20.978	20.5002	17.7806	23.2199
10	18.512	17.9158	16.1602	19.6713
11	18.254	17.9158	16.1602	19.6713
12	18.004	17.9158	16.1602	19.6713

ANEXO 3: Análisis Estadístico de datos experimentales para variable ganancia de solidos

Tabla 1. Análisis de Varianza para pérdida de agua (SG)

<i>te</i>	<i>Fuen</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>-P</i>	<i>Valor</i>
mpo	A:Tie	3.62859		3.62859	13.49	4	0.010
	B:Sal	2.6934		2.6934	10.01	5	0.019
	AA	0.466488		0.466488	1.73	0	0.236
	AB	0.0441		0.0441	0.16	6	0.699
	BB	0.234828		0.234828	0.87	2	0.386
total	Error	1.61437		0.269062			
(corr.)	Total	8.52121	1				

R-cuadrada = 81.0547 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 65.2669 por ciento

Error estándar del est. = 0.518712

Error absoluto medio = 0.267264

Estadístico Durbin-Watson = 1.84613 (P=0.2429)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.00742427

Tabla 2. Coef. de regresión para SG

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	3.58825
A:Tiempo	0.920722
B:Sal	-0.5225
AA	-0.0464722
AB	0.007
BB	0.01187

La ecuación del modelo ajustado es

$$SG = 3.58825 + 0.920722 * \text{Tiempo} - 0.5225 * \text{Sal} - 0.0464722 * \text{Tiempo}^2 + 0.007 * \text{Tiempo} * \text{Sal} + 0.01187 * \text{Sal}^2$$

Tabla 3. Resultados Estimados para SG

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
<i>Fila</i>	Valores	Valores	para Media	para Media
1	3.098	2.57758	1.44826	3.7069
2	2.331	2.84583	1.94834	3.74332
3	3.138	3.6685	2.77101	4.56599
4	3.933	3.92292	2.7936	5.05224
5	4.957	5.47292	4.3436	6.60224
6	4.047	4.04175	3.46242	4.62108
7	4.907	4.40117	3.50368	5.29866
8	3.702	3.70758	2.57826	4.8369
9	5.53	5.0085	4.11101	5.90599
10	4.043	4.04175	3.46242	4.62108
11	4.005	4.04175	3.46242	4.62108
12	4.081	4.04175	3.46242	4.62108

ANEXO 4: Análisis Estadístico de datos experimentales para variable pérdida de peso

Tabla 1: Análisis de Varianza para WR

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	0.658691		0.658691	78. 96	0.000 1
B:Sal	8.628	1	8.628	1034.32	0.0000
AA	0.012195	1	0.012195	1.46	0.2721
AB	0.060516	1	0.060516	7.25	0.0359
BB	0.198562	1	0.198562	23.80	0.0028
Error total	0.0500505	6	0.00834174		
Total (corr.)	9.59746	11			

R-cuadrada = 99.4785 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.0439 por ciento

Error estándar del est. = 0.0913331

Error absoluto medio = 0.0545069

Estadístico Durbin-Watson = 1.98586 (P=0.3451)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0854211

Tabla 2: Coef. de regresión para WR

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-4.13679
A:Tiempo	-0.229806
B:Sal	0.711783
AA	0.00751389
AB	0.0082
BB	-0.010915

La ecuación del modelo ajustado es

$$WR = -4.13679 - 0.229806 * \text{Tiempo} + 0.711783 * \text{Sal} + 0.00751389 * \text{Tiempo}^2 + 0.0082 * \text{Tiempo} * \text{Sal} - 0.010915 * \text{Sal}^2$$

Tabla 3: Resultados Estimados para WR

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Fila	Valores	Valores	para Media	para Media
1	5.564	5.60854	5.40969	5.80739
2	7.011	6.95758	6.79956	7.11561
3	5.838	5.74925	5.59122	5.90728
4	5.981	6.02521	5.82636	6.22406
5	8.661	8.66954	8.47069	8.86839
6	7.189	7.22129	7.11929	7.3233
7	7.673	7.62025	7.46222	7.77828
8	7.752	7.76087	7.56203	7.95972
9	8.165	8.14758	7.98956	8.30561
10	7.336	7.22129	7.11929	7.3233
11	7.118	7.22129	7.11929	7.3233
12	7.136	7.22129	7.11929	7.3233

ANEXO 5: Optimización múltiple
BASE DE DATOS

N°	t(h)	Sal(%)	WL(%)	SG(%)	WR(%)
1	6	20	13.396	3.098	5.564
2	6	25	12.934	2.331	7.011
3	9	20	12.332	3.138	5.838
4	12	20	14.988	3.933	5.981
5	12	30	19.495	4.957	8.661
6	9	25	18.694	4.047	7.189
7	12	25	17.981	4.907	7.673
8	6	30	17.912	3.702	7.752
9	9	30	20.978	5.53	8.165
10	9	25	18.512	4.043	7.336
11	9	25	18.254	4.005	7.118
12	9	25	18.004	4.081	7.136

ANEXO 6: Código del programa para la optimización

```
Archivo: SALADO_PACO.m
% PROGRAMA PARA DESHIDRATACION DE PACU EN PILA HUMEDA
% TESIS DE VANESSA
% Factores: CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN Y TIEMPO DE
INMERSION
% Respuestas: PÉRDIDA DE AGUA, GANANCIA DE SÓLIDOS Y PÉRDIDA
DE PESO
% -----
clear all,clc,close all
A=xlsread('DATOEXPERIMENTAL','Hojal');
% VARIABLES INDEPENDIENTES
t=A(:,1); % Tiempo
Az=A(:,2); % Concentración de sal
% VARIABLES DEPENDIENTES
WL=A(:,3); % Pérdida de agua
SG=A(:,4); % Ganancia de sal
WR=A(:,5); % Perdida de peso
n=length(t);
% MODELO POLINOMIAL PARA LA PÉRDIDA DE AGUA (WL)
%  $WL=b_1+b_2.t+b_3.Az+b_4.t^2+b_5.Az^2+b_6.t.Az$ 
X11=ones(n,1);
X12=(t);
X13=(Az);
X14=(t.^2);
X15=(Az.^2);
X16=(Az.*t);
X1=[X11,X12,X13,X14,X15,X16];
[b1,bint1,R1,Rint1,stat1]=regress((WL),X1,0.05);
% MODELO POLINOMIAL PARA LA GANANCIA DE SOLIDOS (SG)
%  $WL=b_1+b_2.t+b_3.Az+b_4.t^2+b_5.Az^2+b_6.t.Az$ 
X21=ones(n,1);
X22=(t);
X23=(Az);
X24=(t.^2);
X25=(Az.^2);
X26=(Az.*t);
X2=[X21,X22,X23,X24,X25,X26];
[b2,bint2,R2,Rint2,stat2]=regress((SG),X2,0.05);
%MODELO POLINOMIAL PARA LA REDUCCION DE PESO (WR)
%  $WL=b_1+b_2.t+b_3.Az+b_4.t^2+b_5.Az^2+b_6.t.Az$ 
X31=ones(n,1);
X32=(t);
X33=(Az);
X34=(t.^2);
X35=(Az.^2);
```

```

X36=(Az.*t);
X3=[X31,X32,X33,X34,X35,X36];
[b3,bint3,R3,Rint3,stat3]=regress((WR),X3,0.05);
%RESULTADOS REGRESION
b1%Coeficientes Modelo WL
R2_WL=stat1(1)%Coeficiente de Correlacion
p_value=stat1(3)
b2%Coeficientes Modelo SG
R2_SG=stat2(1)%Coeficiente de Correlacion
p_value=stat2(3)
b3%Coeficientes Modelo WR
R2_WR=stat3(1)%Coeficiente de Correlacion
p_value=stat3(3)
%Superficies de Respuesta factores: cloruro de sodio-tiempo
[t1,Az1]=meshgrid(min(t):(max(t)-min(t))/20:max(t),...
min(Az):(max(Az)-min(Az))/20:max(Az));
WLpre=b1(1)+b1(2)*t1+b1(3)*Az1+b1(4)*t1.^2+b1(5)*Az1.^2+b1(6)*Az1.*t1;
SGpre=b2(1)+b2(2)*t1+b2(3)*Az1+b2(4)*t1.^2+b2(5)*Az1.^2+b2(6)*Az1.*t1;
WRpre=b3(1)+b3(2)*t1+b3(3)*Az1+b3(4)*t1.^2+b3(5)*Az1.^2+b3(6)*Az1.*t1;
figure(1)
surfc(t1,Az1,WLpre)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('ClNa [%]','fontsize',12)
zlabel('WL [%]','fontsize',14)
figure(2)
surfc(t1,Az1,SGpre)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('ClNa [%]','fontsize',12)
zlabel('SG [%]','fontsize',14)
figure(3)
surfc(t1,Az1,WRpre)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('ClNa [%]','fontsize',12)
zlabel('WR [%]','fontsize',14)

% MÉTODO DE LA FUNCIÓN DE DESEABLE
% Restricciones: Maximizar WL, WR and Minimizar SG
TWL=max(WL);
UWL=max(WL);

```

```

LWL=min(WL);
TSG=min(SG);
USG=max(SG);
LSG=min(SG);
TWR=max(WR);
UWR=max(WR);
LWR=min(WR);
r=1;% factor de peso
for i=1:length(Az1)% PARA MAXIMIZAR WL
for j=1:length(t1)
if WLpre(i,j)<LWL
d1(i,j)=0;
elseif WLpre(i,j)>TWL
d1(i,j)=1;
else
d1(i,j)=((WLpre(i,j)-LWL)/(TWL-LWL))^r;
end
end
end
figure(4)
surfc(t1,Az1,d1)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('CINa [%]','fontsize',12)
zlabel('d WL','fontsize',14)
for i=1:length(Az1)% PARA MINIMIZAR SG
for j=1:length(t1)
if SGpre(i,j)<TSG
d2(i,j)=1;
elseif SGpre(i,j)>USG
d2(i,j)=0;
else
d2(i,j)=((USG-SGpre(i,j))/(USG-TSG))^r;
end
end
end
figure(5)
surfc(t1,Az1,d2)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('CINa [%]','fontsize',12)
zlabel('d SG','fontsize',14)
for i=1:length(Az1)% PARA MAXIMIZAR WR
for j=1:length(t1)

```

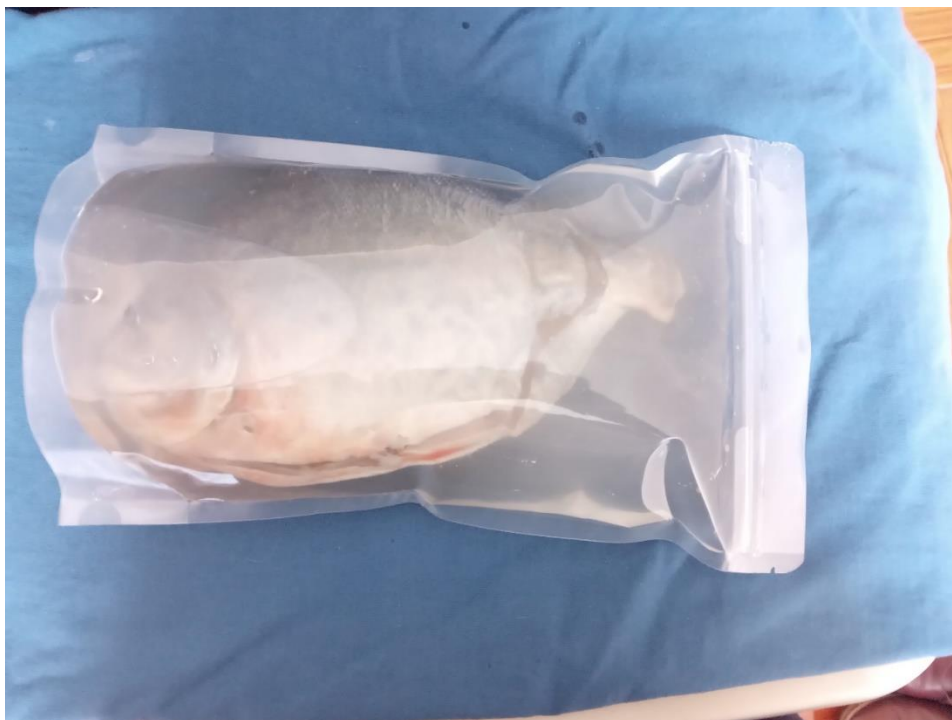
```

if WRpre(i,j)<LWR
d3(i,j)=0;
elseif WRpre(i,j)>TWR
d3(i,j)=1;
else
d3(i,j)=((WRpre(i,j)-LWR)/(TWR-LWR))^r;
end
end
end
figure(6)
surfc(t1,Az1,d3)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('CINa [%]','fontsize',12)
zlabel('d WR','fontsize',14)
('Factor de Importancia')
v=[3 1 3]% factor importante
for i=1:length(Az1)% Deseabilidad total
for j=1:length(t1)
D(i,j)=(d1(i,j)^v(1)*d2(i,j)^v(2)*d3(i,j)^v(3))^(1/sum(v));
end
end
figure(7)
surfc(t1,Az1,D)
title('Pacu')
% interpretación de sombreado
colorbar
xlabel('Tiempo [h]','fontsize',12)
ylabel('CINa [%]','fontsize',12)
zlabel('Función total de deseabilidad','fontsize',12)
colormap winter
%Maximo Valor de función deseabilidad
[Valuemax,II]=max(D);
[Dmax,J]=max(Valuemax);
I=II(J);
%Muestra los resultados en pantalla (Workspace)
display('D máximo Pacu'),Dmax
display('Posicion FILA I - COLUMNA J'),[I,J]
display('Optimal Tiempo'),t1(1,J)
display('Optimal Concentracion'),Az1(I,1)
display('Optimal WL'),WLpre(I,J)
display('Optimal SG'),SGpre(I,J)
display('Optimal WR'),WRpre(I,J)
% Fin del programa

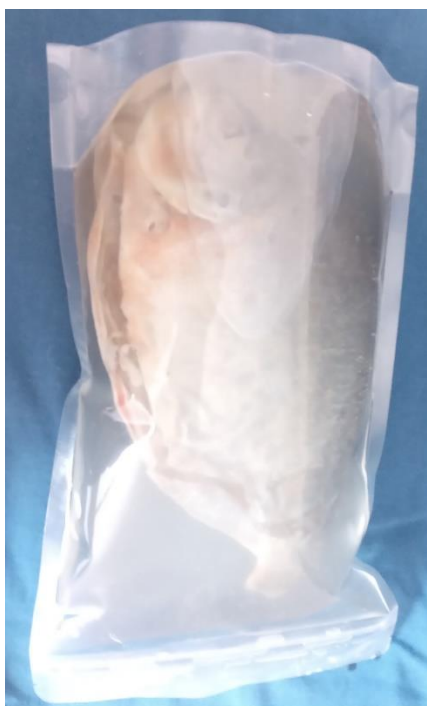
```

ANEXO 7. Cambios en almacenamiento

Comportamiento de los peces en pila húmeda al tiempo cero.



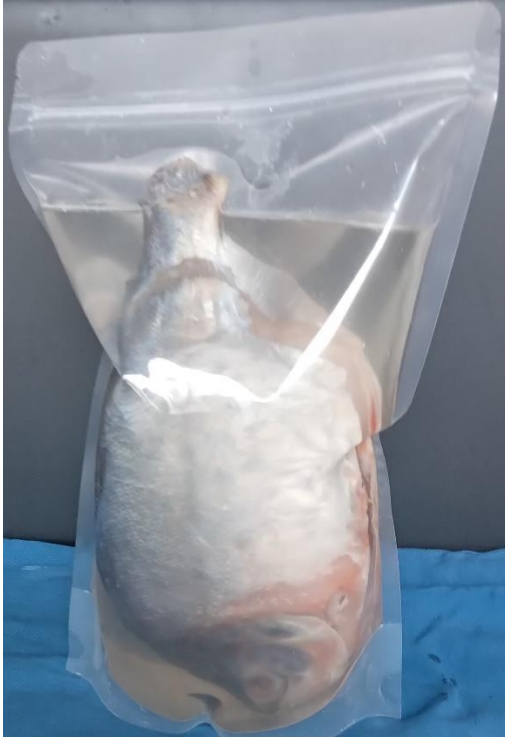
Comportamiento de los peces en pila húmeda al tiempo 2 meses.



Comportamiento de los peces en pila húmeda al tiempo de 3 meses.



Comportamiento de los peces en pila húmeda al tiempo de 4 meses



ANEXO 8: Algunas imágenes de trabajo





ANEXO 9: Proceso de deshidratado optimizado

Al tratamiento o experimento optimizado se realizó el proceso de deshidratación en pila húmeda y envasado en salmuera concentrada, siguiendo el procedimiento de la Figura 20, como:

1. Materia Prima

Las materias primas utilizadas en el Perú para el procesamiento de los productos salados son de dos tipos: grasas y magras. Las especies grasas son principalmente: caballa, jurel, sardina, bonito, lisa, anchoveta para anchoa, entre otras, siendo los productos resultantes los denominados propiamente salados húmedos. Las especies magras de mayor uso son los tiburones (azul, diamante, martillo, zorro, tollos) y la merluza, las cuales son siempre relacionadas con la elaboración de productos salados - secos denominados tipo “bacalao”.

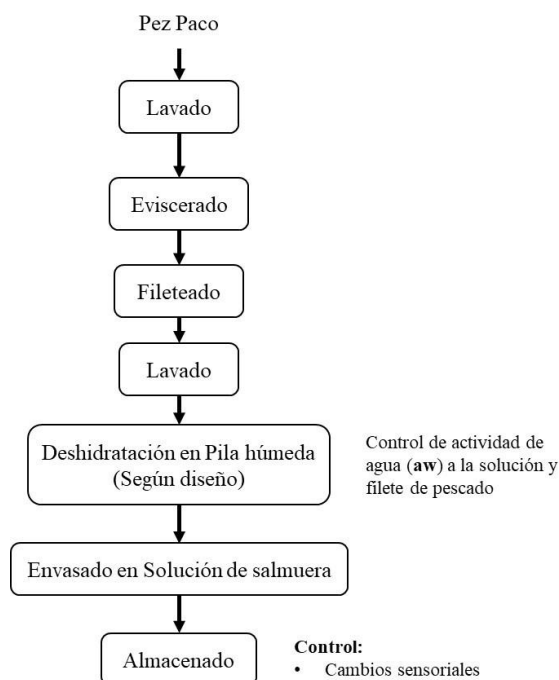


Figura 23. Flujo de proceso del tratamiento optimizado de deshidratado en pila húmeda del pacu y envasado en salmuera.

2. Pre-tratamiento

Las operaciones que forman parte del pre-tratamiento de la materia prima son el descamado, descabezado y eviscerado, las cuales son efectuadas manualmente. El descamado es importante en algunas especies y se efectúa con la ayuda de un instrumento diseñado para este propósito, el cual es operado en sentido contrario a la orientación de la escama. Esta operación se realiza acompañada de abundante agua para facilitar su eliminación y así evitar la adherencia de esta a la parte muscular del pescado. Es necesario recordar que la presencia de escamas en el pescado salado representa un factor negativo para la calificación general de este producto. La materia prima descamada puede ser cortada bajo diversos estilos dependiendo del tipo de pescado y su presentación usual en el mercado.

3. El salado en pila húmeda

El salado en pila húmeda es similar al de pila seca, con la excepción de que el pescado es colocado sobre un tanque o contenedor y la salmuera natural formada es colectada en el mismo depósito, de manera que en pocas horas llega a cubrir el pescado apilado. El salado en pila húmeda es usado para pescados grasos, tales como caballa, sardina, jurel, entre otros, con la ventaja de que, teniendo a los especímenes inmersos en la salmuera, se evita que el oxígeno atmosférico alcance las grasas y las oxide. Si el proceso de salado fuera lento como consecuencia del procesamiento de especies de pescado grandes y la salmuera natural se formará, por ejemplo, en 1 ó 2 días, podría darse el caso de que las capas superiores se empiecen a descomponer debido a un proceso lento de penetración de la sal a la carne del pescado o que se oxiden por el contacto con el aire cuando no se genera suficiente salmuera natural. En estos casos se deberá considerar el agregado de salmuera artificial para reemplazar la falta de líquido que cubra el pescado apilado en el contenedor.

4. Lavado

Pasado el tiempo de curado, es usual la acumulación de cierta cantidad de sal no disuelta sobre la superficie del pescado que es necesario remover. Esto se logra mediante el lavado por inmersión del pescado salado en agua de mar por algunos segundos. Para tal efecto se utilizan canastillas cribadas, que sean luego útiles para escurrir el agua remanente, dejando listo al producto para las operaciones de envasado o para los procesos de secado, si fuera el caso.

5. Envasado

Estas son el envasado al vacío para consumo individual y el uso de contenedores con salmuera saturada como líquido de cobertura para consumo institucional, tanto para el nivel doméstico como para la exportación.


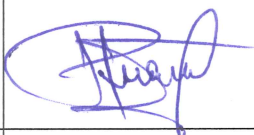

En el caso de envases para consumo individual se recomienda la utilización de bolsas hechas de poliamida (Nylon - ON) y polietileno de baja densidad (LDPE). En esta estructura la capa de poliamida provee la barrera contra el oxígeno y la fuerza de tensión, mientras que el polietileno de baja densidad provee la sellabilidad térmica y una buena barrera contra el vapor de agua (ON/LDPE). El uso de cualquier material plástico sin la barrera y fuerza adecuada acortará considerablemente la vida útil del producto salado.

6. Almacenamiento

El producto envasado es almacenado en lugares frescos, ventilados y bajo sombra, pudiendo alcanzar una vida útil hasta de 4 meses. El tiempo de conservación de este producto puede prolongarse si se almacena en refrigeración.

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros del Jurado Designado para el Acto publico de Sustentación de Tesis cuyo Título es: **“Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles en la deshidratación de *Piaractus brachypomus* por salado en pila húmeda”**. Presentado por el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias: Vanesa Sandy ZAMORA BAUTISTA, el cual fue expuesto el día 14 de febrero del 2023, en merito a la RD N° 022-2023-UNSCH-FIQM/D, damos nuestra conformidad a la tesis mencionada y declaramos al recurrente apto para que pueda iniciar las gestiones administrativas conducentes a la expedición y entrega de titulo profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

MIEMBRO DEL JURADO	DNI	FIRMA
Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA	32904120	
Mg. Percy segundo HUAUYA PABLO	40870986	
Mg. Wiler Hugo DE LA CRUZ QUISPE	28243812	



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, la Srta. Vanesa Sandy ZAMORA BAUTISTA, egresada de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Ing. Alberto Luis Huamaní Huamaní, la Tesis: *“Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles en la deshidratación Piaractus brachypomus por salado en pila húmeda”*; y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 23% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha marzo 09 de 2023 e Identificador de la Entrega N° 2033537487.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, marzo 09 de 2023.



Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia
E.P. Ingeniería Industrias Alimentarias



Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI
DIRECTOR

c.c. : Archivo digital.
Constancia N° 064



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Vanesa Sandy Zamora Bautista
Título del ejercicio: Con depósito
Título de la entrega: Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida ...
Nombre del archivo: TESIS_VANESA_2023_CORREGIDO.pdf
Tamaño del archivo: 2.3M
Total páginas: 118
Total de palabras: 20,112
Total de caracteres: 108,159
Fecha de entrega: 09-mar.-2023 09:54p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2033537487

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TESIS

Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles en la deshidratación *Piaractus brachyomus* por salado en pila húmeda.

PRESENTADO POR:

Vanesa Sandy ZAMORA BAUTISTA

Para optar el título profesional en:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AYACUCHO-PERÚ
2023

Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles en la deshidratación *Piaractus brachypomus* por salado en pila húmeda

por Vanesa Sandy Zamora Bautista

Fecha de entrega: 09-mar-2023 09:54p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2033537487

Nombre del archivo: TESIS_VANESA_2023_CORREGIDO.pdf (2.3M)

Total de palabras: 20112

Total de caracteres: 108159

Efecto de la concentración de sal y tiempo sobre la pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles en la deshidratación *Piaractus brachypomus* por salado en pila húmeda

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet 6%

2 vsip.info Fuente de Internet 3%

3 repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet 2%

4 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante 2%

5 hdl.handle.net Fuente de Internet 1%

6 sites.google.com Fuente de Internet 1%

7 es.slideshare.net Fuente de Internet 1%

repositorio.unicamp.br

8	Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	ri.conicet.gov.ar Fuente de Internet	<1 %
16	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
17	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %

20 www.tpmequipos.com <1 %
Fuente de Internet

21 literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080 <1 %
Fuente de Internet

22 1library.co <1 %
Fuente de Internet

23 repositorio.untrm.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo