

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo monográfico:

**“ELABORACIÓN DE CLARA DE HUEVO DESHIDRATADA
PASTEURIZADA”**

Presentado por:

EDWIN DANIEL MUÑOZ SERIN

Lima - Perú

2017

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales del presente trabajo monográfico (Art. 24.
Reglamento de Propiedad Intelectual de la UNALM)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Trabajo Monográfico

“ELABORACIÓN DE CLARA DE HUEVO DESHIDRATADA PASTEURIZADA”

Presentado por:

EDWIN DANIEL MUÑOZ SERIN

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

M.Sc. Walter F. Salas Valerio
PRESIDENTE

Mg.Sc. Fanny Ludeña Urquiza
MIEMBRO

Dra. Ana Aguilar Galvez
MIEMBRO

Ing. Víctor Daniel Delgado Soriano
TUTOR

Lima – Perú

2017

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	2
2.1	EL HUEVO Y LOS OVOPRODUCTOS.....	2
2.2	LA CLARA DE HUEVO.....	5
2.2.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CLARA.....	5
2.2.2	PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA CLARA.....	6
2.3	CASCADO.....	11
2.3.1	MÉTODOS DE CASADO.....	12
2.4	PASTEURIZACIÓN.....	15
2.4.1	PASTEURIZACIÓN EN LÍQUIDO.....	15
2.4.2	PASTEURIZACIÓN SECA.....	17
2.5	DESGLUCOSADO.....	18
2.5.1	MÉTODOS DE DESGLUCOSADO.....	18
2.6	CONCENTRACIÓN.....	19
2.6.1	ULTRAFILTRACIÓN.....	20
2.6.1	OSMOSIS INVERSA.....	21
2.7	DESHIDRATACIÓN.....	22
2.7.1	DESHIDRATACIÓN POR ASPERSIÓN O PULVERIZACIÓN.....	22
III.	DESARROLLO DEL TEMA.....	26
3.1	CASCADO.....	28
3.2	DESGLUCOSADO.....	28
3.3	CONCENTRACIÓN.....	29
3.4	DESHIDRATACIÓN.....	30
3.5	PASTEURIZACIÓN SECA.....	32
IV.	CONCLUSIONES.....	33
V.	RECOMENDACIONES.....	34
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
VII.	ANEXOS.....	39

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición aproximada del huevo entero, cáscara, clara y yema.....	3
Cuadro 2: Ventajas y desventajas del secado por aspersión.....	24
Cuadro 3: Ventajas y desventajas de los atomizadores de disco y boquilla de presión.....	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Corte transversal del huevo y sus partes.....	3
Figura 2: Ovoproductos en estado líquido y deshidratado.....	4
Figura 3: Productos cárnicos a base de clara con propiedades de formación de gel.....	8
Figura 4: Merengue elaborado a base de clara con propiedad de formación de espuma...11	
Figura 5: Separación mecánica de yema, clara y cáscara.....	12
Figura 6: Diagrama del proceso de separación de yema y clara utilizando platos.....	13
Figura 7: Cascadora mecanizada OPTIBREAKER.....	14
Figura 8: Sistema de detección de yema en clara ALBUHECKER.....	14
Figura 9: Requerimiento de pasteurización de ovoproductos por el FDA.....	15
Figura 10: Pasteurizador de placas.....	16
Figura 11: <i>Hot Room</i> utilizado para la pasteurización seca de clara.....	17
Figura 12: Estación de concentración por ultrafiltración UF.....	20
Figura 13: Secado por aspersion utilizando un atomizador de disco.....	23
Figura 14: Esquema de un <i>spray dryer</i>	23
Figura 15. Flujo de operaciones para la obtención de clara deshidratada pasteurizada.....	27

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PRESENTACIÓN EN CAJA DE CLARA DESHIDRATADA.....	39
ANEXO 2: ESQUEMA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE CLARA DESHIDRATADA PASTEURIZADA UTILIZANDO UN DESHIDRATADOR HORIZONTAL.....	40
ANEXO 3: PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE ALGUNOS MATERIALES SECADOS POR ATOMIZACIÓN.....	41
ANEXO 4: ESQUEMA DE UN DESHIDRATADOR HORIZONTAL.....	42

RESUMEN

La clara deshidratada es valorada principalmente por sus propiedades de formación de gel y formación de espuma. En este trabajo se describió las operaciones involucradas en el proceso de obtención de clara de huevo deshidratada pasteurizada, se mencionó los principales factores que afectan sus propiedades funcionales. En la etapa de evaluación de materia prima, se determinó que mientras más baja es la frescura del huevo, las propiedades de formación de espuma son menores, luego en la operación de cascado se obtuvo cáscara, yema y clara, en esta etapa se determinó que los niveles altos de contaminación de yema en clara disminuyen las propiedades de formación de espuma. La operación de desglucosado eliminó la glucosa presente en la clara, previniendo la reacción de Maillard, se determinó que el desglucosado no tuvo efecto significativo en las propiedades funcionales. La clara desglucosada fue sometida a un proceso de concentración por ultrafiltración, con esto se logró disminuir el contenido de agua hasta en un 50 por ciento, logrando ahorros significativos en la deshidratación, en esta etapa se determinó que sí hubo efectos positivos sobre la propiedad de formación de gel y efectos negativos sobre las propiedades de formación de espuma. El proceso de deshidratación se realizó por aspersion, logrando obtener una humedad entre 6 y 8 por ciento, encontrando que esta etapa no afecta significativamente las propiedades funcionales. El proceso de pasteurización en seco tuvo la finalidad de disminuir la carga microbiana y a la vez incrementar las propiedades funcionales, en esta etapa se obtuvo un incremento de la propiedad de formación de gel hasta en seis veces, y de formación de espuma hasta en dos veces.

Palabras clave: clara deshidratada, alto batido, alto gel, ovoproductos

ABSTRACT

The dehydrated egg white is prized mainly for its gel formation and foaming properties. This work described the operations involved in the process of obtaining pasteurized dehydrated egg white, mentioned the main factors affecting its functional properties, in the stage of raw material evaluation, it was determined that the lower freshness of the egg, the foam formation properties were lower, then in the breaking operation egg shell, egg yolk and egg white were obtained, it was determined that high levels yolk contamination in egg white decreased the foaming properties. the desugaring operation eliminated glucose present in the egg white, preventing the Maillard reaction, it was determined that the desugaring had no significant effect on the functional properties. desugared liquid egg white was concentrated by ultrafiltration process, with this it was possible to reduce the water content by up to 50 percent, achieving significant savings in dehydration costs, at this stage it was determined that if there were positive effects on the property of gel formation and negative effects on the foaming properties; the following process was the dehydration, which was carried out by spraying, obtaining a moisture between 6 and 8 percent, finding that the dehydration process does not affect significantly the functional properties. finally, the process of dry pasteurization, which had the purpose of reducing the microbial load and at the same time increasing the functional properties, therefore an increase of gel formation was obtained up to six times, and foam formation up to two times.

Keywords: dehydrated egg white, high whip, high gel, egg products

I. INTRODUCCIÓN

Los huevos de especies de aves han sido reconocidos como una excelente fuente de nutrientes para los seres humanos. El huevo está compuesto principalmente por yema, clara y cáscara (Mine, 2008). Los productos obtenidos a partir del huevo se conocen como ovoproductos. El Instituto de Estudio del Huevo (2009) define a los ovoproductos como: “Son huevos enteros, claras o yemas que han sido transformados mediante un proceso industrial, para ser utilizados como ingredientes de otros alimentos”, en este contexto podemos decir que la clara deshidratada pasteurizada es un ovoproducto.

La clara de huevo se utiliza ampliamente en la industria de alimentos, principalmente por sus propiedades funcionales de formación de espuma y formación de gel (gelificación). Muchos estudios se han dedicado a analizar con mayor detalle los mecanismos moleculares involucrados en sus propiedades funcionales (Wu, 2014). Se comercializan principalmente en forma deshidratada, siendo así las exportaciones del Perú entre los años 2012 - 2017, en promedio de 1845 toneladas de clara deshidratada (ADUANAS, 2017) de los cuales el 82 por ciento tuvieron propiedades funcionales y el 18 por ciento restante se vendió como fuente proteica que no requería propiedades funcionales.

El método más utilizado para deshidratar clara de huevo es el secado por aspersion, el cual puede considerarse como la tecnología más adecuada y de menor costo para la producción de ovoproductos deshidratados (Wu, 2014).

Este trabajo se realizó con el objetivo detallar las operaciones involucradas en el proceso de obtención de clara deshidratada pasteurizada, resaltando en cada etapa los principales factores que afectan las propiedades funcionales de formación de espuma y formación de gel.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL HUEVO Y LOS OVOPRODUCTOS

El Perú ha incrementado la producción de huevos en 6 por ciento anual, desde los años 2000 al 2013. En el año 2015 existió una población de 16 millones de gallinas ponedoras en el Perú y el consumo per cápita aumentó de 114 a 198 huevos/persona/año (Ruiz, 2015).

Según el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española (2017) el huevo es un "cuerpo redondeado, de tamaño y dureza variable, que producen las hembras de las aves o de otras especies animales, y que contiene el germen del embrión y las sustancias destinadas a su nutrición durante la incubación". En lenguaje corriente, se aplica al de gallina, especialmente destinado a la alimentación humana.

En la Figura 1 se puede apreciar el corte transversal del huevo entero, a simple vista, el corte transversal permite diferenciar nítidamente las partes fundamentales de su estructura: la cáscara, la clara o albumen y la yema, separadas entre sí por medio de membranas que mantienen su integridad. El peso medio del huevo está en torno a los 60 g, de los cuales aproximadamente la clara representa el 60 por ciento, la yema el 30 por ciento y la cáscara, junto a las membranas, el 10 por ciento del total (Instituto de Estudios del Huevo, 2009).

La clara de huevo está compuesta principalmente por agua y proteínas. En el Cuadro 1 se puede apreciar con mayor detalle la composición del huevo entero, clara y yema.

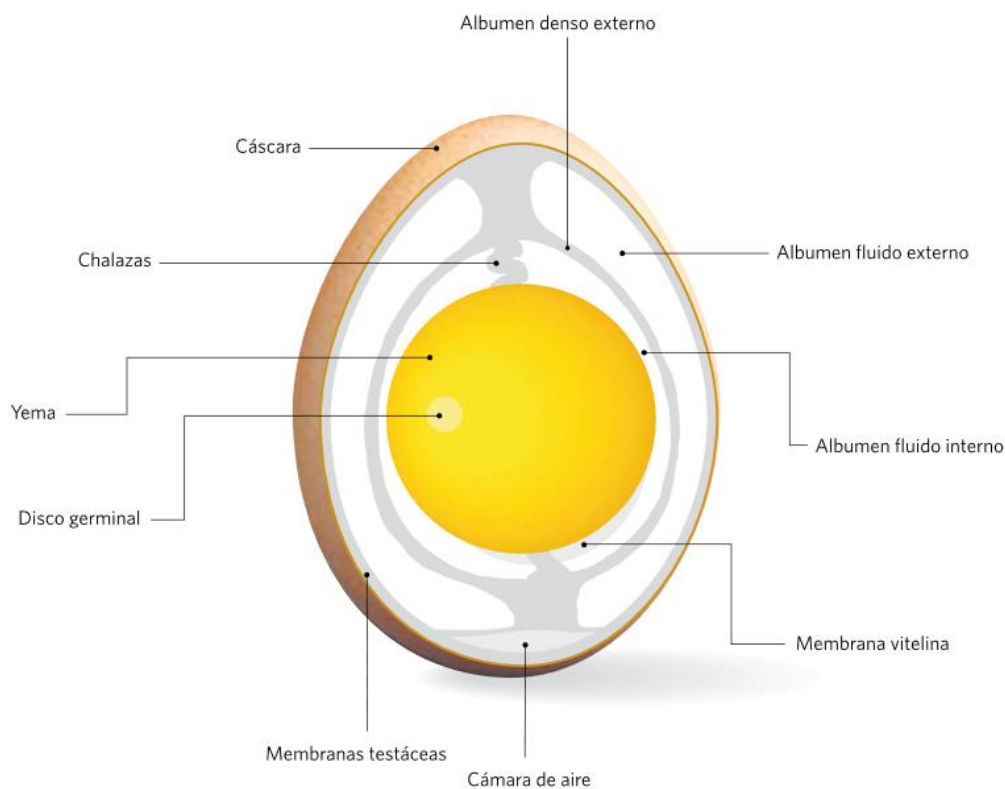


Figura 1: Corte transversal del huevo y sus partes

FUENTE: Instituto de Estudios del Huevo (2009)

Cuadro 1: Composición aproximada del huevo entero, cáscara, clara y yema

COMPONENTE (% DEL TOTAL)	COMPOSICIÓN APROXIMADA, %(P/P)				
	AGUA	PROTEÍNAS	LÍPIDOS	CARBO-HIDRATOS	MINERALES
Huevo entero (100)	66.1	12.8-13.4	10.5-11.8	0.3-1.0	0.8-1.0
Cáscara (9-11)	1.6	6.2-6.4	0.03	Trazas	91-92
Clara (60-63)	87.6	9.7-10.6	0.03	0.4-0.9	0.5-0.6
Yema (28-29)	48.7	15.7-16.6	31.8-35.5	0.2-1.0	1.1

FUENTE: Adaptado de Mine (2008)

Los ovoproductos son huevos enteros, claras o yemas que han sido transformados mediante un proceso industrial, normalmente térmico que pueden ser utilizados como ingredientes de otros alimentos en la hostelería o en los procesos de la industria alimentaria. La normativa europea vigente los define como “los productos resultantes de la transformación de huevos, de diversos componentes o mezclas de huevos, o de la transformación subsiguiente de tales productos”. La fábrica de ovoproductos en la industria alimentaria que recibe huevos para su transformación y produce derivados industriales. Éstos pueden ser líquidos pasteurizados (huevo entero, clara o yema), huevo cocido, tortillas, huevo en polvo y muchos otros, algunos ejemplos se aprecian en la Figura 2. Los ovoproductos pueden destinarse directo al consumo humano o a su procesado por industrias u operadores alimentarios y no alimentarios para formar parte de otros productos (Instituto de Estudios del Huevo, 2009).



Figura 2: Ovoproductos en estado líquido y deshidratado

FUENTE: OVOSUR (2017)

2.2 CLARA DE HUEVO

Es la capa líquida que rodea a la yema, la clara de huevo puede considerarse como un sistema proteico que contiene fibra de ovomucina en una solución acuosa de proteínas globulares (Mine, 2008).

2.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CLARA

La clara de huevo está compuesta de agua, proteínas, algunos minerales y vitaminas. Además, contiene glucosa libre (0.4 – 0.9%) a una concentración dos veces más alta que en el plasma sanguíneo. El agua es el mayor constituyente de la clara de huevo; su contenido es entre 84–89 por ciento (Nys *et al.*, 2011).

Las proteínas representan alrededor del 90 por ciento de la materia seca, la cual está compuesta principalmente de glicoproteínas globulares. Seis de ellas representan el 86 por ciento del total de las proteínas en la clara del huevo. Recientemente, el análisis por proteómica reveló que existe alrededor de 148 proteínas en clara de huevo (D'Ambrosio *et al.*, 2008).

La Ovoalbúmina es una fosfoglicoproteína con peso molecular de 45 KDa y un punto isoeléctrico (pI) de 4.5, es la proteína más abundante de la clara de huevo entre 54 – 58 por ciento. La Ovotransferrina, representa alrededor del 12 por ciento de las proteínas de la clara de huevo, es una glicoproteína con un peso molecular de 75 KDa y un pI de 6, es una glicoproteína y pertenece a la familia de las transferrinas, lo cual le permite unirse al hierro y es conocido por su actividad antimicrobiana, antifúngica y antiviral. El Ovomucoide representa el 11 por ciento del total de las proteínas, es una glicoproteína termoestable y el alérgeno dominante en el huevo, pertenece a la familia de inhibidores de proteasas, tiene un peso molecular de 28 KDa y un pI de 4.1. La Ovomucina representa de 2–4 por ciento del total de proteínas y su pI es alrededor de 4.5–5.0. La Lisozima es una enzima con un peso molecular de 14.3 KDa y un pI de 5.5, representa el 3.5 por ciento del total de las proteínas y posee actividad bacteriostática, bacteriolítica y bactericida. Las Ovoglobulinas están compuestas por dos proteínas G2 y G3, con un peso molecular entre 30-45 KDa y un pI de 4.0, estas proteínas son conocidas por sus excelentes propiedades de formación de espuma

y batido. El Ovoinhibidor posee un peso molecular de 49 KDa y un pI de 1.5, es capaz de inhibir la tripsina, quimotripsina, así como proteasas fúngicas y bacterianas (Wu, 2014).

Otros componentes, incluyendo la avidina, cristatina, ovoinhibidor, ovostatina, ovoglicoproteína y ovoflavoproteína han sido encontrados en la clara de huevo y contiene menores niveles de carbohidratos, minerales y grasas (Mine, 2002).

2.2.2 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA CLARA

Las proteínas presentan propiedades físico-químicas y funcionales que contribuyen a las características deseables de un alimento, durante la preparación, transformación y almacenamiento. Las propiedades funcionales de la clara dependen de las interacciones de los grupos polares de sus proteínas, las interacciones de estos grupos pueden ser con el aceite para formar una emulsión, el aire para formar espuma y con otras moléculas de proteína formando geles (Phillips *et al.*, 1994).

a. PROPIEDAD DE FORMACIÓN DE GEL

La propiedad de formación de gel se produce debido a las interacciones proteína-proteína mediante enlaces covalentes o no covalentes, la naturaleza y las propiedades de los geles están influenciadas por varios factores, tales como la concentración de proteínas, el pH de la solución, la naturaleza y la concentración del electrolito. La gelificación puede ocurrir durante el calentamiento o enfriamiento y depende de la naturaleza de la proteína y en el propio proceso. La formación inducida por calor implica la asociación ordenada de cadenas desplegadas de polipéptidos a través de enlaces no covalentes (por ejemplo, puentes de hidrógeno, interacciones iónicas e hidrófobas) y en algunos casos, a través de enlaces covalentes como enlaces de disulfuro; Las interacciones proteína-proteína no covalentes se producen durante la formación de geles reversibles y no reversibles. Los enlaces intermoleculares cruzados entre las cadenas desarrolladas de polipéptidos varían ampliamente y son esenciales para la formación de gel. El tipo y la extensión de las interacciones no covalentes, como las interacciones hidrofóbicas y "Van der Waals", los puentes de hidrógeno y las interacciones iónicas, están relacionados con la naturaleza de la proteína, con su concentración, con el pH de la solución, con la intensidad de

desnaturalización causada por el calentamiento y por el medio iónico e interfiere con las fuerzas de atracción y repulsión de la red tridimensional (Phillips *et al.*, 1994).

Por lo tanto, el exceso de fuerzas de atracción causa la coagulación y el exceso de fuerza de repulsión provoca la disolución de la estructura, la rigidez de la clara comienza a 71 °C y aumenta a 83 °C, y la elasticidad se desarrolla entre 70 y 74 °C. La desnaturalización de la ovoalbúmina se produce a partir de 79 a 84 °C. El aumento de la temperatura y el período de calentamiento mejoran los enlaces con las moléculas de agua y aumenta la reticulación en la estructura del gel (Alleoni, 2006).

La estabilidad de la s-ovoalbúmina con respecto a la desnaturalización por calentamiento puede afectar las propiedades de gelificación, aunque los perfiles de pH en la formación de gel han sido similares a la ovoalbúmina y a la s-ovoalbúmina, la resistencia del gel de s-ovoalbúmina inducido por calor fue menor que la resistencia del gel de ovoalbúmina a varias temperaturas (Shitamori *et al.*, 1984).

Alleoni (2006) registró mayor dureza en geles de clara de huevo cuando el pH varió de 9.0 a 9.4 que cuando el pH varió de 7.7 a 8.1. La s-ovoalbúmina puede, junto con otras proteínas, aumentar la dureza del gel de albúmina, es decir, cuando el pH es de alrededor de 9.0 hay un aumento en el porcentaje de esta proteína en la clara de huevo, mientras que hay una transformación mínima de la ovoalbúmina a la s-ovoalbúmina cuando el pH oscila entre 7.0 y 8.0. En la literatura, no hay ninguna indicación con respecto a un aumento de otros tipos de proteínas con pH creciente. El éxito de la cocción depende del tiempo y la temperatura.

La exposición a temperaturas muy altas durante un período prolongado da como resultado una mejor coagulación. Se pueden obtener buenos resultados con altas temperaturas si el período de cocción es más corto. El calentamiento es necesario para conseguir la dureza óptima, pero también puede provocar una sinéresis indeseable (Lowe, 1955).

Las claras deshidratadas con propiedades de formación de gel son muy utilizadas en la elaboración de embutidos y pastas, en la Figura 3 podemos ver algunos ejemplos.



Figura 3: Productos cárnicos a base de clara con propiedades de formación de gel

FUENTE: Bouwhuis-Enthoven (2017)

b. PROPIEDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA

La propiedad de formación de espuma de la clara de huevo, es la capacidad de retención de aire de sus proteínas. Existen dos clases principales de espuma: la esférica y la poliédrica. Las espumas a base de proteínas están formadas por burbujas de aire, cada burbuja está compuesta por una fina y continua película de moléculas de proteína y están separadas entre sí por una lámina. Las burbujas de aire son originalmente esféricas (alta presión interna), y la lámina es densa (gruesa), conteniendo grandes cantidades de líquido. El líquido de la espuma poliédrica se distribuye entre los canales laminares donde se encuentran las películas. El drenaje de los fluidos laminares es la principal fuerza de desestabilización, haciendo que las burbujas de aire se acerquen y adopten una forma poliédrica (Adamson, 1982).

Durante la formación de la espuma a base de proteínas, se produce una secuencia de reacciones. Se requiere energía para activar el proceso, y las proteínas solubles alcanzan la interfaz aire-agua por difusión, adsorción, concentración y tensión superficial crítica. El reordenamiento de los polipéptidos se produce en la interfase y está orientado por la parte

polar hacia al agua, y los segmentos no polares preferentemente conducen a partículas de aire. Este proceso se produce a través de las interacciones no covalentes de los polipéptidos, y es la base de una película continua cohesiva. Los componentes estructurales y las interacciones electrostáticas de atracción (fuerzas) que permiten mejorar las propiedades de formación de espuma; las interacciones electrostáticas excesivamente repulsivas disminuyen la capacidad de formación de espuma. La extensión de las interacciones moleculares de las proteínas en la interfase aire-agua y las propiedades de la película terciaria dependen del tipo de proteína y de las condiciones dominantes de la solución que determinan la formación y estabilización de la espuma. Las propiedades espumantes de las proteínas están fundamentalmente relacionadas con sus propiedades de formación de películas en la interfaz aire-agua. Las proteínas que se pueden abrir y adsorber rápidamente presentan mejores propiedades espumantes que las adsorbidas lentamente y cuyas estructuras son más difícil de abrir en la interfaz. Las mismas fuerzas que determinan la estructura y flexibilidad de una proteína, tales como las interacciones electrostáticas e hidrófobas, y los enlaces disulfuro también determinan el comportamiento interfacial y las propiedades proteínicas, Durante el movimiento interfacial, las proteínas parcialmente abiertas forman nuevas asociaciones intermoleculares con moléculas vecinas y forman películas cohesivas, esenciales para la formación de espuma (Phillips *et al.*, 1994).

En sistemas homogéneos, las principales fuerzas atractivas son los puentes de hidrógeno, las interacciones hidrofóbicas, las fuerzas electrostáticas y las fuerzas de van der Waals. La magnitud de la resistencia, que mantiene la estructura proteica nativa en solución o en la interfase, es importante en las propiedades de formación de espuma (Adamson, 1982).

Halling (1981) mostró la disminución de la estabilidad de la espuma en la clara de huevo con propiedad de formación de espuma, y el aumento de drenaje correlacionado con la disminución de la viscosidad del líquido drenado. Estos cambios en la viscosidad demostraron ser una característica importante de la clara con propiedad de formación de espuma. La disminución de la viscosidad no explica suficientemente el aumento de la tasa de drenaje en largos períodos de batido. Es posible que un componente proteico específico también desempeñe un papel importante en la clara con propiedad de formación de espuma.

Las fuerzas que actúan en las diferentes etapas de la estabilidad de la espuma son, la fuerza de atracción electrostática, que es esencial para la formación de la red de proteínas y la cohesión de la película, en exceso puede causar coagulación de polipéptidos. Por otra parte, la fuerza electronegativa que permite la estabilización de la espuma se ha atribuido a la repulsión electrostática en películas adyacentes. Las características importantes para la formación de películas óptimas en un sistema simple pueden retardar la formación de la película y causar la desestabilización de la espuma. Por ejemplo, algunas propiedades reológicas que mejoran la estabilidad de la película se maximizan en el intervalo de puntos isoeléctricos para muchas proteínas; en este punto la solubilidad tiende a un mínimo. Para determinar las propiedades espumantes de una proteína, es necesario conocer el equilibrio entre componentes hidrófobos e iónicos, aunque se desconoce la localización precisa de estos componentes en forma molecular tridimensional. El proceso de formación está relacionado con la velocidad de mezcla, la geometría de la batidora y las propiedades superficiales del material espumante; Los niveles máximos de incorporación de aire durante el batido reflejan un mejor equilibrio dinámico efectivo entre la resistencia mecánica y la destrucción de burbujas. Esto proporciona una medida real de la estabilidad de la espuma que se mide por el tiempo requerido por una cierta cantidad de líquido a drenar. La extensión de la formación de la película proteica está relacionada con la capacidad de la proteína para disminuir la tensión superficial entre la microgota de aire y la solución proteica. La estabilidad de la espuma depende de la naturaleza de la película, que refleja la extensión de las interacciones con la matriz de la película (Phillips *et al.*, 1994).

La clara de huevo con propiedad de formación de espuma se utiliza principalmente para la preparación de merengues, en la Figura 4 se puede ver un ejemplo.



Figura 4: Merengue elaborado a base de clara con propiedad de formación de espuma

FUENTE: OVOSUR (2017)

2.3 CASCADO

El cascado tiene la finalidad de separar la cáscara de la parte líquida del huevo, dependiendo de la tecnología utilizada el cascado permite separar además de la cáscara, la parte líquida en clara y yema. Cascar, separar la yema y clara dan un valor agregado al producto, encontrándose en estas condiciones permite un tratamiento adicional, de pasteurización o secado por pulverización para prolongar la vida útil y reducir el espacio de almacenamiento del producto. La clara y la yema pura se están convirtiendo en ingredientes básicos para el suministro de productos especializados y sofisticados de la más alta calidad para la industria alimentaria (SANOVO, 2017).

2.3.1 MÉTODOS DE CASCADO

Existen dos métodos principales de cascado, el manual y el mecanizado. El cascado manual es usado a nivel artesanal por la industria de panificación y pastelería, a nivel industrial se utiliza el cascado mecanizado, para el cual existen diferentes sistemas, cualquiera que sea el dispositivo mecánico utilizado, el principio de funcionamiento es siempre el mismo (ver Figura 5), el uso de una herramienta contundente para romper el lado inferior del huevo para permitir el drenaje de la yema. La ruptura de la cáscara es más fácil cuando se colocan horizontalmente, usando cuchillos que cortan la cáscara o un martillo que descansa sobre la parte superior del huevo. Los cuchillos tienen que retirarse rápidamente para no romper la yema. Algunos fabricantes han desarrollado dispositivos específicos para minimizar la rotura de yemas en la maquina (Nys *et al.*, 2011).

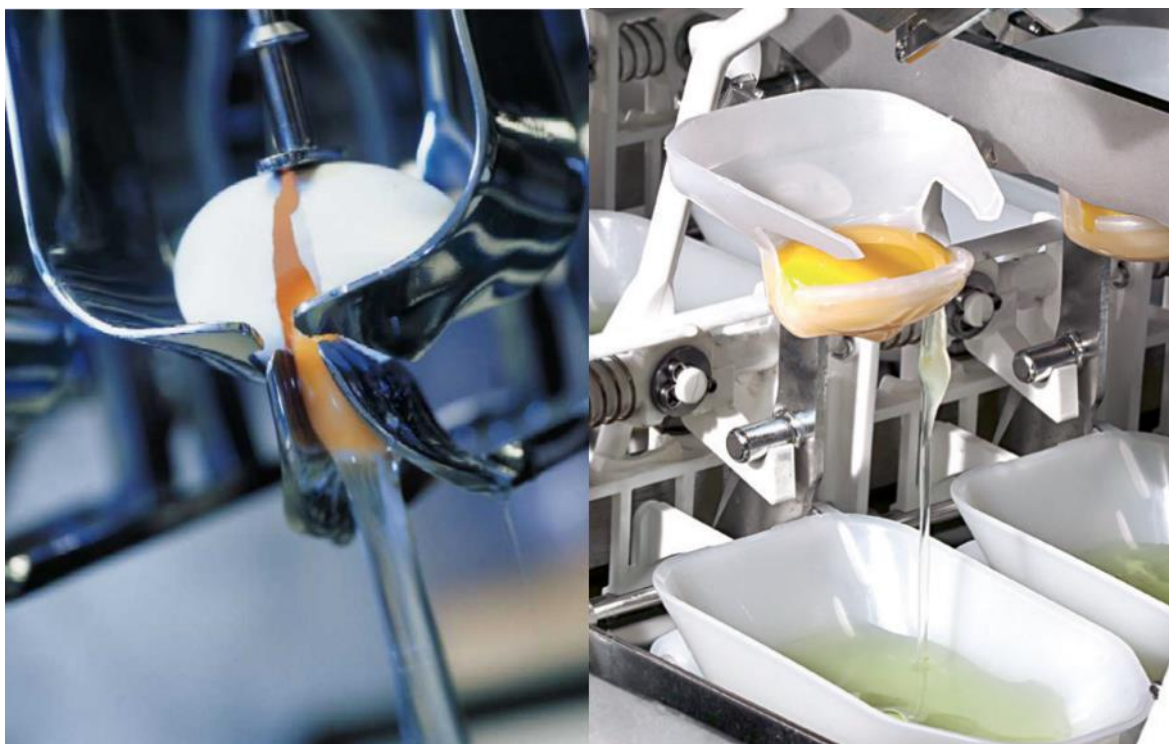


Figura 5: Separación mecánica de yema, clara y cáscara

FUENTE: SANOVO (2017)

El tamaño de la yema aumenta con la edad de la gallina, haciendo la separación más difícil. La resistencia de la membrana vitelina disminuye durante el almacenamiento de huevo cáscara, disminuyendo la calidad de la separación. El mal mantenimiento de los cuchillos, o el uso de huevos agrietados, también puede causar la ruptura de la membrana vitelina, antes

o durante la separación. Para lograr la separación de yema se deja caer en un plato pequeño (ver Figuras 6 y 7). La clara de huevo drena el fondo perforado del plato o la hendidura en el centro de la tubería. La cantidad final de yema obtenida está influenciada por las condiciones del huevo cáscara, temperatura de rotura y tecnología. (Lechevalier *et al.*, 2007).

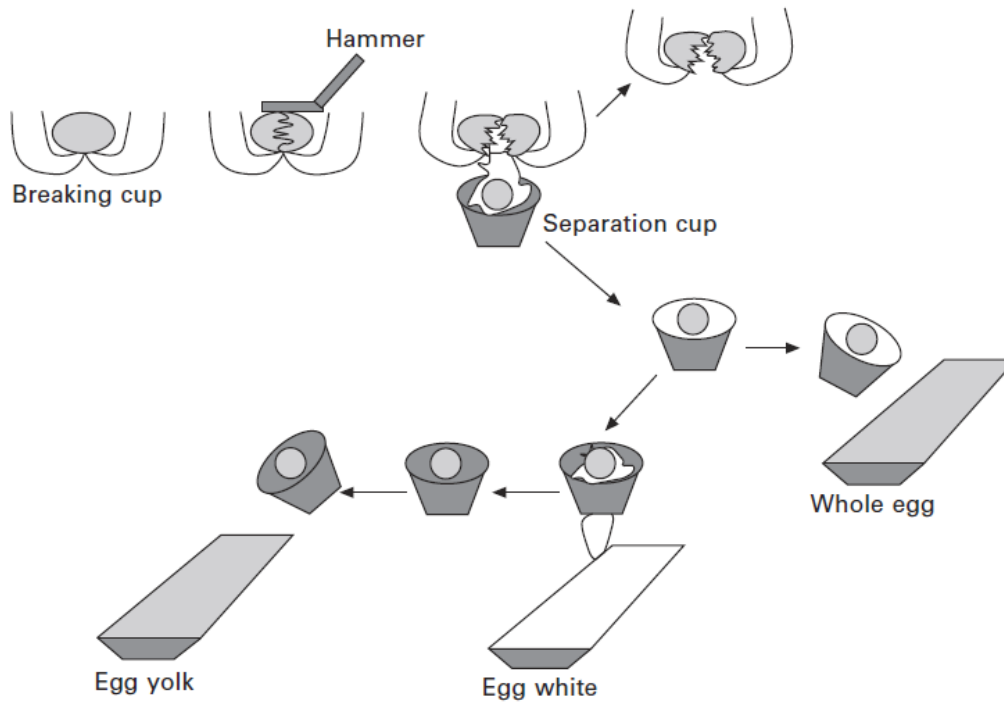


Figura 6: Diagrama del proceso de separación de yema y clara utilizando platos

FUENTE: Lechevalier *et al.* (2007)



Figura 7: Cascadora mecanizada OPTIBREAKER

FUENTE: SANVO (2017)

La calidad de la separación de clara/yema es esencial para garantizar la calidad de la clara. De hecho, incluso pequeñas trazas de yema (0.022 por ciento) alteran las propiedades de formación de espuma de la clara, y la eficiencia de pasteurización. se han desarrollado dispositivos ópticos para detectar restos de la yema en la clara (Nys *et al.*, 2011), ver Figura 8.



Figura 8: Sistema de detección de yema en clara ALBUHECKER

FUENTE: PELBO (2017)

2.4 PASTEURIZACIÓN

Según Madrid *et al.* (2003), la pasteurización tiene como objetivo primordial la destrucción de microorganismos patógenos que puedan producir intoxicaciones o transmitir enfermedades al consumidor.

Los principales métodos de pasteurización utilizados en clara son la pasteurización de clara líquida y la pasteurización de clara seca o deshidratada.

2.4.1 PASTEURIZACIÓN EN LÍQUIDO

La pasteurización de ovoproductos líquidos se realiza generalmente a través de pasteurizadores de placas, para lo cual la FDA ha establecido parámetros de temperatura y tiempos de retención mínimos para cada tipo de ovoproducto (ver Figura 9).

Liquid Egg Product	Minimum Temperature °C	Minimum Holding Time Requirement Minutes
Albumen (without use of chemicals)	56.7	3.5
	55.6	6.2
Whole egg	60.0	3.5
Whole egg blends (less than 2% added non-egg ingredients)	61.1	3.5
	60.0	6.2
Fortified whole egg and blends (24-38% solids, 2-12% added non-egg ingredients)	62.2	3.5
	61.1	6.2
Salted whole egg (with 2% or more salt added)	63.3	3.5
	62.2	6.2
Sugared whole egg (with 2% or more sugar added)	61.1	3.5
	60.0	6.2
Plain yolk	61.1	3.5
	60.0	6.2
Sugared yolk (2% or more sugar added)	63.3	3.5
	62.2	6.2
Salted yolk (2-12% salt added)	63.3	3.5
	62.2	6.2

Figura 9: Requerimiento de pasteurización de ovoproductos por el FDA

FUENTE: Froning *et al.* (2002)

En cuanto a la pasteurización de clara, los tratamientos térmicos aprobados son 56.7 ° C durante 3.5 minutos o 55.6 ° C durante 6.2 minutos. Como se mencionó anteriormente, las proteínas de clara de huevo son particularmente sensibles al calor, requiriendo estas temperaturas más bajas. La eficacia de la eliminación de *Salmonella* a estas temperaturas ha demostrado ser mejorada a valores de pH más altos, en general, la investigación indicó la efectividad del tratamiento térmico para *Salmonella* se incrementa cuando el pH de la clara es mayor a 8.9 (Froning *et al.*, 2002).

La clara líquida se pasteuriza generalmente en pasteurizadores de placas (ver Figura 10); Palumbo *et al.* (1996), determinaron la supervivencia de una mezcla de seis cepas de

Salmonella enteritidis, *Salmonella typhimurium* y *Salmonella senftenberg* en clara de huevo, informaron que *Salmonella* es mucho más resistente al calor cuando la clara tiene pH bajo. Las reducciones usando un tiempo de retención de 3.5 minutos a 56.6 °C fueron de 0.97 a pH 7.8, 1.64 a pH 8.2, 2.20 a pH 8.8 y 3.24 a pH. 9.3.



Figura 10: Pasteurizador de placas

FUENTE: SANOVO (2017)

2.4.2 PASTEURIZACIÓN SECA

Froning *et al.* (2002) describieron un nuevo método para la pasteurización de clara deshidratada con la finalidad de eliminar *Salmonella*, consiste en ingresar la clara deshidratada envasada en un cuarto conocido como *Hot Room* (ver Figura 11), donde se hará recircular aire caliente y se controla la humedad relativa, el aire debe ser calentado a 54.4 °C como mínimo y mantenerse a esa temperatura durante 7 a 10 días hasta obtener lecturas de *Salmonella* negativo. El contenido de humedad de la clara deshidratada debe ser del 6 por ciento para la destrucción adecuada de *Salmonella*. También se ha demostrado que este método de pasteurización mejora las propiedades de batido de la clara.



Figura 11: Hot Room utilizado para la pasteurización seca de clara

FUENTE: OVOBEL (2017)

Las investigaciones han demostrado que este proceso mejora las propiedades de batido de clara de huevo. Baron *et al.*, (2003) informaron que el calentamiento en seco de la clara de huevo por 15 días a 67 y 75 °C aumenta la fuerza de gel en dos y siete veces respectivamente, y la capacidad de formar espuma en 2.3 y 2.5 veces respectivamente. Ambos tratamientos de calentamiento fueron eficaces para la eliminación de *Salmonella*, el calentamiento a 75 °C, afecta la capacidad bacteriostática de la clara de huevo reconstituida en mayores proporciones que el calentamiento a 67 °C. se atribuye la pérdida de capacidad bacteriostática a la desnaturalización de Ovotransferrina.

2.5 DESGLUCOSADO

Es el proceso mediante el cual se remueve la glucosa de la clara líquida, lo cual es esencial para evitar la reacción de Maillard, evitando producir un color indeseable en el producto final (Sebring, 1995).

2.5.1 MÉTODOS DE DESGLUCOSADO

Existen tres alternativas principales para el desglucosado de clara de huevo líquida: el desglucosado con enzimas, el desglucosado mediante fermentación con bacterias y el desglucosado mediante fermentación con levaduras; Para la eliminación del azúcar mediante fermentación bacteriana se utilizan varias cepas, incluyendo organismos productores de ácido, tales como especies de *Lactobacillus*, *Streptococcus diacetilactis*, *Klebsiella pneumoniae*, etc. Este método es ampliamente aceptado para el desglucosado de la clara de huevo, para este proceso primero se pasteuriza la clara y luego se acidifica a pH entre 7.0 y 7.5 con ácido cítrico o láctico de calidad alimentaria, luego se inocula con el cultivo apropiado y se mantiene entre 30 a 33 °C, hasta que los niveles de glucosa sean indetectables (Sebring, 1995).

La fermentación con levaduras de la clara de huevo utiliza principalmente levadura de panadería de grado alimenticio (*Saccharomyces cerevisiae*), el proceso inicia con el ajuste del pH a un rango entre 6 y 7, utilizando ácido cítrico diluido; con 0.4 por ciento en peso de levadura fresca a 23 °C se reduce el azúcar en 4 h (Wu, 2014).

El sistema enzimático de glucosa oxidasa-catalasa es utilizado para el desglucosado de clara. La reacción puede llevarse a cabo a una temperatura elevada entre 30 y 33 °C o a una temperatura baja de 10 °C. La temperatura más baja requiere un tiempo de reacción más largo. El pH óptimo para la glucosa oxidasa es 6.0; por lo tanto, el ajuste del pH con ácido cítrico o láctico puede ser necesario. La dosis de enzima se determina por la velocidad de reacción deseada, la temperatura de la clara, la actividad de la enzima y la cantidad de glucosa a eliminar. Se requiere mucha precaución para añadir peróxido de hidrógeno debido a la formación de espuma a partir del oxígeno desarrollado (Stadelman y Cotterill, 1986).

2.6 CONCENTRACIÓN

La finalidad de la concentración es eliminar agua de la clara de huevo líquida previa al deshidratado, e incrementar el porcentaje de sólidos, lo cual permitirá obtener un producto con mayor densidad aparente y menor volumen (Mine, 2008).

La industria del huevo ha utilizado la ósmosis inversa o la ultrafiltración (ver Figura 12). La concentración de productos de huevo líquidos antes del secado es un medio para mejorar la eficiencia térmica, aumentar la capacidad del deshidratador y cambiar las características del producto, tales como mayor densidad aparente. Hasta ahora, las aplicaciones comerciales han sido principalmente en Europa. Por ejemplo, el huevo entero se ha concentrado hasta aproximadamente 40 por ciento de sólidos y clara de huevo hasta aproximadamente 20 por ciento de sólidos antes del secado por pulverización usando equipo de evaporación de tipo vacío. Sin embargo, ha habido problemas en la concentración de productos por este medio. Por ejemplo, hay un daño severo a las propiedades funcionales de la clara de huevo incluso cuando se usan temperaturas por debajo de aquellas en las que se produce daño por calor. Aparentemente, la acción física y las fuerzas de cizallamiento dentro del concentrador tienen efectos perjudiciales. Aunque es posible una concentración de clara a 24 por ciento de sólidos, la concentración a 18-20 por ciento de sólidos es más práctica. La viscosidad aumenta, y por consiguiente el flujo cae severamente cuando se pasa por encima del 20 por ciento de sólidos (Mine, 2008).

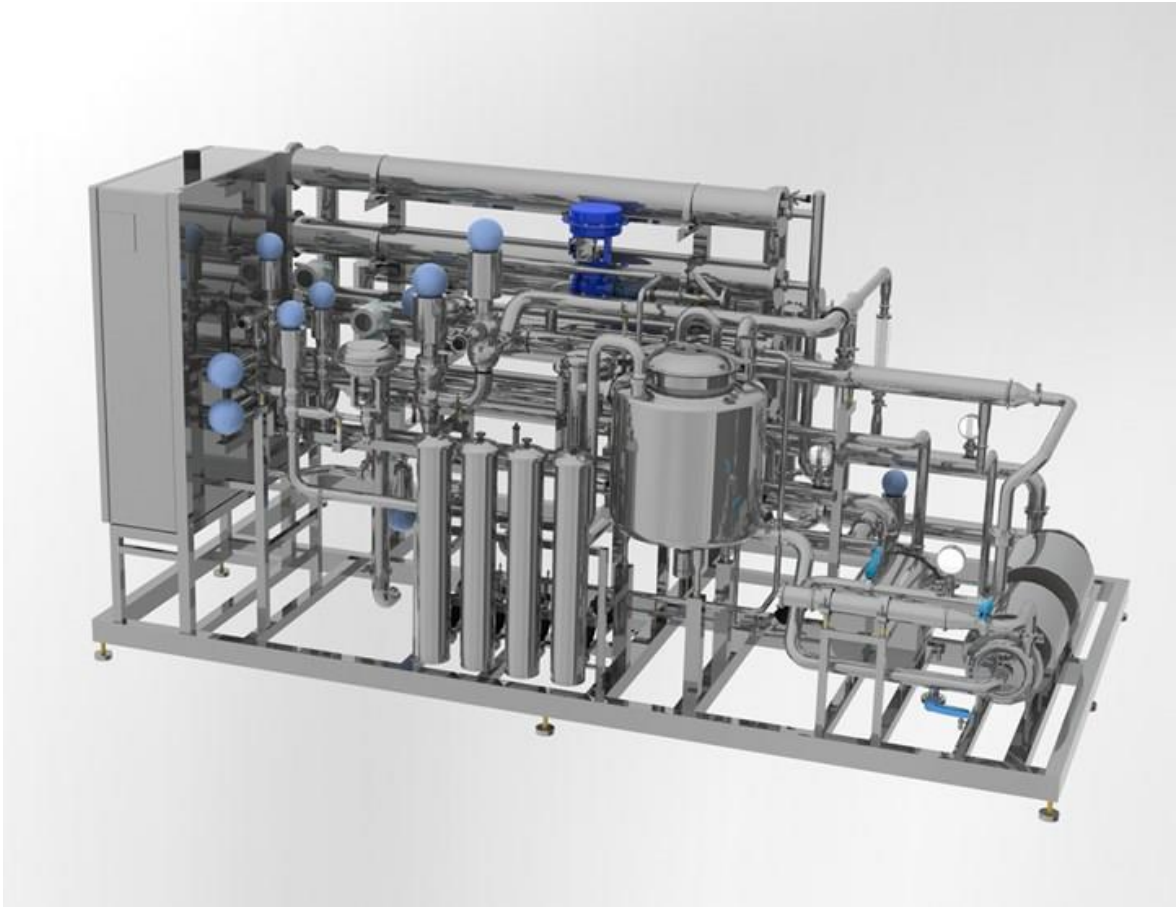


Figura 12: Estación de concentración por ultrafiltración UF

FUENTE: SANOVO (2017)

2.6.1 ULTRAFILTRACIÓN

La ultrafiltración (UF) es un proceso ideal para el fraccionamiento, concentración y purificación de líquidos y elimina partículas en el rango de 0.001 a 2 μm . Los solventes y las sales de bajo peso molecular pasarán a través de las membranas de ultrafiltración, mientras que las moléculas más grandes son retenidas. UF requiere una presión de 1 a 7 bar para superar la resistencia viscosa de la permeación del líquido a través de la membrana. El proceso de UF es más eficaz en la eliminación de factores anti-nutricionales tales como oligosacáridos, ácidos fítics y algunos inhibidores de tripsina a partir de proteínas vegetales para producir aislamientos de proteína purificada o concentrados con calidad funcional superior. UF también se utiliza en la separación y el fraccionamiento de proteínas de leche individuales de la lactosa y minerales. El Permeado UF es significativamente estéril debido a la eliminación de microorganismos. Otras aplicaciones industriales de la UF incluyen la

recuperación de enzimas, la concentración de sacarosa y la pasta de tomate, el tratamiento de los efluentes en la elaboración de la cerveza y la destilación, y la eliminación de las secreciones proteicas de la miel y los jarabes. Los usos típicos incluyen la recuperación de antibióticos de la proteína potenciadora del caldo de fermentación, la lactosa de la proteína del suero de leche y la recuperación de azúcares de fruta al final de la clarificación del jugo (Smith, 2011).

2.6.2 OSMOSIS INVERSA

El mecanismo de ósmosis inversa (RO) se basa en el tamaño, la forma, la carga iónica y las interacciones de la membrana. RO normalmente se emplea solo o en combinación con otros procesos de separación de membrana, tales como microfiltración (MF), UF y RO separa todos los solutos orgánicos e inorgánicos de la solución. El permeado en RO es agua pura ya que la membrana RO rechaza los materiales disueltos y suspendidos por encima de 0.0001 a 0.001 μm a presión moderada a alta. La naturaleza apretada de las membranas de RO requiere la presión de funcionamiento más alta en comparación con otros procesos de separación de membrana. El requerimiento de energía para RO es significativamente menor que para sistemas mecánicos de compresión de vapor. Otras ventajas de RO incluyen un producto de alta calidad sin daños por calor y un volumen de tratamiento de residuos reducido y, por tanto, un coste reducido implicado en el proceso global. Sin embargo, a pesar de la alta selectividad y de la capacidad de retención del soluto, los principales inconvenientes de las membranas RO incluyen el intervalo de presión de funcionamiento limitado y el ensuciamiento de la membrana. En la mayoría de las aplicaciones alimentarias, desde un punto de vista económico, el proceso de RO se utiliza como paso de pre-concentración con otras tecnologías. Las aplicaciones de RO en el procesamiento de alimentos incluyen la concentración de suero para la fabricación de queso y el helado, así como una etapa de pre-concentración antes del secado. RO es muy eficaz en la concentración y purificación de zumos, enzimas y licores de frutas en el proceso de fermentación y en la eliminación de iones, bacterias y materiales orgánicos monovalentes y polivalentes con un peso molecular superior a 100 D para producir agua pura para la fabricación de bebidas; en el proceso de desalcoholización para producir cervezas de bajo contenido alcohólico, sidras y vino; y en la recuperación de proteínas de residuos de destilación, jugos diluidos y aguas residuales de molienda de maíz (Smith, 2011).

2.7 DESHIDRATACIÓN

La finalidad del deshidratado es obtener un producto más estable y que ocupe un menor espacio de almacenamiento. En la producción de ovoproductos deshidratados se utiliza principalmente el deshidratado por aspersion o pulverización (Wu, 2011).

2.7.1 DESHIDRATACIÓN POR ASPERSIÓN O PULVERIZACIÓN

El fluido se atomiza utilizando una rueda giratoria o una tobera, y la pulverización de gota permite que entre inmediatamente en contacto con un flujo de aire caliente. El resultado es la evaporación rápida, mantiene una temperatura baja de las gotas, de modo que se pueden aplicar temperaturas de aire de secado elevadas sin afectar el producto. El tiempo de secado de la gota es muy pequeño comparado con la mayoría de los otros procesos de secado. La baja temperatura del producto y el tiempo de secado corto permiten el secado por pulverización de productos muy sensibles al calor. El secado rápido se utiliza para secar productos farmacéuticos, productos alimenticios, plasma sanguíneo, numerosos productos químicos orgánicos e inorgánicos, látex de caucho, polvos cerámicos, detergentes y otros productos tal como se describe en el Anexo 3, El proceso se caracteriza en pulverizar el fluido dentro de una cámara sometida a una corriente controlada de aire caliente. Este fluido es atomizado en millones de microgotas individuales mediante un disco rotativo o boquilla de pulverización. A través de este proceso el área de la superficie de contacto del producto pulverizado se aumenta enormemente y cuando se encuentra dentro de la cámara con la corriente de aire de secado produce una vaporización rápida del solvente del producto, generalmente agua, provocando frigorías en el centro de cada microgota donde se encuentra el sólido, que seca suavemente sin choque térmico, transformándose en polvo y terminando el proceso con la colecta del mismo (Mujumdar, 2006).

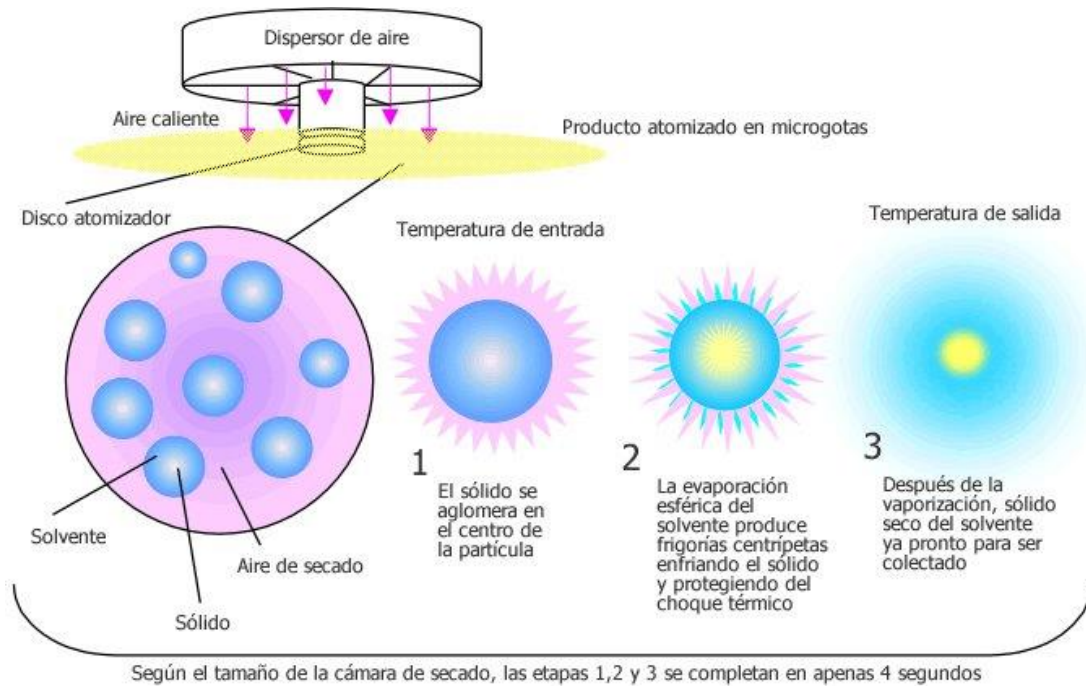


Figura 13: Secado por aspersión utilizando un atomizador de disco

FUENTE: Sprayprocess (2017)

El tamaño de la gota lo establece la superficie de transferencia de calor disponible y, por tanto, la velocidad de secado. (Mujumdar, 2006).

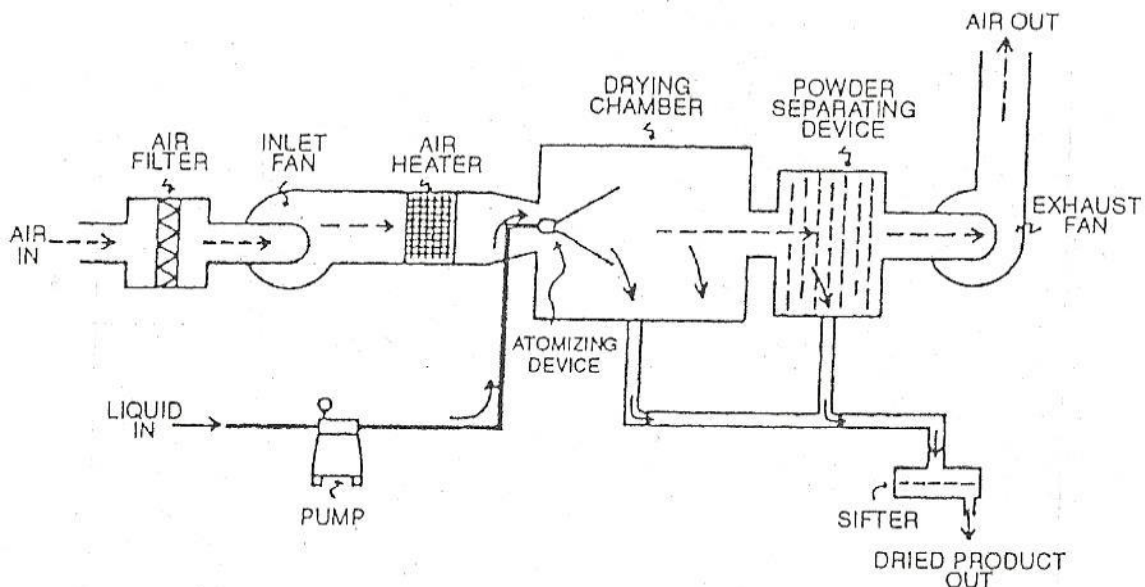


Figura 14: Esquema de un spray dryer

FUENTE: Stadelman y Cotterill (1986)

La selección del atomizador generalmente significa la selección entre atomizador de disco y boquilla de presión. La selección puede basarse en diversas consideraciones, tales como disponibilidad, flexibilidad, consumo de energía o distribución del tamaño de partícula del producto seco final, en el Anexo 4 se puede apreciar el diseño de un deshidratador con atomizado por boquilla de presión, así también en los Cuadros 3 y 4 veremos las ventajas y desventajas del secado por aspersion y del tipo de atomizador respectivamente.

Cuadro 2: Ventajas y desventajas del secado por aspersion

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las propiedades y la calidad del producto se controlan con mayor eficacia.	El secado por aspersion no permite obtener productos con alta densidad aparente.
Los alimentos sensibles al calor, los productos biológicos y los productos farmacéuticos pueden secarse a presión atmosférica y a bajas temperaturas. A veces se emplea una atmósfera inerte	Para una capacidad dada, generalmente se requieren mayores tasas de evaporación que con otros tipos de secadores. Se requiere una alimentación constante a presión
El secado por aspersion permite una producción de alta capacidad, en funcionamiento continuo y con equipos relativamente simples	Hay una alta inversión inicial en comparación con otros tipos de secadores continuos
El secado por aspersion produce partículas esféricas relativamente uniformes con casi la misma proporción de compuestos no volátiles que en la alimentación líquida	La recuperación del producto y la acumulación de polvo aumentan el costo del secado
Dado que la temperatura de funcionamiento puede oscilar entre 150 y 600 °C, la eficacia es comparable a la de otros tipos de secadores directos	

FUENTE: Adaptado de Mujumdar (2006)

Cuadro 3: Ventajas y desventajas de los atomizadores de disco y boquilla de presión

TIPO DE ATOMIZADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Atomizador de disco	Puede tener altas velocidades de alimentación en un solo disco	Mayor consumo de energía que las boquillas de presión
	Conveniente incluso para materiales abrasivos	Se requiere una cámara grande
	Se puede regular el tamaño de partícula regulando la velocidad del disco	
Boquilla de presión	Construcción simple y compacta, sin piezas móviles	No es posible el cambiar la boquilla durante la operación
	Las características requeridas para el rociado pueden ser producidas por la alternancia del diseño de la cámara	Las boquillas se desgastan relativamente rápido
	Consumo de energía baja	Alto costo

FUENTE: Adaptado de Mujumdar (2006)

III. DESARROLLO DEL TEMA

Para iniciar con el proceso de elaboración de clara deshidratada pasteurizada, el área de proceso solicitó la materia prima al almacén. La industria de ovoproductos utiliza como materia prima principal el huevo cáscara. El huevo cáscara debe cumplir con ciertos parámetros de calidad antes de ingresar a la línea de producción, el principal parámetro que se controla es la frescura. El cual se mide en unidades haugh, mientras más alto sea este valor, se puede decir que el huevo es más fresco.

En los análisis realizados a la materia prima en la recepción, se observó que la frescura siempre es mayor a 75 haugh de aquellos huevos provenientes de galpones con gallinas ponedoras jóvenes alrededor de las 34 semanas de edad, mientras que es menor a 70 haugh en huevos provenientes de galpones con gallinas de más de 60 semanas de edad.

La clara deshidratada proveniente del cascado de huevos con baja frescura, tiene un menor porcentaje de formación de gel en comparación con una clara deshidratada a partir de huevos con mayor frescura. Alamprese *et al.* (2009) observaron que mientras se incrementa la edad de las gallinas, disminuye la consistencia de la clara y se forma un gel con estructura débil, también se ha observado que durante el almacenamiento en 4 días, los huevos que presentan buena frescura disminuyen sus unidades de 85 a 70 haugh, provocando una disminución de la estabilidad de espuma formada con la clara deshidratada, el pH se incrementa con el almacenamiento, dando como consecuencia la transformación de la n-ovoalbúmina a s-ovoalbúmina (menos hidrófoba que la n-ovoalbúmina). Esto interfiere con la formación de una película cohesiva en el aire- agua, causando una disminución en la estabilidad de la espuma. Por otro lado, Wu (2014) indica que el almacenamiento tiene un efecto positivo en el volumen de la espuma formada a partir de la clara deshidratada.

Una vez que ya se tiene la materia prima disponible, se inician las operaciones en la línea de producción, a continuación, se detallarán las operaciones involucradas en el proceso de obtención de clara deshidratada pasteurizada, el flujo de operaciones se muestra en la Figura 15 y en el anexo 2.

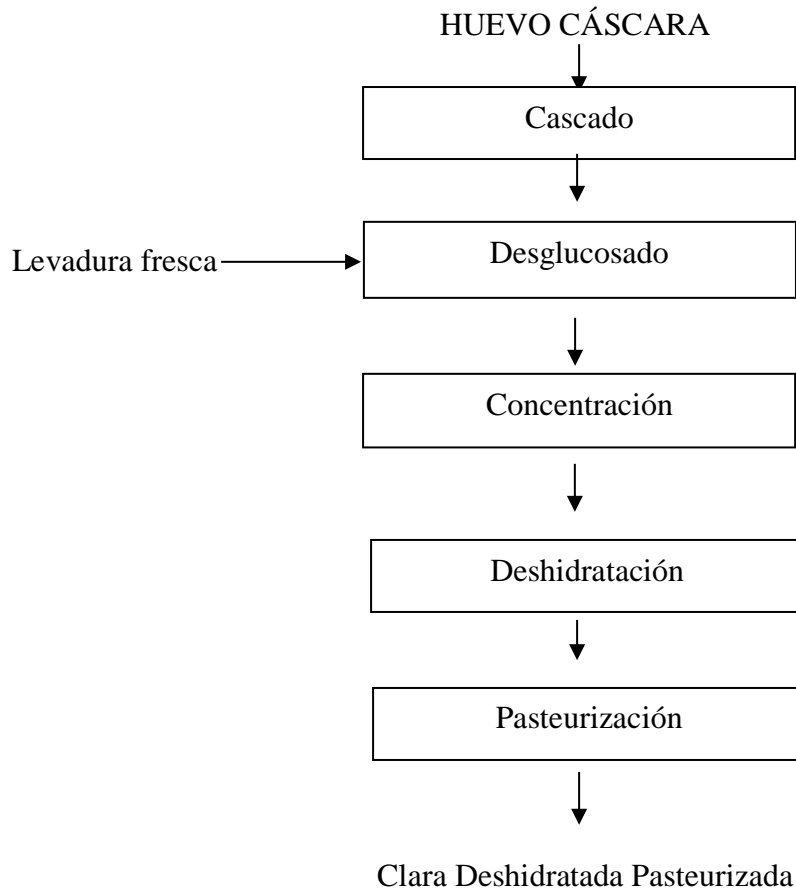


Figura 15: Flujo de operaciones para la obtención de clara deshidratada pasteurizada

3.1 CASCADO

El huevo cáscara que ingresa a la línea de producción se alimenta hacia las máquinas cascadoras, las cuales se encargan de hacer la separación de los componentes del huevo, de esta operación se obtiene yema líquida, clara líquida y cáscara. Luego la clara proveniente de la máquina cascadora, se deriva hacia los tanques de almacenamiento, entre la cascadora y los tanques están ubicados dos filtros y un intercambiador de calor, la yema y clara se enfría a menos de 4 °C.

En esta etapa es muy importante evitar que la clara se contamine con yema, pues se observó que con un porcentaje de yema mayor a 0.15 por ciento, la estabilidad de la espuma formada con la clara disminuye significativamente. Nys *et al.* (2011), indican que trazas mayores de 0.022 por ciento de yema en clara afectan las propiedades de formación de espuma, en su estudio también concluyen que parece ser imposible evitar cualquier contaminación de yema en clara, ni con las más altas tecnologías de cascado.

Las máquinas cascadoras se calibran para procesar un determinado tamaño de huevo, si el huevo esta fuera de rango es muy probable que no se separe correctamente, incluso si el huevo es muy grande, se puede romper la yema y podría contaminar la clara. Conociendo esta necesidad, algunos fabricantes de máquinas cascadoras están implementando sistemas automáticos de detección restos de yema en clara.

3.2 DESGLUCOSADO

La clara líquida proveniente del cascado es almacenada en tanques enchaquetados los cuales mantienen las temperaturas de almacenamiento menor a 4°C.

Para este proceso se utilizó el desglucosado vía fermentación con levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, se acondicionó la clara a temperatura a 32 °C y el pH a 7, para regular el pH se utilizó una solución de ácido láctico al 20 por ciento, la concentración de levadura utilizada fue 0.05 por ciento respecto al volumen de clara en el tanque, se realizó el monitoreo del nivel de glucosa cada hora, obteniendo un nivel de glucosa menor a 10 ppm en 8 horas.

Stadelman y Cotterill (1986), realizaron pruebas comparativas de desglucosado con levaduras, utilizaron *Saccharomyces apiculates* con 37 °C y 0.05 por ciento de levadura y *Saccharomyces cerevisiae*, utilizaron 37 °C y 0.1 por ciento de levadura, concluyendo que el desglucosado con *Saccharomyces apiculates* demoró 3 horas, sin embargo generó un olor muy marcado a levadura en el producto final, por otro lado el desglucosado por *Saccharomyces cerevisiae* obtuvo mejores características sensoriales y demoró 6 horas.

Luego de terminado el desglucosado, la clara se somete a un proceso de clarificación por centrifugación, este proceso es avalado por el Instituto de Estudios del Huevo (2002), quienes mencionan que la clara de huevo es sometida a un proceso de clarificado (centrifugación) para separar la levadura, y otros componentes como la chalaza y restos de yema. Este proceso es importante pues cualquier impureza puede disminuir el tiempo de vida de las membranas de ultrafiltración utilizadas en el proceso de concentración.

3.3 CONCENTRACIÓN

La clara líquida desglucosada y clarificada es bombeada a altas presiones hacia el concentrador de ultrafiltración, el porcentaje de sólidos de la clara desglucosada es de 12 por ciento en promedio, luego del proceso de concentración se llega hasta un 24 por ciento de sólidos, el concentrador retira hasta un 50 por ciento del agua presente en el producto.

El flujo de concentración es de 4000 kg/h en el ingreso y 2000 kg/h en la salida de producto concentrado, la diferencia es el agua que es retirada del producto. Cheryan (1986) indica que el sistema de ultrafiltración puede manejar 500 kg/h por filtro, el sistema utilizado tiene un total de 12 filtros, la capacidad teórica del sistema es de 6000 kg/h, por lo que se utilizó el 66.6 por ciento de la capacidad instalada.

En el proceso de concentración por ultrafiltración se observó que el porcentaje de sales del producto disminuye un 50 por ciento, el porcentaje de sal se repone adicionando cloruro de sodio, sin embargo, Nys *et al.* (2011) indica que la pérdida de sodio es favorable si se quiere obtener un producto bajo en sodio. El proceso de concentración es muy favorable para el proceso de deshidratado, pues solo tendrá que evaporar la mitad del contenido de agua original, adicionalmente mientras más sólidos tenga el producto a deshidratar, la densidad

aparente del polvo será mayor, facilitando el envasado y ahorrando espacio en el almacenamiento. Esto fue estudiado por Stadelman y Cotterill (1986), quienes mencionan que la concentración de clara de huevo antes del deshidratado significa un incremento en la eficiencia térmica, aumentando la capacidad del deshidratador, y mejora de las características fisicoquímicas del producto deshidratado como el incremento en la densidad aparente. Sin embargo, ocurren algunos cambios no deseados como la disminución de la capacidad de formar espuma.

Por otra parte, se ha observado que la capacidad de formación de gel es mayor en una clara deshidratada que tuvo el proceso de concentración previa en comparación con una clara deshidratada sin concentrar. Field *et al.* (2017) menciona que la concentración por ultrafiltración de la clara líquida incrementa las propiedades de formación de gel, esto está directamente relacionado al incremento en la concentración de proteínas.

Desde el inicio de la etapa de desglucosado, hasta el final de la etapa de concentrado, la temperatura del producto se ha mantenido en promedio 32 °C. El Instituto de Estudios del Huevo (2002) hace hincapié en que hay riesgo de deterioro del producto por el incremento de carga microbiana, por lo que luego del concentrado el producto se enfría a ≤ 4 °C y se almacena a la espera de su deshidratado. Para este enfriamiento se utiliza un intercambiador de placas con flujo en contracorriente.

3.4 DESHIDRATACIÓN

La clara se deshidrata en un secador vertical con atomizador de disco, en esta etapa se controla la temperatura de ingreso y salida de aire caliente. Las temperaturas dependen de factores como diseño del equipo y tipo de atomizador, los parámetros de deshidratado de algunos productos se pueden ver en el Anexo 3.

En esta etapa es importante verificar el estado de los filtros de ingreso de aire al sistema, pues el aire estará en contacto directo con el producto, Stadelman y Cotterill (1986), mencionan que el aire que ingresa al sistema debe ser filtrado para evitar el ingreso de partículas indeseables, adicionalmente se controla la humedad del producto final, el cual debe estar entre 6 a 8 por ciento en base húmeda.

La clara en polvo es tamizada antes del envasado para retener partículas muy grandes que se pudieran haber generado en el proceso, generalmente aglomeraciones, esto garantiza que el producto sea más homogéneo.

No se ha observado efectos negativos sobre las propiedades funcionales en el proceso de deshidratado, Mine (2008), realizó un estudio sobre los efectos del proceso de deshidratado sobre las propiedades funcionales de la clara de huevo, concluyendo que no hay efectos significativos, sin embargo, si se trabaja a temperaturas de ingreso de aire caliente menores a 125 °C se podría incrementar la firmeza del gel y la capacidad de formación de espuma. Sin embargo, en la práctica, trabajar a esa temperatura disminuye considerablemente la eficiencia del equipo.

Por la naturaleza de la línea de proceso, siempre se generan limaduras metálicas; como parte del control de calidad que se realiza al producto, se ha instalado un capturador de metales al final de la línea de proceso, antes del envasado.

El producto es envasado en bolsa de polietileno virgen de alta densidad, con espesor de 80 micrones y cajas de cartón con doble corrugado, todos los envases y empaques son sanitarios y esta operación se realiza en condiciones higiénicas adecuadas, siendo finalmente el producto debidamente rotulado. En el Anexo 1 se puede apreciar la presentación final del producto envasado.

3.5 PASTEURIZACIÓN SECA

La pasteurización por el método del *Hot room* es la etapa final para obtener clara deshidratada pasteurizada, antes del inicio tratamiento térmico, se ingresan las cajas de producto envasado dentro del cuarto, sobre parihuelas de madera, cuidando que haya espacio entre cajas para que pueda circular el aire caliente entre ellas.

Se determinó que la pasteurización seca por 3 días a 70 °C es suficiente para disminuir la carga microbiana a niveles comercialmente aceptables, manteniendo las propiedades de formación de espuma, esto fue corroborado por Talansier *et al.* (2009), quienes mencionan que los tratamientos (70 °C por 3 días, 75 °C por 5 días y 80 °C por 1 día) mantienen las propiedades de formación de espuma y ahorran energía.

Se determinó que la combinación de 21 días a 70 °C en el tratamiento térmico, se obtuvo el mejor resultado de la propiedad de formación de gel, incrementado hasta en 6 veces. Por otro lado, Baron *et al.* (2003), determinaron que con 15 días de tratamiento térmico a 75 °C logra incrementar la propiedad de formación de gel hasta en 7 veces y la propiedad de formar espuma hasta en 2.5 veces.

IV. CONCLUSIONES

- En el proceso de cascado, se determinó que la contaminación de yema en clara, por niveles superiores de 0.015 por ciento afecta significativamente las propiedades de formación de espuma.
- Se comprobó que el desglucosado evita que se genere la reacción de Maillard en el proceso de pasteurizado, después de 21 días de tratamiento térmico a 70 °C no hubo pardeamiento. El desglucosado no afectó las propiedades funcionales de la clara.
- La concentración de clara por ultrafiltración disminuyó en 50 por ciento el contenido de agua en la clara líquida e incrementó de 12 a 24 por ciento de sólidos, se pudo comprobar que las propiedades de formación de gel se incrementaron y la propiedad de formación de espuma disminuyó.
- Se comprobó que el proceso de deshidratado a temperaturas de ingreso de aire caliente entre 170 y 240 °C no afectó las propiedades funcionales de clara.
- Se determinó que la mejor combinación de tiempo y temperatura en la pasteurización seca fue de 70 °C por 21 días, obteniendo un incremento de la capacidad de formación de gel en 6 veces y la capacidad de formación de espuma en 2 veces.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar sensores de detección de contaminación de yema en clara para la obtención de claras deshidratadas con mejores propiedades de formación de espuma.
- Se recomienda estudiar alternativas para recuperar las propiedades de formación de espuma de la clara con alto porcentaje de contaminación de yema.
- Se recomienda realizar pruebas con lipasas y fosfolipasas para mejorar las propiedades de formación de espuma.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEA (Agronegocios Centro de Estudios Agropecuarios). 2000. Productos Lácteos. México Iberoamérica. 220p.
- Adamson, K. 1982. Physical chemistry of surface. 4.ed. New York, Estados Unidos, Wiley. 664p.
- Aduanas. 2017. Declaraciones de exportaciones (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.sunat.gob.pe/aduanas.html>.
- Alamprese, C; Casiraghi, E; Primavesi, L; Rossi, M; Hidalgo, A. 2005. Functional and rheological characteristics of fresh egg pasta. Italian Journal of Food Science 17:5-17.
- Alleoni, A. 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming (en línea). Scientia Agrícola 63(3):291-298. Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/sa/v63n3/29835.pdf>
- Baron, F; Nau, F; Guerin-Dubiard, C; Gonnett, F; Dubois, J; Gautier, M. 2003. Effect of dry heating on microbiological quality, functional properties and natural bacteriostatic ability of egg white after reconstitution. Journal of Food Protection 66(5):825-832.
- Bouwhuis-Enthoven. 2014. Our products (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.bouwhuis-enthoven.com/en/>.
- Cheryan, M. 1986. Ultrafiltration Handbook. New York, Estados Unidos. CRC Press. 375p.
- Cumpa, M. 2014. Producción de gallinas ponedoras en el Perú. Agro Enfoque (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://agroenf.com/2014/01/02/produccion-de-gallinas-ponedoras/>.

- D'Ambrosio, C; Arena, S; Scaloni, A. 2008. Exploring the chicken egg white proteome with combinatorial peptide ligand libraries. *Journal of proteome research* 7(8):3461-3474.
- Evans, T. 2015. Tendencias avícolas mundiales 2014: América abastece la quinta parte del huevo en el mundo (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.elsitioavicola.com/articles/2698/tendencias-avacolas-mundiales-2014-amarica-abastece-la-quinta-parte-del-huevo-en-el-mundo/>.
- Froning, G; Peters, D; Muriana, P; Eskridge, K; Travnicek, D; Summer, S. 2002. *International egg pasteurization manual*. Estados Unidos. American Egg Board.
- Halling, P. 1981. Protein: stabilized foams and emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15:155-203.
- Hammershoj, M; Rasmussen, H; Cartens, J; Pedersen, H. 2006. Dry pasteurization of egg albumen powder in a fluidized bed. Effect on functional properties: Gelation and foaming. *International Journal of Food Science and Technology* 41:263-274.
- Huopalahti, R; Lopez-Fandiño, R; Anton, M; Schade, R. 2007. *Bioactive Egg Compounds*. Berlín, Alemania. Springer. 298p.
- Instituto de Estudios del Huevo. 2009. *El gran libro del huevo* (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/el-gran-libro-del-huevo.pdf>.
- Instituto de Estudios del Huevo. 2007. *Manejo del huevo y los ovoproductos en la cocina* (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/Manejo-del-huevo-y-los-ovoproductos-en-la-cocina.pdf>.
- Instituto de Estudios del Huevo. 2002. *Lecciones sobre el huevo* (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/Lecciones-del-huevo-completo.pdf>.
- Lechevalier, V; Jeantet, R; Arhaliass, A; Legrand, J; Nau, F. 2007. Egg white drying: Influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities. *Journal of Food Engineering* 83:404-413.
- Lowe, B. 1955. *Experimental cookery*. 4 ed. New York, Estados Unidos. Wiley. 573p.

- Madrid, A; Cenzano, I. 2003. Tecnología de la elaboración de los helados. Madrid, España. AMV Ediciones. 198p.
- Mine, Y. 1996. Effect of pH during the dry heating on the gelling properties of egg white proteins. Estados Unidos. Food Research International 29(2):155-161.
- Mine, Y. 2008. Egg bioscience and biotechnology. New York, Estados Unidos. Wiley. 366p.
- Mujumdar, A. 2006. Handbook of industrial drying. 3 ed. New York, Estados Unidos. CRC Press. 352p.
- Nys, Y; Bain, M; Van, F. 2011. Improving the safety and quality of eggs and eggs products. New York, Estados Unidos. Woodhead Publishing Limited. 602p.
- Ovobel. 2017. Equipment and engineering for egg processing (en línea). Consultado 10 de set. 2017. Disponible en www.ovobel.com.
- Ovosur. 2017. Productos (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en www.ovosur.com.
- Palumbo, M; Beers, S; Bhaduri, S. 1996. Thermal resistance of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella spp.* In liquid egg white. Journal of Food Protection 59:1182-1186.
- Pelbo. 2017. Egg Breaking and Processing Equipment (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en www.pelbo.it.
- Phillips, L; Whitehead, D; Kinsella, J. 1994. Structure-function properties of food proteins. New York, Estados Unidos. Academic Press. 271p.
- RAE (Real Academia Española). Diccionario de la lengua española (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://dle.rae.es/index.html>.
- Ratti, C. 2009. Advances in food dehydration. New York, Estados Unidos. CRC Press. 611p.
- Ruiz, B. 2015. Retoma su camino la industria avícola latinoamericana (en línea). Industria Avícola 62(3):12-30. Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.industriaavicola-digital.com/201503/index.php?startid=12#/14>.
- Sanovo. 2017. Turning eggs into valuable business (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en www.sanovo.com.

- Sebring, M. 1995. Desugarization of egg products. *Food Products Press* (4):323–331.
- Shitamori, S; Kojima, E; Nakamura, R. 1984. Changes in heat-induced gelling properties of ovalbumin during its conversion to s-ovalbumin. *Agriculture and Biological Chemistry* 46:1539-1541.
- Smith, P. 2011. *Introduction to food process engineering*. 2 ed. New York, Estados Unidos. Springer. 510p.
- Sprayprocess. 2017. *Spray Process* (en línea). Consultado 10 set. 2017. Disponible en www.sprayprocess.com.
- Stadelman, W; Cotterill, O. 1986. *Egg science and technology*. 3 ed. Basingstoke, Reino Unido. Macmillan Education. 449p.
- Talansier, E; Loisel, C; Dellavalle, D; Desrumaux, A; Lechevalier, V; Legrand, J. 2009. How optimising dry heat-treatment of egg white powders regarding foam and interfacial film properties, *Lebensmittel wissenschaft und technologie* 42:496-503.
- Wu, J. 2014. *Food Processing: Principles and Applications*. Eggs and egg products processing. 2 ed. New York, Estados Unidos. Wiley. 455p.

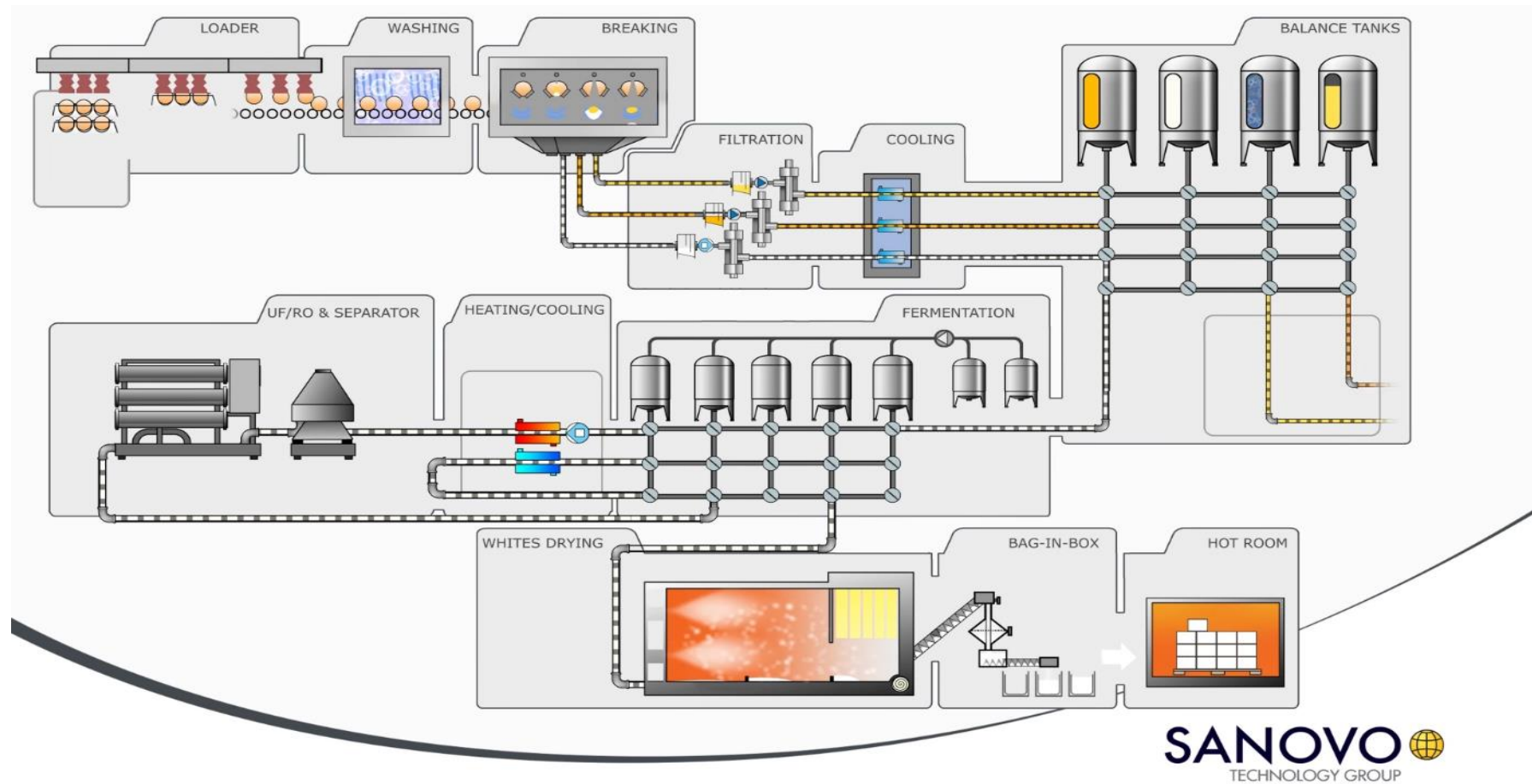
VII. ANEXOS

ANEXO 1: PRESENTACIÓN EN CAJA DE CLARA DESHIDRATADA



FUENTE: SANOVO (2017)

ANEXO 2: ESQUEMA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE CLARA DESHIDRATADA PASTEURIZADA UTILIZANDO UN DESHIDRATADOR HORIZONTAL



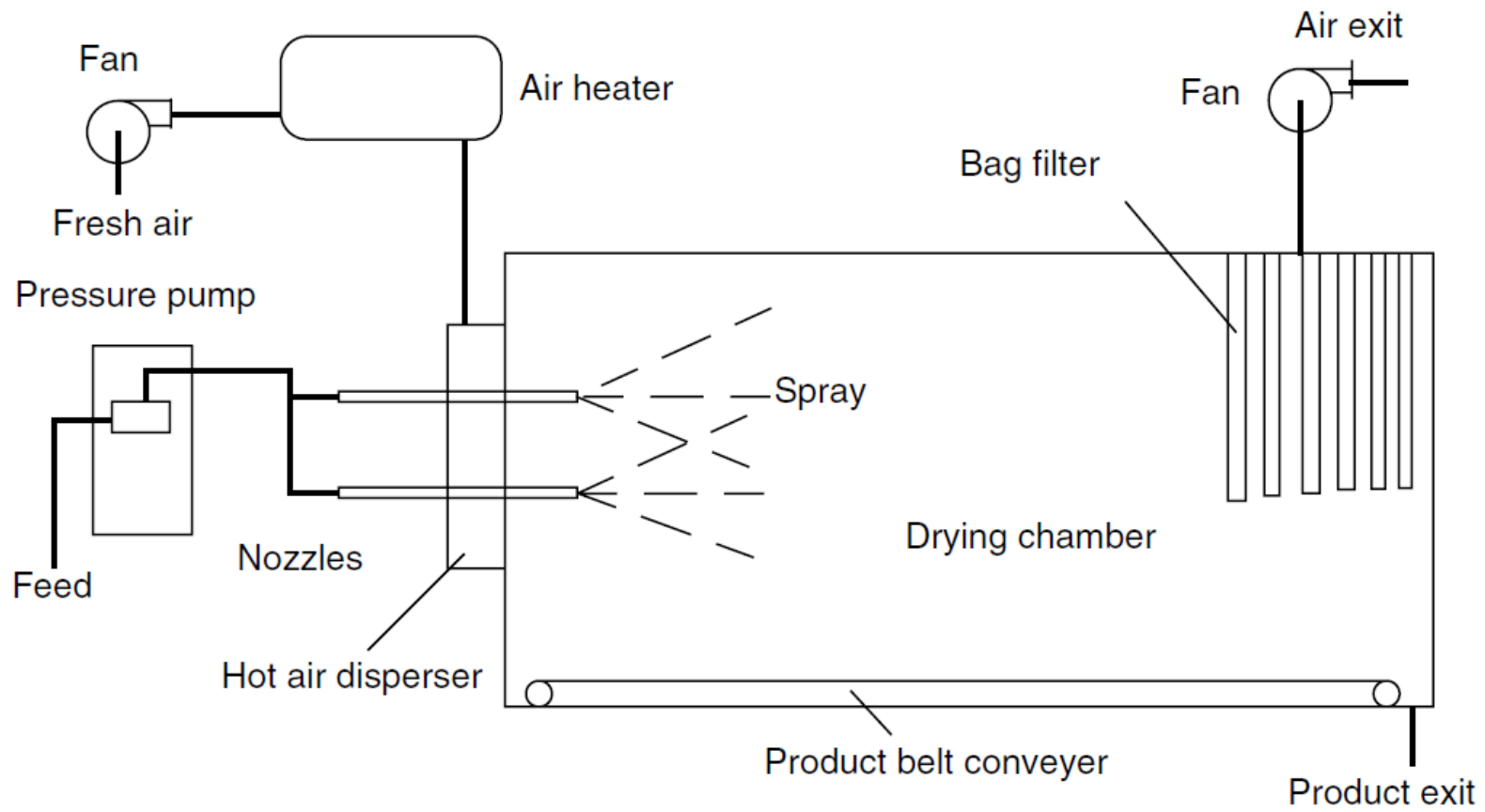
FUENTE: SANOVO (2017)

ANEXO 3: PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE ALGUNOS MATERIALES SECADOS POR ATOMIZACIÓN

Material	Moisture		Atomizing Device	Air Temperature		
	Inlet (%)	Outlet (%)		Liquid–Air Layout	Inlet (°C)	Outlet (°C)
Skim milk ($D_{3,2} \approx 60 \mu\text{m}$)	48–55	4	Wheel Pressure nozzle (170–200 bar)	95–100		
Whey	50	4	Wheel	Cocurrent	150–180	70–80
Milk	50–60	2.5	Wheel Pressure nozzle (100–140 bar)	Cocurrent	170–200	90–100
Whole eggs	74–76	2–4	Wheel Pressure nozzle	Cocurrent	140–200	50–80
Coffee (instant)	75–85	3–3.5	Pressure nozzle	Cocurrent	270	110
($D_{3,2} \approx 300 \mu\text{m}$)	75–80	3–3.5	Pressure nozzle	Cocurrent	270	110
Tea (instant)	60	≈ 2	Pressure nozzle (27 bar)	Cocurrent	190–250	90–100
PVC emulsions:						
90% particles: $>80 \mu\text{m}$			Pressure nozzle			
5% particles: $>60 \mu\text{m}$	40–70	0.01–0.1	Rotary cup	Cocurrent	165–300	100
Melamine-urethane	30–50	≈ 0	Wheel 140–160 m/s	Cocurrent	200–275	65–75
Detergents:						
Particles: 95–100% $> 60 \mu\text{m}$ 2–3% $> 150 \mu\text{m}$	35–50	8–13	Pressure nozzle (30–60 bar)	Countercurrent	350–400	90–110
TiO_2	Up to 60	0.5	Wheel Pressure nozzle	Cocurrent	600	120
				Mixed flow		
Kaolin	35–40	1	Wheel	Cocurrent	600	120
Ammonium phosphate	60	3–5	Pressure nozzle	Cocurrent	400	110–195
Superphosphate	500–600	<110				
Cream	52–60	4	Wheel	Cocurrent		
Processed cheese	60	3–4	Wheel	Cocurrent		
Whole eggs	74–76	2–4	Wheel			

FUENTE: Mujumdar (2006)

ANEXO 4: ESQUEMA DE UN DESHIDRATADOR HORIZONTAL



FUENTE: Mujumdar (2006)