

DISEÑO DEL SISTEMA INDUSTRIAL PARA LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE BARRERAS EN EL PROCESAMIENTO DE PORCIONES REFRIGERADAS DE DORADO (*Coryphaena hippurus*)

Omar Uvidía Achance¹, Fabiola Cornejo Zambrano²

¹Ingeniero de Alimentos en Procesos Industriales 2005; omarfernando82@hotmail.com

²Directora de Tesis, Ingeniera de Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1999, Postgrado EEUU, Universidad Massachusetts, 2004. Profesora de ESPOL desde 1995., fcornejo@espol.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo analiza la aplicación de Tecnología de Barreras en porciones refrigeradas de Dorado (*Coryphaena hippurus*) DARDEN 6 onzas, con el objetivo de prolongar su tiempo de vida útil y proponer un esquema para llevar dicha tecnología a la Industria.

El proceso redujo de una manera mínima la actividad de agua y el pH del alimento para originar un ambiente de estrés que afectó el crecimiento microbiano. Deshidratación osmótica y acidificación de solución osmótica (20% sal, 20% azúcar y 1% ácido Acético) fueron aplicados, variando el tiempo de proceso (5 y 7.5 min.) y manteniendo constante la temperatura (0°C). El estudio de estabilidad se realizó a la temperatura de comercialización del producto en fresco ($T^{\circ} < 4^{\circ}\text{C}$); se utilizó como indicadores la evaluación sensorial, crecimiento microbiano y formación de histamina.

Los resultados demuestran que se incrementó el tiempo de almacenamiento de porciones refrigeradas de Dorado en un 150%, reteniendo el sabor y demás características sensoriales lo más posible al producto natural. Las condiciones a las que se logró tal estabilidad fueron: actividad de agua 0.987, pH 6.1, 0.266% de ácido acético y 1% de sal en fase acuosa.

ABSTRACT

The present study analyses the application of Hurdle Technology on fresh portions of Dorado (*Coryphaena hippurus*) DARDEN 6 ounces with the objective to prolong the shelf life of food and propose an Industrial Diagram.

This Technology reduced water activity and pH of food to originate a stress ambient that impacted on microbial growth. Osmotic dehydration and acidification of osmotic solution (20% salt, 20% sugar and 1% acetic acid) were applied, varying the time of process (5 and 7.5 min) and maintaining constant the temperature (0°C). Sensory evaluation, microbial growth and histamine formation were indicators to study the food stability. The storage temperature was between 0 and 4°C.

The results revealed that hurdle technology increase the shelf life of refrigerated portions in 150%, retaining as much freshness in taste and other sensory properties as possible. The parameters of new product were: water activity 0.987, pH 6.1, 0.266% acetic acid and 1% salt in watery phase.

1. INTRODUCCIÓN

El mundo competitivo en el que están inmersas las empresas exportadoras de pesca blanca exige la diversificación de sus líneas de producción, provocando que no sólo se basen en el empaquetado de pesca fresca y congelada, sino que elaboren productos con valor agregado; como aquellos que poseen un mayor tiempo de vida en percha conservando sus características nutricionales y organolépticas lo más parecidas a las características naturales del alimento.

El presente trabajo propone aplicar Tecnología de Barreras en el procesamiento de porciones refrigeradas de Dorado (*Coryphaena hippurus*), enfocado a una producción de 1500 libras por día de temporada, con el objetivo principal de prolongar el tiempo de vida útil de las porciones tipo DARDEN 6 onzas, reduciendo de una manera mínima su actividad de agua (a_w) y pH, por medio del proceso de deshidratación osmótica que incluye acidificación de la solución.

Para verificar la eficacia del proceso, una vez aplicada las barreras sobre las porciones frescas, se procedió a realizar el estudio de estabilidad a la temperatura de comercialización ($T^\circ < 4^\circ\text{C}$), tanto en las porciones frescas como en las experimentales; se utilizaron como indicadores de vida útil la caracterización sensorial, el crecimiento microbiológico y la concentración de histamina.

Una vez comprobado que el método de conservación fue efectivo y por tratarse de un producto de interés comercial, se procedió a diseñar un esquema industrial, que emplee los mismos parámetros de proceso, dados a escala de laboratorio y que permita manejar una producción real y continua de producto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materia Prima

Las porciones se adquirieron de la Empresa Exportadora de Pesca Blanca llamada Ocean Fish S.A. Dichas porciones fueron frescas, sin haber pasado por el proceso de congelamiento. Existen diferentes tipos de porciones para la comercialización de pesca fresca, pero la más comercializada en Dorado es la del tipo DARDEN de 6 onzas, cuyas características se detallan en la tabla 1.

**TABLA I.
PESOS Y DIMENSIONES DE PORCIONES**

| Pesos y Dimensiones | Rango* |
|----------------------------|---------------|
| Peso (onzas) | 5.5 – 6.7 |
| Largo (cm) | 14.2 – 15.2 |
| Ancho (cm) | 5.1 – 6.3 |
| Espesor (cm) | 2.2 – 3.2 |

La sacarosa (azúcar comercial) y cloruro de sodio (sal común) se obtuvieron de los supermercados de la ciudad de Guayaquil, mientras que el ácido acético (grado alimenticio) fue donado por el Programa de Tecnología de Alimentos de la ESPOL.

2.2. Proceso de aplicación de barreras

Las barreras fueron aplicadas por medio del proceso de impregnación y deshidratación por remojo (PIDR), que consiste en sumergir el producto dentro una solución osmótica (hipertónica) formada por agua, sal, azúcar y ácido acético. Con el PIDR se da al mismo tiempo el fenómeno de Deshidratación Osmótica (D.O.) y la acidificación del producto. Para este estudio se tomó como referencia los experimentos realizados por la ESPOL en deshidratación osmótica de trozos de Tilapia Roja (2), donde la composición ideal de la solución osmótica (S.O.) para productos pesqueros fue: 20% sal, 20% azúcar y 1% ácido acético. Los porcentajes fueron con respecto al peso total de la solución y la relación solución - producto fue de 4:1. La temperatura a la que se realizó el proceso fue de $1\pm 1^\circ\text{C}$, debido a que no se puede romper la cadena de frío, exigida por normas internacionales para productos de pesca fresca (3). Las porciones frescas y aquellas sometidas al proceso de barreras, fueron

almacenadas bajo refrigeración ($T < 4^{\circ}\text{C}$) y empacadas en caja de cartón parafinado con aislamiento de poliestireno, envolturas de polietileno, con paquetes de gel congelado.

En resumen, las barreras aplicadas son tres: reducción de actividad de agua (a_w), pH y temperatura de refrigeración.

2.3. Cálculos realizados

2.3.1. Pérdida de agua y ganancia de sólidos

Durante el proceso de D.O. se midió la pérdida de agua y ganancia de sólidos, teniendo como tiempo total de experimentación 30 min. Para las determinaciones de humedad (cada 5 min.) se siguió la técnica AOAC 24003. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

(Ec. 2.1.)

$$\Delta M_w^t = (M_0^t x_w^t - M_0^0 x_w^0) / M_0^0$$

(Ec. 2.2.)

$$\Delta M_{ss}^t = (M_0^t x_{ss}^t - M_0^0 x_{ss}^0) / M_0^0$$

Donde:

ΔM_w^t : Fracción Pérdida de agua (g de H_2O /g de producto)

ΔM_{ss}^t : Fracción Ganancia de Sólidos (g de sólidos/g de producto)

M_0^t : Masa muestra al tiempo t (g.)

M_0^0 : Masa muestra al tiempo 0 (g.)

x_w^t : Fracción de masa agua al tiempo t (g de H_2O /g de muestra húmeda)

x_w^0 : Fracción de masa agua al tiempo 0 (g de H_2O /g de muestra húmeda)

x_{ss}^t : Fracción Sólidos Solubles al tiempo t. (g de sólidos/g de muestra húmeda)

x_{ss}^0 : Fracción Sólidos Solubles al tiempo 0 (g de sólidos/g de muestra húmeda)

2.3.2. Actividad de agua (a_w)

Se utilizó la ecuación empírica de Grover para determinar el valor de a_w en porciones frescas y experimentales, así como en la Solución Osmótica (4).

(Ec. 2.3.)

$$a_w * 100 = 104 - 10E^{\circ} + 0.45(E^{\circ})^2$$

Donde:

a_w : Actividad de agua

E_i : Constante de Grover con respecto a cada componente (24)

m_i : g. Agua / g. sólido

$$E^\circ = \sum \frac{E_i}{m_i}$$

2.3.3. Cloruros

Para determinar el porcentaje de Cloruros (% NaCl) y porcentaje de sal en fase acuosa (% penetración) en cada una de las porciones experimentales, se utilizó la medición de Cloruros con el método Volumétrico, norma NTE INEN 51.

(Ec. 2.4.)

$$\% \text{ Sal en fase Acuosa} = \frac{\% \text{ Sal}}{\% \text{ Sal} + \% \text{ Agua}} * 100$$

2.3.4. Acidez

Para determinar la Acidez (porcentaje de ácido Acético) en la S.O. y en cada una de las porciones experimentales, se utilizó la medición de acidez con el método de acidez titulable, norma AOAC 17th 925.53.

2.4. Estudio de Estabilidad

Para verificar la efectividad del proceso se utilizó los siguientes indicadores de vida en percha: caracterización sensorial, crecimiento microbiológico y formación de histamina. Dichos indicadores fueron aplicados durante el almacenamiento refrigerado de porciones frescas y experimentales.

Para las pruebas sensoriales se empleó el método de medición del índice de calidad (MIC). Este método, desarrollado en Tasmania y que actualmente se utiliza en varios países europeos, se basa en los parámetros sensoriales significativos del pescado crudo y un sistema de puntuación por deméritos del 0 al 4 (5, 6). El indicador microbiológico se basó en la observación del crecimiento de Aerobios y coliformes totales. Las pruebas se basaron en los métodos ICMSF (Comisión Internacional de Especificaciones Microbiológicas para Alimentos). El método utilizado para medir la concentración (ppm) de histamina fue el de Fluorimetría. Norma AOAC 977.13.

2.5. Caracterización de Solución Osmótica

Las pruebas de estabilidad se realizaron por duplicado utilizando la misma solución osmótica (S.O.). Una vez transcurrido los primeros cinco minutos entre la S.O. y las porciones experimentales (ciclo1), se procedió a realizar el primer registro de las características físico – químicas (a_w , pH, acidez, % sólidos solubles) en la solución, luego de esto, se experimentó con el ciclo 2, al final se registró nuevamente las características.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Pérdida de agua y ganancia de sólidos

La figura 1 ilustra la pérdida de agua y ganancia de sólidos. Se observa que en los cinco primeros minutos, ocurre la mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos en porciones refrigeradas de Dorado. El periodo de 5 a 10 min., se puede considerar como un período de transición, debido a que empieza a reducirse la velocidad de pérdida de agua y ganancia de sólidos. Después de los 10 min. la disminución del contenido de agua no presenta diferencia significativa.

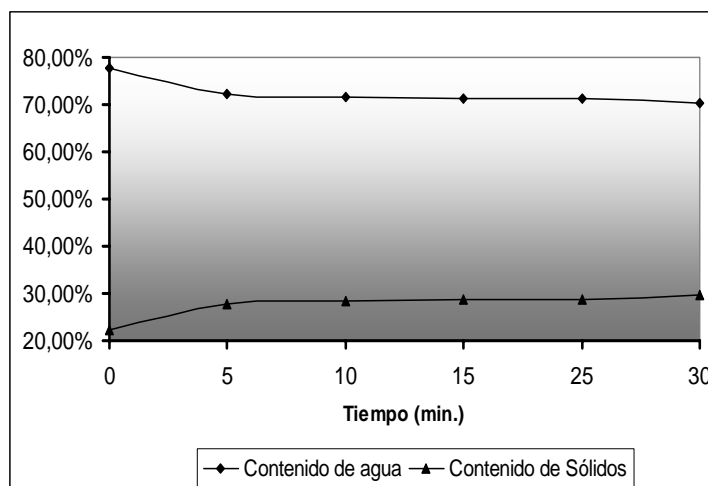


Figura 1. Contenido de agua y sólidos solubles en porciones refrigeradas de Dorado Darden 6 onzas, sometidas a D.O.

La fuerza motriz (gradiente de concentración) decrece mientras el proceso continúa, no solamente debido a un incremento de concentración de solutos en la porción, sino también como una consecuencia de la dilución de la S.O. por migración de agua. Por lo tanto, no es justificable extender el período de D.O. más allá de diez minutos, ya que la reducción de humedad no es significativa después de ese tiempo. Adicionalmente, dentro de los diez primeros minutos la fracción de ganancia de sólidos es menor a la ocurrida a los treinta minutos.

Teniendo en cuenta que dentro de los 10 min., los 5 primeros minutos presentaron una mayor velocidad de pérdida de agua, se decidió determinar los parámetros físicos (a_w , acidez (% de ácido acético), pH y Cloruros) a 5 y 7.5 min.

3.2. Características físico-químicas

La tabla 2 muestra las características físico-químicas de las porciones de Dorado. Las porciones sometidas a los dos tiempos experimentales de proceso, caen en el rango de "alimentos de alta humedad" (7). En los alimentos de alta humedad las características originales de textura y sabor se conservan mejor que en los de humedad intermedia (a_w : 0.6 - 0.9) (7).

TABLA II.
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EN
PORCIONES DE DORADO

| Características físico-químicas | Tiempo de tratamiento (min.) | | |
|---------------------------------|------------------------------|--------|--------|
| | 0 | 5 | 7.5 |
| Actividad de agua (a_w) | 0.999 | 0.987 | 0.980 |
| Acidez (% ácido Acético) | 0% | 0.266% | 0.469% |
| pH | 6.652 | 6.1 | 5.9 |
| Cloruros (% NaCl) | 0.165% | 0.739% | 1.177% |
| Sal en fase acuosa (%) | 0.212% | 1.012% | 1.615% |

Tomando en cuenta que al reducir la actividad de agua de productos altamente perecederos se obtiene gran efecto en la estabilidad con pequeñas variaciones, esta mínima disminución de a_w va intensificar su actividad antimicrobiana cuando se apliquen de una manera inteligente los demás parámetros u obstáculos que participan en la conservación de los alimentos.

Al bajar el pH de 6.652 a 6.1 o 5.9, en ambos escenarios, surge el aumento de la actividad de agua limitante para el crecimiento de las bacterias; como por ejemplo: la a_w mínima, bajo condiciones óptimas, para *Pseudomona fluorescens* es de 0.97 (8), pero al disminuir el pH, la a_w mínima tiende a subir, volviéndose el m.o. más susceptible a procesos de disminución de a_w , ventaja que surge en la conservación de alimentos por métodos combinados.

Al conocer el porcentaje de penetración de sal en porciones experimentales se puede concluir que la D.O. de porciones refrigeradas de Dorado es similar a un método suave de salado que provoca la reducción de la a_w (1era. Barrera). A diferencia de la sencilla extracción, como ocurre en la deshidratación convencional, la D.O. consigue la disminución de a_w aumentando la concentración de solutos en el producto.

3.3. Estudio de Estabilidad en percha

3.3.1. Prueba de degustación

La porción sometida a 7.5 min. de proceso no llego a satisfacer las expectativas de los catadores con respecto a la prueba de degustación. Dicha porción presento un sabor salado que lo aleja demasiado del sabor natural del Dorado fresco. Mientras que la porción sometida a 5 min. de D.O. presento un sabor salado agradable para el panel de catadores.

Con la finalidad de llevar Tecnología de Barreras a la Industria, se decidió verificar si la técnica es efectiva para prolongar la vida en percha en porciones de interés comercial (5 minutos de proceso).

3.3.2. Análisis Sensorial

En la figura 2 se observa que las porciones con tratamiento poseen un tiempo de deterioro menos intenso en comparación con el tiempo de las porciones sin tratamiento. Este comportamiento, se verifica con el de las curvas, donde la puntuación de siete, que fue el valor que indico que las características sensoriales de las porciones frescas son inaceptables, ya no se origina en 5 días, sino que al aplicar tecnología de barreras en porciones refrigeradas, el valor de siete surgió entre los días 10 y 11.

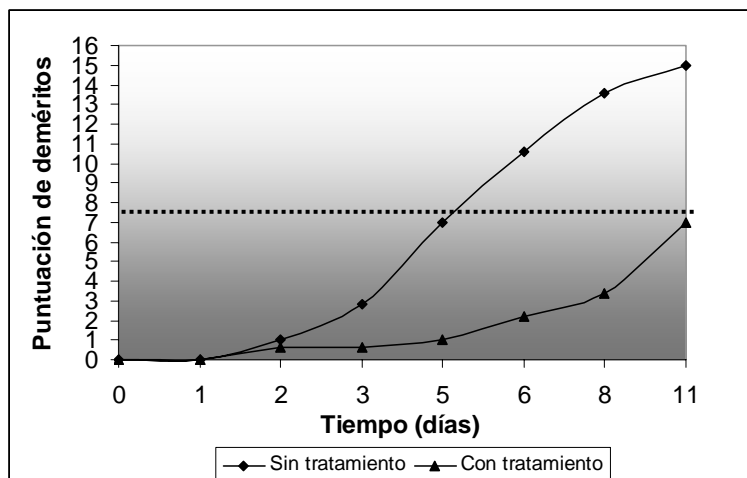


Figura 2. Cambios sensoriales por deterioro. Porciones con y sin tratamiento

3.3.3. Crecimiento Microbiológico

Como se puede observar en la figura 3, la curva de porciones experimentales muestra que los niveles de microorganismos se mantuvieron por debajo de los niveles aceptados por la FDA (línea punteada) durante todo el tiempo duro el estudio de estabilidad en percha.

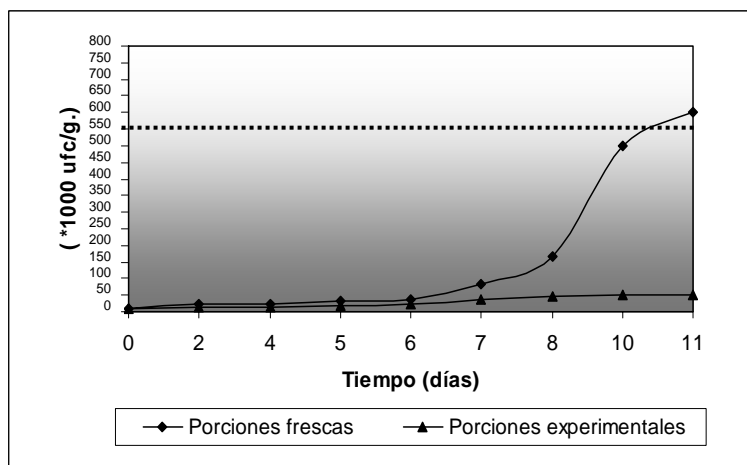


Figura 3. Crecimiento de aerobios totales en porciones frescas y experimentales

Se puede evidenciar que la etapa de crecimiento logarítmico para Aerobios totales, en porciones frescas, inicia entre los días cinco y seis; comportamiento que no se da en el caso de porciones experimentales, ya que no se logro observar una plena etapa de crecimiento dentro de los once días de almacenamiento. Teniendo como referencia el principio de Tecnología de Barreras, aplicando reducción de a_w (0.999 a 0.987) y pH (6.652 a 6.1), sumándose a esto un porcentaje de ácido Acético no disociado de 0.014% y la presencia de 1% de sal en fase acuosa, se pudo observar un efecto sinérgico para la prolongación de la fase de latencia de los microorganismos de deterioro, aspecto que se traduce con la prolongación de vida en percha de las porciones experimentales.

3.3.4. Formación de Histamina

La figura 4 muestra datos desde el cuarto día de almacenamiento (fin de vida útil de porciones frescas; 17.6 ppm).

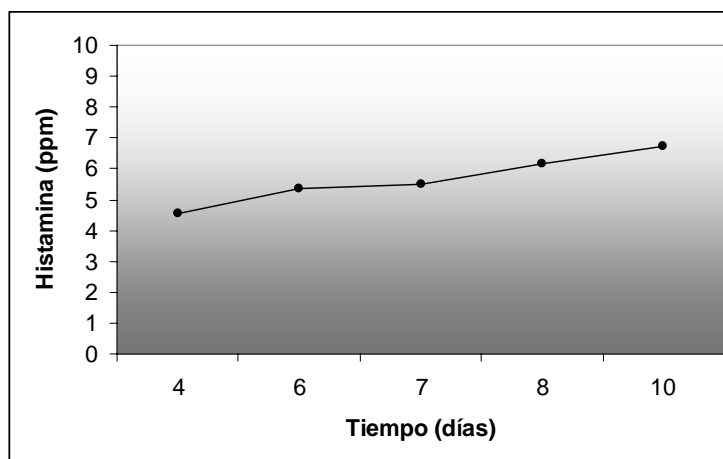


Figura 4. Concentración de histamina en porciones experimentales

Se puede visualizar que los niveles de Histamina en porciones experimentales se mantienen en un rango de 4 a 7 ppm. Se pudo observar que la velocidad de formación de Histamina es menor en las porciones experimentales con respecto a la ocurrida en porciones frescas.

3.4. Características físico-químicas de Solución Osmótica

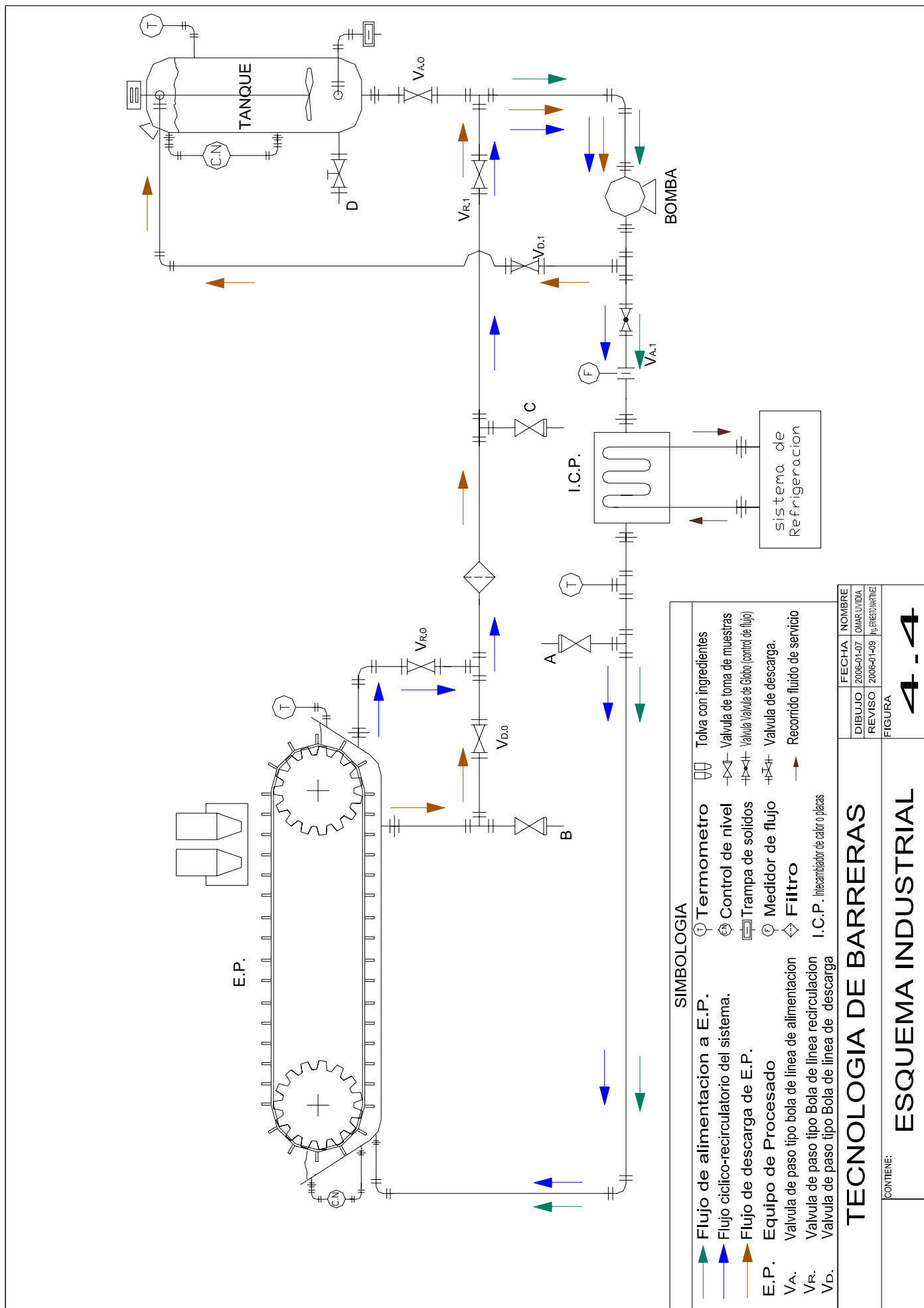
En la tabla 3, se detalla la información obtenida en dos ciclos consecutivos, utilizando la misma S.O. Una vez realizado los dos ciclos, se procedió hacer el análisis de estabilidad para las porciones experimentales; el cuál arrojó resultados que indicó la factibilidad de utilizar en dos ciclos consecutivos la misma S.O., siempre y cuando, se mantenga la relación en peso: S.O. - producto (4:1).

Tabla III.
VALORES PROMEDIOS PARA SOLUCIÓN OSMÓTICA

| Características físico-químicas S.O. | Ciclo # | | |
|--------------------------------------|---------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 |
| pH | 3,0 | 3,16 | 3,305 |
| Acidez (% ác.Acético) | 1,054% | 1,036% | 1,019% |
| Actividad de agua | 0,75 | 0,758 | 0,767 |
| % sólidos Solubles (°Brix) | 41,8% | 41,2% | 40,6% |
| Peso de S.O. (g.) | 691,74 | 682,23 | 672,85 |
| Merma de S.O. (%) | | 1,37% | 1,37% |

Estos valores servirán para establecer los límites de control para la S.O. a un nivel Industrial, ya que son efectivos para prolongar la vida en percha de porciones.

4. ESQUEMA INDUSTRIAL



SIMBOLOGIA

- Flujo de alimentación a E.P.
- Flujo ciclico-recirculatorio del sistema.
- Flujo de descarga de E.P.
- E.P.** Equipo de Procesado
- V_A** Valvula de paso tipo bola de linea de alimentacion
- V_R** Valvula de paso tipo Bola de linea recirculacion
- V_D** Valvula de paso tipo Bola de linea de descarga
- Termometro
- Control de nivel
- Trampa de solidos
- Medidor de flujo
- Filtro
- I.C.P. - Intercambiador de calor o placas
- Tolla con ingredientes
- Valvula de toma de muestras
- Valvula Valvula de Globo (control de flujo)
- Valvula de descarga.
- Recorrido fluido de servicio

| | | | |
|-------------------------------|--|---------|-------------|
| TECNOLOGIA DE BARRERAS | | FECHA | NOMBRE |
| | | DIBUJO | 2006-01-07 |
| | | REVISOR | OMAR LUVIDA |
| | | REVISOR | 2006-01-09 |
| | | FIGURA | 4-4 |

CONTIENE: **ESQUEMA INDUSTRIAL**

Para aplicar Tecnología de Barreras a un nivel Industrial se definió el esquema anterior, con los equipos que permitirán aplicar el proceso de impregnación y deshidratación por remojo (PIDR) sobre un volumen real de producción para porciones refrigeradas de Dorado.

Reutilización de Solución Osmótica

Con respecto a la eficacia que debe tener la S.O. para alcanzar el mismo nivel de deshidratación al nivel industrial, se puede asegurar que esta puede ser exitosamente reciclada por lo menos en 10 ciclos, siempre y cuando se mantenga una proporción: S.O. – producto (4:1) durante el proceso de deshidratación (9).

Para el esquema industrial propuesto se definió un tiempo de reutilización para S.O. de 30 min., tiempo en el cual se espera que las características físico-químicas de la solución estén próximas a las expuestas en la tabla 3. .

5. CONCLUSIONES

1. En Tecnología de Barreras no es necesario alcanzar los valores y concentraciones precisas para inhibir los microorganismos de deterioro, ya que al variar un factor de crecimiento, ya sea pH, a_w , acidez, temperatura, etc; los microorganismos harán uso de su Homeostasis para adaptarse al nuevo medio, provocando que su fase de latencia aumente dando origen a un producto de mayor vida en percha. El tiempo de vida útil de las porciones experimentales es de 10 días, considerando que a partir del día once, los niveles de m.o. en estudio son aceptados, pero este producto presenta características sensoriales alejadas de las características naturales, principalmente con respecto al color.
2. Para tener un proceso de producción aplicando tecnología de barreras, es necesario llevar un monitoreo disciplinado de las características físico-químicas de la solución osmótica para controlar su dilución y estudiar la factibilidad de reciclarla y reutilizarla.

6. REFERENCIAS

1. O. Uvidia, “Diseño del Sistema Industrial para la aplicación de Tecnología de Barreras en el procesamiento de porciones refrigeradas de Dorado (*Coryphaena hippurus*)” (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005).
2. V. Guadalupe, “Estudio de la Aplicación de Tecnología de Barreras en trozos de Tilapia Roja” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004).
3. P. Molina, Coordinación de Procesos y Calidad Total de Pesca Fresca (Manta, Ocean Fish S.A , febrero 2005).
4. T. Labusa, Moisture Sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use (American Association of Cereal Chemists. Minnesota, 1984).
5. H. HUSS, Aseguramiento de la Calidad de los Productos Pesqueros FAO (Documento Técnico de Pesca N° 334. Roma, FAO. 199)..
6. S. Jonsdottir, Quality Issues in the Fish Industry.- Quality index method and TQM system (Editores: R. Olafsson y A.H. Ingthorsson. Oficina de Investigación, Universidad del Iceland).
7. L. LEINSTER y G. GOULD, editors, Hurdle Technologies. Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality (Kluwer Academic/ Plenum Publisher. New York – USA, 2002).
8. ICMSF, Ecología Microbiana de los Alimentos (Editorial Acribia. Zaragoza – España, 1980).
9. GARCÍA, MARTÍNEZ, MONZÓ, CAMACHO, NAVARRETE, editores, Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation, Volumen 35 (Food Research International , pages 307 – 313, 2002).