



**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA**

**DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CLARA DE HUEVO EN POLVO DE FÁCIL
REHIDRATACIÓN**

Línea de investigación:

Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Alimentaria

Autora:

Rondinel Buleje, Rosalinda

Asesor:

Candela Díaz, José Eduardo

ORCID: 0000-0002-4198-5745

Jurado:

Marín Machuca, Olegario

Aldave Palacios, Gladis Josefina

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima - Perú

2024

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CLARA DE HUEVO EN POLVO DE FÁCIL REHIDRATACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.unicauca.edu.co Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
4	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	1%
7	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
8	www.jimenezrosales.es Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA

**DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA CLARA DE HUEVO EN POLVO DE FÁCIL
REHIDRATACIÓN**

Línea de Investigación:
Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Alimentario

Autor:

Rondinel Buleje, Rosalinda

Asesor:

Candela Díaz, José Eduardo
ORCID: 0000-0002-4198-5745

Jurado:

Marín Machuca, Olegario
Aldave Palacios, Gladis Josefina
Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima – Perú

2024

Dedicatoria

A mi hermano, quien siempre creyó en mí y me alentó a enfrentar cualquier reto.
A mis padres, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la dedicación.

Agradecimientos

A todas las personas que me apoyaron, confiaron en mí y me inspiraron para alcanzar esta meta; y a mi centro de labores, por la confianza y el respaldo que me permitieron hacer realidad este proyecto.

ÍNDICE

Resumen	X
Abstract	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción y formulación del problema	2
1.2 Antecedentes.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Hipótesis	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Huevo de gallina.....	10
2.2 Estructura del huevo en cáscara.....	10
2.2.1 Yema.....	11
2.2.2 Clara.....	12
2.2.3 Membranas testáceas (interna y externa).....	12
2.2.4 Cáscara.....	13
2.2.5 Cutícula.....	14
2.2.6 Cámara de aire	14
2.2.7 Composición proximal	14

2.3	Ovoproductos.....	15
2.3.1	Tipos de ovoproductos.....	16
2.3.2	Proceso de obtención de los ovoproductos.....	18
2.3.3	Beneficios del uso de ovoproductos en la industria alimentaria	20
2.3.4	Propiedades funcionales de los ovoproductos	21
2.3.5	La clara de huevo como fuente de proteína.....	22
2.4	Tecnologías para el desarrollo de una clara deshidratada de fácil hidratación ...	25
2.4.1	Aglomeración en Lecho Fluidizado	25
2.4.2	Tratamientos Enzimáticos	26
2.4.3	Empleo de emulsificantes.....	26
III.	MÉTODO.....	27
3.1	Tipo de investigación.....	27
3.2	Ámbito temporal y espacial.....	27
3.3	Variables.....	27
3.3.1	Variables independientes.....	27
3.3.2	Variables dependientes	27
3.4	Población y muestra.....	27
3.5	Instrumentos	28
3.5.1	Materia prima	28
3.5.2	Insumos o aditivos.....	28

3.5.3	Equipos	28
3.5.4	Materiales	28
3.5.5	Materiales de oficina	29
3.6	Procedimientos	29
3.6.1	Obtención de la materia prima.....	29
3.6.2	Obtención de la enzima e instantaneizante:.....	30
3.6.3	Diseño Experimental:	30
3.6.4	Muestreo y análisis	32
3.7	Análisis de datos	33
IV.	RESULTADOS.....	38
4.1	Tratamiento 1: Agente Instantaneizante	42
4.2	Tratamiento 2: Hidrólisis.....	44
4.3	Tratamiento 3: Aglomeración por lecho fluidizado	48
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
VI.	CONCLUSIONES	53
VII.	RECOMENDACIONES	54
VIII.	REFERENCIA.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición proximal de la clara, yema y huevo</i>	15
Tabla 2 <i>Beneficios del uso de ovoproductos</i>	20
Tabla 3 <i>Propiedades funcionales de los ovoproductos</i>	21
Tabla 4 <i>Puntuación de aminoácidos esenciales por gramo de proteína en la clara de huevo.....</i>	23
Tabla 5 <i>Composición de aminoácidos de caseína, clara de huevo en polvo y aislados de proteína de soja (g/100g)</i>	24
Tabla 6 <i>Diseño experimental del Tratamiento 1</i>	31
Tabla 7 <i>Diseño experimental del Tratamiento 2</i>	31
Tabla 8 <i>Diseño experimental del Tratamiento 3</i>	32
Tabla 9 <i>Dispersabilidad obtenida por tipo de Tratamiento y su respectivo escenario ..</i>	38
Tabla 10 <i>Promedio de dispersabilidad por tipo de Tratamiento</i>	39
Tabla 11 <i>Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de los Tratamientos</i>	41
Tabla 12 <i>Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni para las comparaciones entre los Tratamientos.....</i>	41
Tabla 13 <i>Promedio de dispersabilidad por escenario del Tratamiento 1</i>	42
Tabla 14 <i>Test Kruskal Wallis entre los Escenarios del Tratamiento 1</i>	43
Tabla 15 <i>Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni entre los Escenarios del Tratamiento 1.....</i>	44
Tabla 16 <i>Promedio de dispersabilidad por escenarios del Tratamiento 2</i>	45
Tabla 17 <i>Test Kruskal Wallis entre los Escenarios del Tratamiento 2</i>	46
Tabla 18 <i>Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni entre los Escenarios del Tratamiento 2.....</i>	47

Tabla 19 <i>Promedio de dispersabilidad por tipo de escenario del Tratamiento 3</i>	48
Tabla 20 <i>Test Kruskal Wallis entre los Escenarios del Tratamiento 3</i>	49
Tabla 21 <i>Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni entre los Escenarios del Tratamiento 3</i>	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Estructura del huevo de gallina</i>	11
Figura 2 <i>Yema de huevo</i>	12
Figura 3 <i>Membrana interna de la cáscara de huevo de gallina</i>	13
Figura 4 <i>Representación ilustrativa de la cáscara de huevo de gallina</i>	14
Figura 5. <i>Quebramiento de huevo en cáscara en una máquina de cascado</i>	17
Figura 6 <i>Ovoproductos</i>	18
Figura 7 <i>Proceso básico de elaboración de los ovoproductos líquidos y secos.</i>	19
Figura 8 <i>Dispersabilidad vs Tratamiento</i>	40
Figura 9 <i>Dispersabilidad versus Escenarios del Tratamiento 1</i>	42
Figura 10 <i>Gráfica de valores individuales: Dispersabilidad versus Escenario</i>	45
Figura 11 <i>Dispersabilidad versus Escenarios del Tratamiento 3</i>	48

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la mejor tecnología para obtener clara de huevo en polvo de fácil rehidratación. Se evaluaron tres tratamientos: uso de lecitina de girasol como instantaneizante (T1), hidrólisis de proteínas con bromelina (T2), y aglomeración en lecho fluidizado con agua (T3). Cada tratamiento incluyó cuatro escenarios para optimizar parámetros. Los resultados, analizados mediante Estadística Descriptiva, prueba de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn, mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Las medianas de dispersabilidad fueron 0,589 para T1, 0,770 para T2 y 0,971 para T3. Se determinó que un mayor uso de lecitina mejora la dispersabilidad en T1, pero con limitaciones organolépticas y nutricionales. En T2, la hidrólisis acelera la rehidratación sin lograr una dispersabilidad instantánea, y no se observaron diferencias significativas entre escenarios. En T3, la adición de agua durante la aglomeración incrementa la dispersabilidad, logrando una clara instantánea tras el procesamiento. En conclusión, la aglomeración en lecho fluidizado (T3) se identificó como el método más eficiente para producir clara de huevo en polvo de fácil rehidratación.

Palabras clave: dispersabilidad, instantaneizante, hidrólisis, aglomeración.

ABSTRACT

This research aimed to determine the best technology for producing easily rehydrated egg white powder. Three treatments were evaluated: the use of sunflower lecithin as an instantizing agent (T1), protein hydrolysis with bromelain (T2), and fluidized bed agglomeration with water (T3). Each treatment included four scenarios to optimize parameters. Results analyzed using Descriptive Statistics, Kruskal-Wallis test, and Dunn's Post-hoc test, showed significant differences between treatments. The median dispersibility values were 0.589 for T1, 0.770 for T2, and 0.971 for T3. It was concluded that increased lecithin usage improved dispersibility in T1 but presented organoleptic and nutritional limitations. In T2, hydrolysis accelerated rehydration but did not achieve instant dispersibility, with no significant differences observed across scenarios. In T3, adding more water during agglomeration increased dispersibility, resulting in an instant egg white powder after processing. In conclusion, fluidized bed agglomeration (T3) was identified as the most efficient method for producing easily rehydrated egg white powder.

Keywords: dispersibility, instantizing, hydrolysis, agglomeration.

I. INTRODUCCIÓN

La capacidad de los seres humanos para recolectar, almacenar y procesar alimentos ha sido un elemento fundamental en nuestra evolución. A medida que la población ha ido creciendo, la producción y el consumo de alimentos se han vuelto más complejos, ofreciendo una amplia gama de alimentos seguros, sabrosos, nutritivos y apropiados para diversas necesidades de los consumidores (Latham, 2002).

La tecnología de alimentos se ha convertido en una importante disciplina, encargada de transformar materias primas de origen agroalimentario en productos con mayor durabilidad y valor añadido destinados al consumo humano (Castro, 2011). En el ámbito académico y en la industria, la ciencia alimentaria está experimentando avances significativos, con empresas que cuentan con laboratorios de alimentos bien equipados (Latham, 2002) con el fin de desarrollar productos manufacturados acorde a la necesidad del mercado.

Por otro lado, en la actualidad, los consumidores son cada vez más conscientes de la importancia de la nutrición en su salud y bienestar, en particular la necesidad de obtener suficientes proteínas en su dieta diaria. Las proteínas están compuestas por 20 aminoácidos, nueve de los cuales son esenciales, y desempeñan un papel fundamental en la nutrición humana (Quesada y Gómez, 2019).

En este contexto, el huevo de gallina se destaca como un alimento altamente nutritivo y versátil, proporcionando proteínas de la más alta calidad y una amplia gama de nutrientes altamente biodisponibles (Santana Porbén, 2008).

Sin embargo, las industrias que utilizan huevos en sus productos enfrentan desafíos logísticos, como el almacenamiento, cascado manual, separación de sus partes y la gestión de

cáscaras como residuos. Esto ha llevado a la evolución de la producción de ovoproductos, aquellos que, a nivel industrial, separan el huevo en cáscara en 3 subproductos principales: clara, yema y cáscara, para luego ser procesados como huevos enteros, claras y yemas en estado líquido, congelados o en polvo, los cuales además tienen propiedades funcionales diferenciadas entre sí (Ramírez et al, 2022).

No obstante, la deshidratación de ovoproductos plantea desafíos específicos, ya que la grasa superficial y grupos de proteína hidrofóbicos dificultan su rápida hidratación, en particular, la clara deshidratada no se disuelve instantáneamente y tiende a formar grumos al entrar en contacto con el agua debido a una desnaturalización de la proteína en la superficie de las partículas de polvo (Castillo, 2022).

Es así como, dada la creciente demanda de suplementos proteicos de alto valor nutricional (Vargas del Río et al., 2022), existe una oportunidad en el mercado para desarrollar una clara de huevo deshidratada competitiva. Esta investigación se centra en el desarrollo de una clara de huevo en polvo que se hidrate de manera rápida y sencilla mediante un proceso tecnológico específico.

El objetivo principal es aumentar la velocidad de hidratación de la clara de huevo en polvo, lo que representaría un avance significativo en la industria alimentaria. Para lograrlo, evaluaremos tres efectos tecnológicos distintos sobre la clara de huevo: el uso de un instantaneizante, hidrólisis de proteínas y aglomeración.

1.1 Descripción y formulación del problema

El mercado global de ingredientes proteicos ha experimentado un crecimiento significativo, alcanzando un valor de 77,69 mil millones de dólares en el 2022 y proyectando un aumento anual del 5,8% en ingresos desde 2023 hasta 2030. Este auge se atribuye en gran parte a la creciente demanda de productos alimenticios que incorporan ingredientes proteicos, como margarina,

embutidos, panadería, cremas, yogur y salchichas lácteas. Además, los consumidores mayores y preocupados por la salud impulsan la industria, y se anticipa un aumento en la innovación de proteínas con una amplia gama de aminoácidos y funciones específicas (Grand View Research, 2023). Con una población mundial proyectada de 9 mil millones de personas para 2050, el desafío de satisfacer las necesidades de proteínas se hace evidente (Porritt y McCarthy, 2020).

La ingesta diaria recomendada de proteínas se estima en aproximadamente 0,75 gramos por kilogramo de masa corporal (Food and Agriculture Organization [FAO], 1985). Sin embargo, a nivel mundial, el consumo de proteínas en la mayoría de las regiones supera este nivel, lo que genera dificultades para abastecer a una población en constante crecimiento (FAOStat). Este desafío es particularmente evidente en Perú, donde se ha observado un aumento del 20% en la ingesta promedio de proteínas en adultos entre 2005 y 2018, alcanzando 61,0 gramos diarios en 2018. A pesar de este incremento, un 13,4% de la población aún no logra cubrir sus requerimientos diarios de proteínas, lo que indica una creciente preocupación por la disponibilidad de proteínas en los años venideros (Centro Nacional de Alimentación y Nutrición [CENAN], 2018).

Los productos de origen animal, como la carne, los huevos y los productos lácteos, son conocidos por ser fuentes de proteínas de alta calidad, ricas en aminoácidos y nutrientes esenciales para el organismo. Estos alimentos no solo proporcionan proteínas, sino también vitaminas, minerales y ácidos grasos esenciales que son fácilmente absorbidos y utilizados por el cuerpo humano (Tiensin, 2023). Sin embargo, la insuficiente ingesta de proteínas, conocida como malnutrición, tiene efectos adversos en la salud y el desarrollo de las personas, incluyendo anemia, osteoporosis, debilidad, deficiencias en el sistema inmunológico, baja estatura, disminución de la masa muscular y deficiencias cognitivas (Guoyao, 2016).

Para satisfacer estas necesidades, se han desarrollado métodos por los que se puede evaluar la calidad de una fuente de proteína. Estos métodos se basan en el perfil de aminoácidos y en la eficacia con la que se digiere la proteína. Las proteínas de origen animal son reconocidas por proporcionar proteínas de alta calidad debido a su contenido elevado de aminoácidos esenciales, siendo la proteína de huevo la de mayor calidad y se utiliza como punto de referencia para evaluar otras proteínas, esto debido a su perfil completo de aminoácidos y su alta tasa de digestibilidad (Donald y Nancy, 2009).

La evaluación química de una fuente de proteína implica medir la eficacia de su uso en comparación con la proteína presente en el huevo entero (FAO, 2013). Según métodos de evaluación de calidad proteica como el PDCAAS, la proteína contenida en la clara del huevo exhibe la valoración más elevada (Suárez et al., 2006), y el DIAAS la posiciona como referencia principal para calificar la calidad de otras fuentes proteicas (FAO, World Health Organization [WHO], 1991).

Por otro lado, la versatilidad culinaria de los huevos es un factor que contribuye a su popularidad. Los huevos se adaptan con facilidad a una amplia variedad de productos alimenticios, desde productos horneados hasta salsas y aderezos, y pueden ser preparados de diversas formas, como hervidos, fritos o revueltos. Esta adaptabilidad los convierte en una fuente de proteínas conveniente y accesible para muchos consumidores (Grand View Research, 2023).

Las últimas tendencias en la industria de alimentos y bebidas indican un crecimiento notable en el uso de proteínas de huevo en polvo, especialmente en el ámbito de la nutrición deportiva (Transparency Market Research, 2018). Sin embargo, la clara de huevo resultante de la operación de deshidratado presenta desafíos; esto debido a la presencia de grasa superficial y grupos de proteína hidrofóbicos que dificultan su rápida hidratación. Esto significa que la clara de

huevo deshidratada no se disuelve de inmediato, sino que tiende a formar grumos al mezclarse con agua, debido a la desnaturalización de las proteínas en la superficie de las partículas en polvo. (Castillo, 2022).

En este contexto, y considerando la creciente demanda de suplementos proteicos de alto valor nutricional (Vargas del Río et al., 2022), cobra relevancia el desarrollo de una clara de huevo en polvo que se hidrate de manera rápida y eficiente, superando las limitaciones actuales. Este avance no solo satisface las demandas del mercado en constante crecimiento, sino que también proporciona una solución de alto valor para los consumidores que buscan una nutrición completa, con proteína de la mejor calidad, especialmente en el ámbito de la nutrición deportiva y la alimentación saludable.

Mediante la tecnología y la optimización de los parámetros de proceso adecuados, es posible desarrollar una clara de huevo en polvo de fácil rehidratación. Este desarrollo no solo ampliará su aplicación en una variedad de productos alimenticios, sino que también proporcionará una fuente de proteínas de alta calidad biológica, contribuyendo a la nutrición de la población.

Por lo anteriormente mencionado, y referente a las cuestiones planteadas, nos formulamos la siguiente interrogante: ¿Qué tecnología y parámetros de proceso son los adecuados para la obtención de una clara de huevo en polvo de fácil rehidratación?

1.2 Antecedentes

A lo largo de la historia, la deshidratación ha sido una de las técnicas más empleadas para conservar los alimentos. Su objetivo es mantener la calidad de los alimentos al disminuir su contenido de humedad y, por ende, su actividad de agua (A_w), previniendo así su deterioro y la contaminación microbiológica durante su almacenamiento. Desde una perspectiva comercial, esta técnica presenta una ventaja significativa: al transformar alimentos frescos en deshidratados, se

agrega valor a la materia prima utilizada. Además, se logra reducir los gastos de transporte, distribución y almacenamiento debido a la disminución en el peso y volumen del producto en su estado fresco (Marín et al., 2006).

Uno de los desafíos clave en la deshidratación de proteínas, y en particular de la clara de huevo, radica en la capacidad de lograr una dispersión rápida y uniforme de la proteína deshidratada en líquidos, ya que esto afecta directamente la funcionalidad y calidad de los productos finales. La facilidad de dispersión es esencial para lograr una distribución homogénea del producto en formulaciones de alimentos y bebidas, lo que a su vez influye en la textura, sabor y apariencia del producto final en el que se le aplique (Castillo, 2022).

Debido a lo anteriormente mencionado, el presente trabajo de tesis tiene como objetivo determinar el mejor tipo de tecnología, y dentro de esta el mejor escenario, que logre una rápida rehidratación de la clara de huevo en polvo. Las tecnologías evaluadas son: agente instantaneizante, hidrólisis y aglomeración por lecho fluidizado.

La selección del mejor método se basará en la evaluación de dispersabilidad de cada uno de los Tratamientos y sus respectivos escenarios. Este método es cuantitativo y se basa en el porcentaje de clara en polvo hidratada en un determinado tiempo.

El resultado de esta investigación generará una clara de huevo en polvo más competitiva en la industria de proteínas en polvo, permitiendo el desarrollo de productos de alta calidad con una clara de huevo de fácil rehidratación.

1.3 Objetivos

- Objetivo general

Determinar la tecnología y parámetros de proceso más adecuados para la obtención de una clara de huevo en polvo de fácil rehidratación.

- **Objetivos específicos**

- Determinar cuál de los Tratamientos tecnológicos logra mejorar la media de dispersabilidad de la clara de huevo en polvo.
- Determinar cuáles son los parámetros que generan el mayor valor de dispersabilidad al tratar la clara de huevo con un agente instantaneizante.
- Determinar cuáles son los parámetros que generan el mayor valor de dispersabilidad al tratar la clara de huevo bajo un proceso de hidrólisis.
- Determinar cuáles son los parámetros que generan el mayor valor de dispersabilidad al tratar la clara de huevo en un lecho fluidizado.

1.4 Justificación

Las proteínas de la clara de huevo son reconocidas por su alta calidad, con un puntaje de aminoácidos de 100, similar al de la leche y la soja. (Matsuoka et al., 2019). Además, se ha demostrado que, a pesar de tener puntajes de aminoácidos y tasas de digestión y absorción similares, el valor de utilización neta de proteínas (NPU) de las proteínas de clara de huevo, tanto en su forma cocida como cruda, supera el de las proteínas de suero de leche y soja (Matsuoka et al., 2017).

Esta característica hace que la proteína de clara de huevo sea atractiva para su uso como suplemento nutricional, especialmente en bebidas o suplementos proteicos, donde se busca una composición equilibrada de aminoácidos para el desarrollo muscular y la recuperación después del ejercicio.

En el ámbito deportivo, las proteínas son esenciales para la síntesis muscular y la reparación de tejidos después del esfuerzo físico. Tras el ejercicio, los músculos son más receptivos a la absorción de aminoácidos, lo que favorece la síntesis de proteínas musculares. Se recomienda una ingesta regular de 20 gramos de proteínas en cada comida, así como después del entrenamiento y antes de dormir, lo que ha demostrado mejorar la recuperación muscular. Consumir alrededor de 20-25 gramos de proteína provenientes de huevos, proporcionando 8-10 gramos de aminoácidos esenciales, puede impulsar la síntesis proteica luego de un ejercicio de resistencia en adultos jóvenes. Adicionalmente, en adultos sedentarios, se sugiere consumir al menos 0,8-1,0 gramo de proteína por kilogramo de peso corporal al día para mantener el equilibrio proteico. Sin embargo, en deportistas y especialmente en deportes de alta intensidad, las necesidades pueden ser mayores, oscilando entre 1,2 y 2,0 gramos por kilogramo al día, dependiendo de las demandas físicas individuales, que pueden variar significativamente según el peso corporal y las exigencias de la disciplina deportiva (López-Sobaler et al., 2017).

En la actualidad, existe un creciente interés en consumir alimentos que no solo proporcionen nutrientes, sino que también beneficien las funciones corporales. Entre estos, se destacan aquellos con alto contenido proteico. Esta preocupación por la salud, bienestar y calidad de vida ha convertido a la actividad física y la nutrición en elementos clave para los deportistas de élite, quienes buscan estrategias nutricionales precisas para satisfacer sus mayores necesidades de proteínas y energía, optimizando su rendimiento y evitando deficiencias. Esta tendencia ha normalizado el uso de productos alimenticios para mejorar el rendimiento, reducir la fatiga, acelerar la recuperación entre sesiones de entrenamiento, mejorar la composición corporal, reducir lesiones, aumentar las reservas de energía y mantener la salud en general (Kiertscher y DiMarco, 2013).

La investigación orientada a mejorar la capacidad de rehidratación de la clara de huevo en polvo no solo beneficia su aplicación en la industria alimentaria, sino que también tiene un impacto directo en su utilidad como suplemento nutricional. Una hidratación instantánea asegura su aceptabilidad por parte del consumidor, promoviendo su aplicación en dietas deportivas o como parte de un plan nutricional.

En resumen, el desarrollo de una clara de huevo deshidratada para su uso en bebidas proteicas como suplemento nutricional va en línea con la búsqueda de ingredientes naturales, estables y nutritivos, ofreciendo una solución funcional y conveniente para las necesidades de consumo de proteínas en diversas aplicaciones dietéticas y deportivas.

1.5 Hipótesis

La tecnología y parámetros de proceso determinados son los más adecuados para la obtención de una clara de huevo en polvo de fácil rehidratación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Huevo de gallina

A lo largo de la historia, los huevos de gallina han sido reconocidos como una fuente valiosa de nutrición, y se ha constatado que no existen diferencias sustanciales en la composición química o el valor nutricional entre los huevos fertilizados y no fertilizados, siempre y cuando los últimos estén frescos (Yamamoto et al., 1996). El huevo de gallina es un alimento ampliamente consumido en todo el mundo y desempeña un papel fundamental en las dietas de poblaciones con acceso limitado a proteínas de origen animal. Además, su consumo ha experimentado un resurgimiento reciente, ya que se ha incorporado a la alimentación de personas que buscan beneficios adicionales para su salud, como los ovolactovegetarianos que lo consideran esencial en su dieta o los deportistas que lo consumen por su proteína de alta calidad para el desarrollo muscular (Instituto de Estudios del Huevo [IEH], 2009).

La Real Academia Española (RAE, 2014) define al huevo como un "cuerpo redondeado, de tamaño y dureza variables, producido por las hembras de aves o de otras especies animales (como las gallinas) y que contiene el germen del embrión y las sustancias destinadas a su nutrición durante la incubación" (<https://dle.rae.es/huevo>). Sin embargo, para más precisión, es apropiado utilizar el término "huevo en cáscara" en lugar de simplemente "huevo". Esto se justifica porque el término "huevo" hace referencia a la combinación natural de yema y clara en su estado líquido (Castillo, 2022).

2.2 Estructura del huevo en cáscara

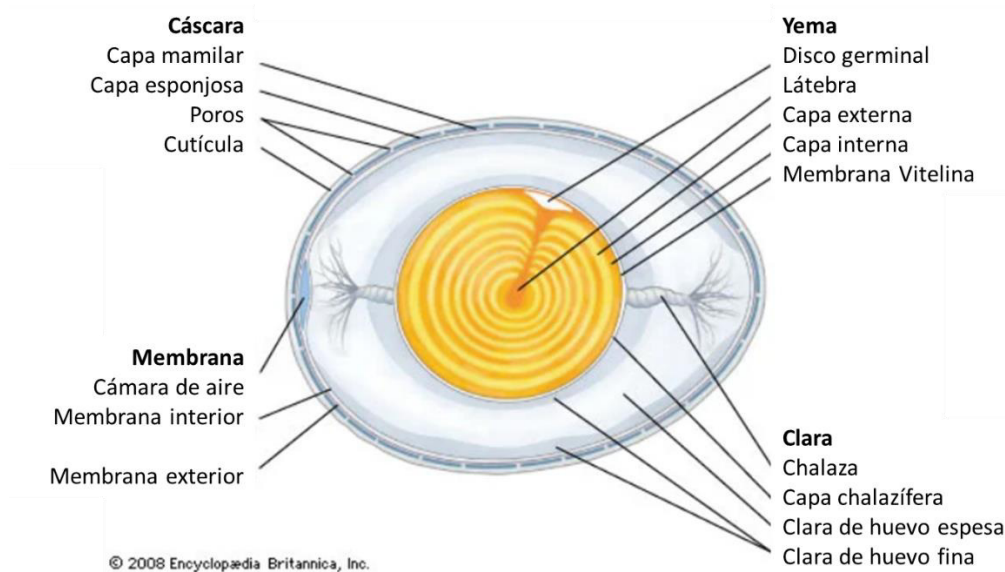
Un huevo de gallina está compuesto de 3 partes principales: la cáscara, la clara (también llamada albúmina) y la yema. La yema está rodeada por una capa de clara, y esta estructura se

encuentra recubierta por una cáscara resistente (Yamamoto et al., 1996). Si observamos el huevo en cáscara desde un corte transversal, se puede apreciar cada una de sus partes principales, las cuales están separadas entre sí por membranas que mantienen su integridad (IEH, 2023).

La ilustración muestra un esquema de la estructura del huevo, con cada una de sus partes:

Figura 1

Estructura del huevo de gallina



Nota. Tomado de *Structural components of an egg*, por Kathleen Kuiper, 2023, Encyclopedia Britannica, Inc. (Kuiper, 2023).

2.2.1 *Yema*

Es la sección central y de tonalidad anaranjada en el interior del huevo. Representa aproximadamente del 30% al 33% del peso total del huevo de gallina y se compone de varios estratos de vitelo en tonos blanco y amarillo, además de incluir un disco germinal y membrana vitelina. Esta región alberga las células germinales, donde se efectúa el proceso de fecundación y

posteriormente se lleva a cabo el desarrollo embrionario. Este proceso se viabiliza gracias a la alta concentración de nutrientes que se encuentra en la yema (IEH, 2023).

Figura 2

Yema de huevo



Nota. Tomado de *Yolk*, por Amy Tikkanen, 2018, Encyclopedia Britannica, Inc. (Tikkanen, 2018)

2.2.2 Clara

Se compone de 4 capas que forman el llamado “saco albuminoideo”, cuya función es proteger a la yema. Representa alrededor del 60% del peso total del huevo (IEH, 2023).

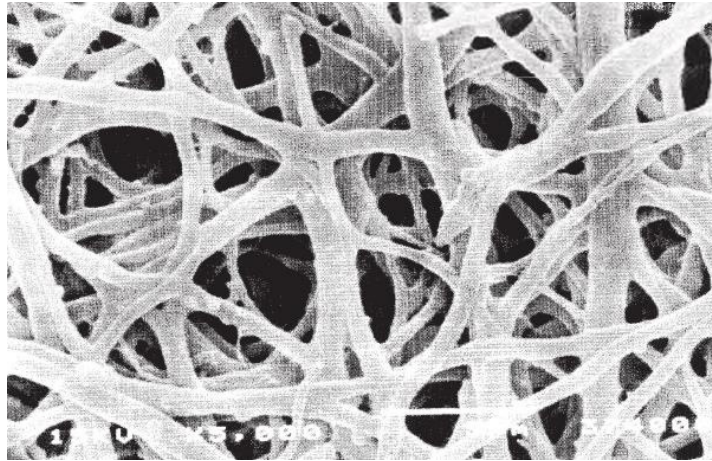
- Capa fina interior fluida
- Capa intermedia densa
- Capa gruesa fluida
- Capa fina exterior densa

2.2.3 Membranas testáceas (interna y externa)

Se ubican en la superficie interior de la cáscara y representan aproximadamente un 3% del peso total de huevo. Estas forman parte de los mecanismos de protección del huevo contra la posible contaminación del exterior (IEH, 2023).

Figura 3

Membrana interna de la cáscara de huevo de gallina (Gallus gallus domesticus)



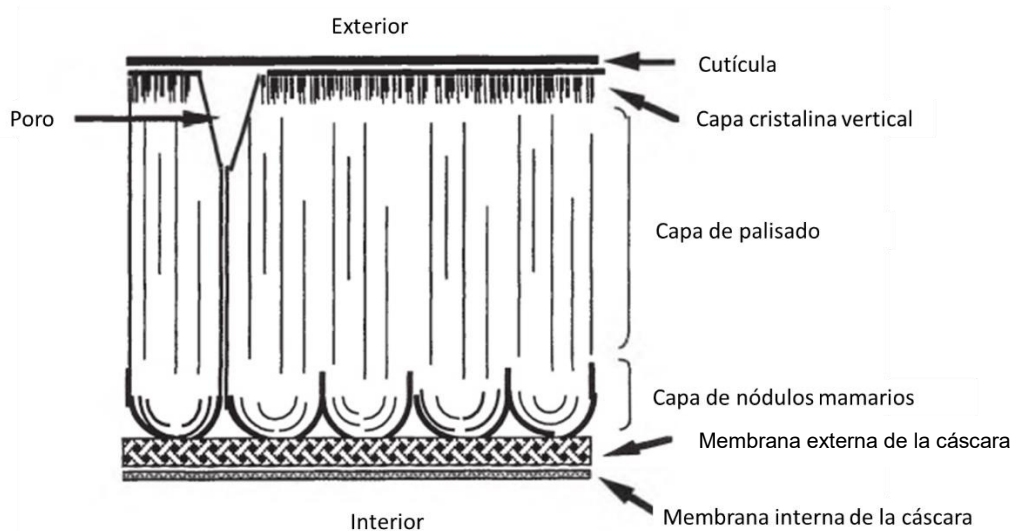
Nota. Tomado de *Scanning electron microscopic photograph of shell membrane*, por Yamamoto et al., 1996, *Hen egg, their basic and applied science* (Yamamoto et al., 1996).

2.2.4 Cáscara

Representa un 9% del peso total del huevo y está compuesto de carbonato cálcico (94%) y una pequeña porción de carbonato magnésico (1%), fosfato cálcico (1%) y material orgánico (4%). Su color está determinado por la presencia de un pigmento compuesto por ovoporfirinas, el cual varía según la raza de la gallina. En la superficie de la cáscara se pueden observar numerosos poros, entre 7000 y 15000, y que facilitan el intercambio de gases entre el interior y el exterior del huevo (IEH, 2023).

Figura 4

Representación ilustrativa de la cáscara de huevo de gallina



Nota. Tomado de *An illustrative representation of the hen eggshell*, por Yamamoto et al., 1996, *Hen egg, their basic and applied science* (Yamamoto et al., 1996).

2.2.5 Cutícula

Es una capa de queratina proteica que sella los poros, no obstante, permite el intercambio de gases, lo que facilita la salida de dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua, así como la entrada de oxígeno (O_2) (IEH, 2023).

2.2.6 Cámara de aire

Es el espacio que se origina debido a la contracción de la clara después de la puesta y que provoca la separación de las membranas. Este espacio tiende a aumentar con la edad del huevo y conlleva a la pérdida de CO_2 y vapor de agua (IEH, 2023).

2.2.7 Composición proximal

El huevo de gallina es un alimento nutritivo que proporciona proteínas, vitaminas, minerales y otros nutrientes esenciales. La composición del huevo puede variar según la raza de la

gallina, la alimentación y las condiciones ambientales. Sin embargo, se pueden considerar valores aproximados. La composición proximal de los componentes líquidos del huevo, clara y yema, así como de la mezcla natural de ambas (huevo líquido) se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Composición proximal de la clara, yema y huevo

Componente	Yema	Clara	Huevo
Agua	48,05%	87,85%	75,50%
Carbohidratos	0,50%	0,50%	0,50%
Proteínas	16,00%	10,90%	12,50%
Lípidos	33,75%	0,00%	10,45%
Cenizas	1,70%	0,75%	1,05%

Nota. Valores aproximados de cada una de las partes principales del huevo en cáscara. Tomada de Ovosur S.A., 2023. (Ovosur S.A., 2023)

2.3 Ovoproductos

El huevo es un alimento con importante contenido de nutrientes para el organismo, es usado como parte de nuestra alimentación de forma directa, y a su vez es utilizado de forma indirecta como ingrediente en la preparación de otros productos.

Un extenso número de sectores industriales recurren al huevo como un componente en la formulación de diversos alimentos. Esto se debe a que, además de su considerable valor nutricional y sus cualidades sensoriales, el huevo ofrece una amplia variedad de propiedades funcionales que resultan fundamentales o convenientes en los procedimientos de producción de numerosos productos alimenticios.

La industria alimentaria, en específico, necesita de sus propiedades tanto nutricionales como funcionales; sin embargo, los huevos en cáscara presentan limitaciones en sus aplicaciones. La manipulación de grandes volúmenes de huevos en cáscara en entornos industriales implica

llevar a cabo una serie de operaciones, como el almacenamiento, el quiebre de los huevos en cáscara (y generalmente su posterior batido) y la gestión de las cáscaras sobrantes como residuos. Por lo tanto, el empleo de huevos en su forma natural, con cáscara, se torna poco práctico (Ramírez et al., 2022). Es precisamente por esta razón que se desarrolla la industria de procesamiento del huevo en cáscara, denominada como la industria de ovoproductos, la cual proporciona a cada cliente el producto que requiere, procesado y presentado de acuerdo con sus fines específicos.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2023) define a los ovoproductos como aquellos huevos que son retirados de sus cáscaras para su procesamiento industrial en instalaciones llamadas "plantas de ruptura". El procesamiento de los ovoproductos incluye la ruptura del huevo en cáscara, filtrado, mezclado, estabilización, pasteurización, enfriamiento, congelación o secado y empaque.

Los ovoproductos básicos incluyen huevos enteros, claras, yemas o una mezcla entre clara y yema, con o sin ingredientes no relacionados con el huevo, que son procesados, pasteurizados y deshidratados (USDA, 2023).

2.3.1 Tipos de ovoproductos

La variedad de productos derivados del huevo disponibles en el mercado es bastante extensa, aunque los más comunes incluyen:

2.3.1.1 Huevo entero pasteurizado. Este se obtiene a partir del huevo sin cáscara y se somete a un proceso de pasteurización.

2.3.1.2 Clara líquida pasteurizada. Producida a partir de huevos frescos sin cáscara, de los cuales se ha separado la yema y luego se pasteuriza.

2.3.1.3 Yema líquida pasteurizada. Se obtiene a partir de huevos frescos sin cáscara, se separa la clara y luego se pasteuriza.

2.3.1.4 Huevo entero cocido (con o sin cáscara). Estos son huevos cocidos en agua, que pueden venderse pelados o con su cáscara intacta.

2.3.1.5 Huevo deshidratado. Elaborado a partir de huevos sin cáscara, se pasteurizan y luego se elimina el agua de su composición.

2.3.1.6 Clara deshidratada. Se obtiene de la clara de huevo pasteurizada, después de eliminar el agua de su composición.

2.3.1.7 Yema deshidratada. Producida a partir de la yema de huevo pasteurizada a la que se le retira parcial o totalmente el agua.

Figura 5.

Quebramiento de huevo en cáscara en una máquina de cascado



Nota. Tomado de *Procesado del huevo: elaboración de ovoproductos*, por Instituto de Estudios del Huevo, 2009, El gran libro del huevo. (IEH, 2009)

En la Figura 6 se muestra las versiones de clara líquida (1), huevo líquido (2), yema líquida (3) y sus consecuentes versiones de clara deshidratada (4), huevo deshidratado (5) y yema deshidratada (6).

Figura 6

Ovoproductos



Nota. Tomado de *Egg products*, por Egg Product Buyer's Guide, 2023, The incredible egg. (U.S. Egg Product Suppliers, 2023)

Es importante realizar un procesamiento adecuado de los huevos para eliminar cualquier riesgo de contaminación microbiana. Esto es necesario para obtener ovoproductos seguros, de alta calidad y mayor durabilidad (IEH, 2009).

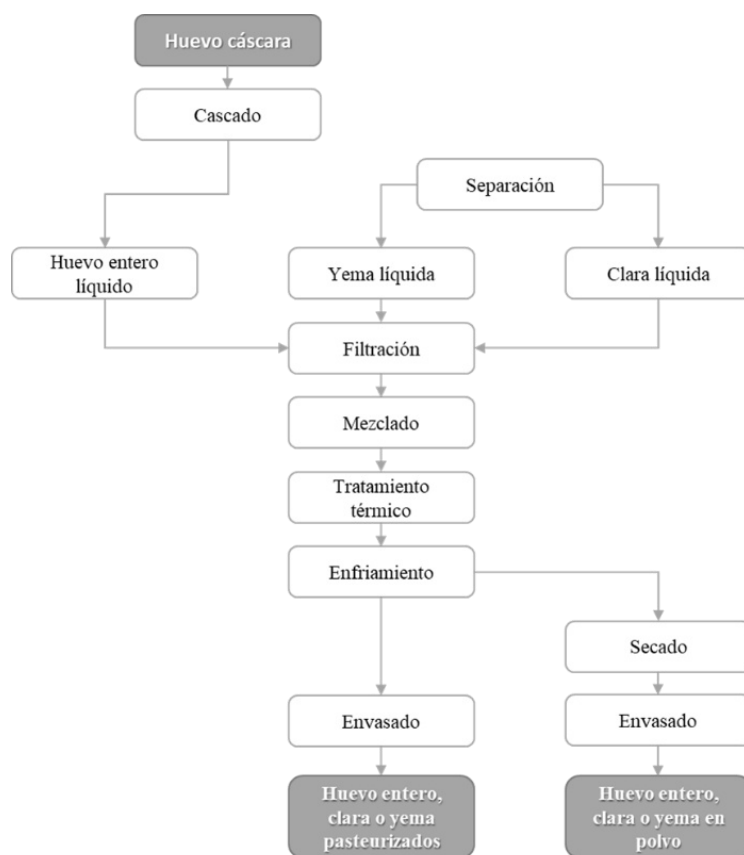
2.3.2 Proceso de obtención de los ovoproductos

El procesamiento de los ovoproductos inicia con el cascado, separación de la clara, yema o huevo, filtrado, mezclado (en caso aplique), pasteurización, refrigeración, congelación o secado, y empaque. La máquina quebradora, elimina la cáscara y separa la clara de la yema, los cuáles se procesan por separado o se unen posteriormente para la producción de huevo entero. El proceso de filtración retira los elementos gruesos (pedazos de cáscara y chalazas). El producto se somete a un

enfriamiento entre 2°C y 4°C previo al tratamiento térmico. Posteriormente, se somete a pasteurización para reducir la carga patógena propia del producto. Dependiendo del tipo de ovoproducto, se procede a la etapa de deshidratación o directamente empaçado (ya sea refrigerado o congelado) para su comercialización. Diversas tecnologías han sido utilizadas para la obtención de una amplia gama de ovoproductos (Ramírez et al., 2022). En la Figura 7 se puede observar el flujograma del proceso básico de elaboración de los ovoproductos líquidos y secos.

Figura 7

Proceso básico de elaboración de los ovoproductos líquidos y secos.



Nota. Tomado de *Proceso básico de elaboración de ovoproductos líquidos y desecados*, por Instituto de Estudios del Huevo, 2009, *El gran libro del huevo*. (IEH, 2009).

2.3.3 Beneficios del uso de ovoproductos en la industria alimentaria

La conversión de huevo en cáscara a ovoproductos ofrece ventajas significativas, ya que estos productos son fáciles de almacenar, utilizar y dosificar, al mismo tiempo que evitan los inconvenientes asociados con la manipulación de la cáscara, y generan ahorros tanto en mano de obra como en tiempo.

Por otro lado, los ovoproductos pueden emplearse de manera intercambiable sin que ello afecte al peso de la fórmula en que sea aplicado; sin embargo, puede ser necesario ajustar las cantidades de algunos ingredientes dependiendo del ovoproducto utilizado y de si se incluyen otros ingredientes adicionales (U.S. Egg Product Suppliers, 2023). Los beneficios del uso de ovoproductos en remplazo del huevo en cáscara se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Beneficios del uso de ovoproductos

Beneficio	Descripción
Facilidad de uso	Disponible para uso inmediato.
Comodidad de uso	De fácil inclusión en fórmulas con poco trabajo y equipos mínimos.
Economía	Reducción de costos al minimizar la manipulación, gastos de envío y roturas.
Manejo sencillo	Son fáciles de distribuir y utilizar en la fabricación de alimentos.
Seguridad	Se someten a procesos de pasteurización para eliminar bacterias perjudiciales.
Almacenamiento	Ocupan considerablemente menos espacio que los huevos frescos.
Uniformidad	Fabricados bajo especificaciones para garantizar un rendimiento constante.
Estabilidad	Mantienen su calidad durante meses si se almacenan correctamente.
Calidad	Mantienen un valor nutricional similar a los huevos frescos y conservan sus propiedades funcionales durante el almacenamiento adecuado.

Nota. Adaptada de “Egg Product Buyer’s Guide”, por U.S. Egg Product Suppliers, 2023, *American Egg Board*. (U.S. Egg Product Suppliers, 2023).

2.3.4 *Propiedades funcionales de los ovoproductos*

Debido a la composición de los ovoproductos, estos poseen propiedades funcionales que son muy bien aprovechados en la industria alimentaria. Por ejemplo, la clara de huevo es ampliamente utilizada por su capacidad gelificante y espumante. Esta propiedad cobra gran relevancia en la producción de postres, productos cárnicos, surimi, entre otros; mientras que la yema de huevo es usada para la elaboración de mayonesas, aderezos, salsas, pasta y otros productos, ya que los fosfolípidos, lipoproteínas y proteínas presentes en la yema de huevo actúan como agentes emulsificantes, que permiten la formación de emulsiones a partir de líquidos inmiscibles como el aceite y el agua (Ramírez et al., 2022). En la Tabla 3 se muestran algunas de las propiedades funcionales de la clara, yema y huevo.

Tabla 3
Propiedades funcionales de los ovoproductos

Propiedad	Descripción
Espumante	Las proteínas de la clara forman espuma, consiguiendo productos más aireados y ligeros.
Aglutinante	Las proteínas de la clara dan estructura y liga todos los componentes del alimento entre ellos.
Clarificante	La clara de huevo inhibe el pardeamiento enzimático y evita la turbidez en bebidas.
Coagulante y gelificante	Las proteínas de la clara y yema cambian de estado fluido a gelatinoso.
Colorante	Los pigmentos presentes en la yema contribuyen al color anaranjado de muchos alimentos.
Emulsionante	Los fosfolípidos y lipoproteínas son agentes tensoactivos que estabilizan las emulsiones aceite/agua.
Textura y palatabilidad	Da cuerpo y suavidad sustancial a los alimentos.

Nota. Adaptada de “El huevo de gallina y su procesamiento industrial: una revisión”, por Ramírez et al., 2022, *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 1(20). (Ramírez et al., 2022)

Además del valor funcional deseado que ofrecen el huevo en cáscara y los ovoproductos, es esencial destacar otra faceta de estos productos que posee igual o incluso mayor importancia: su valor nutricional.

En particular, la clara de huevo, indiscutiblemente, es la fuente con la más alta calidad de proteínas en comparación a otras fuentes de alimentos. Por lo tanto, a continuación, profundizaremos en las características distintivas de la clara de huevo.

2.3.5 La clara de huevo como fuente de proteína

Las proteínas de alta calidad tienen un papel significativo en la formación y el cuidado del músculo, así como en la regulación indirecta de los niveles de glucosa en la sangre, lo que contribuye a la fuerza y energía. Los huevos han sido tradicionalmente usados como referencia para evaluar la calidad de las proteínas debido a su contenido de aminoácidos esenciales y facilidad de digestión. Esto hace que los beneficios relacionados con las proteínas en los huevos sean valiosos para las personas activas que los incorporan regularmente en una dieta equilibrada y diversificada.

La calidad de una fuente de proteínas en la dieta se fundamenta en su contenido de aminoácidos y en qué medida esa proteína es fácilmente digerible. En términos generales, las proteínas provenientes de animales, como las presentes en los huevos, ofrecen proteínas de alta calidad en comparación con las de origen vegetal, debido a su mayor concentración de aminoácidos esenciales de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO, 2013).

En la Tabla 4 se muestra la puntuación de aminoácidos esenciales recomendada por la FAO en comparación con la cantidad de aminoácidos esenciales disponibles en la clara de huevo,

evidenciándose que la cantidad de aminoácidos esenciales disponibles en la clara de huevo supera la puntuación recomendada por la FAO en todos los casos.

Tabla 4

Puntuación de aminoácidos esenciales por gramo de proteína en la clara de huevo

g de aminoácido / 100 g de proteína	Patrón de aminoácidos de referencia (a)	Clara de huevo (b)
Isoleucina	3,00	4,43
Leucina	6,10	7,25
Lisina	4,80	5,87
Metionina	2,30	3,29
Fenilalanina	4,10	5,05
Treonina	2,50	3,85
Triptófano	0,66	1,27
Valina	4,00	5,83
Histidina	1,60	1,97

Nota. Se observa el patrón de aminoácidos de referencia (a) de “Dietary protein quality evaluation in human nutrition”, por FAO, 2013, *Food and nutrition paper* y clara huevo (b) de “Egg White Hydrolysate Retains the Nutritional Value of Proteins and Is Quickly Absorbed in Rats” por Matsuoka, R. et al., 2019.

La calidad de las fuentes de proteínas en la dieta se determina por su composición de aminoácidos y su facilidad de digestión. Por lo general, las proteínas de origen animal, como las que se encuentran en los huevos, proporcionan proteínas de alta calidad en comparación con las de origen vegetal debido a su mayor contenido de aminoácidos esenciales.

Existen al menos cinco métodos ampliamente aceptados para evaluar la calidad de las proteínas en la dieta, que incluyen el Puntaje de Digestibilidad Corregido de Aminoácidos (PDCAAS), la relación de eficiencia de proteínas, el valor biológico, la utilización neta de proteínas y la digestibilidad de proteínas. El PDCAAS es el estándar internacional para evaluar la calidad de las proteínas, aunque se siguen utilizando otros métodos.

Al aplicar el PDCAAS, los huevos muestran un nivel de calidad de proteína similar al de la leche de vaca. Los huevos se destacan, junto con la carne, por su alta digestibilidad de proteínas,

y cuando se considera el valor biológico, la utilización neta de proteínas y la relación de eficiencia de proteínas, los huevos superan a la leche de vaca, la carne y la soja en términos de calidad de proteína (Donald y Nancy, 2009). En la Tabla 5 se muestran la composición de aminoácidos de la proteína de clara de huevo deshidratada, caseína y aislado de proteína de soja. La clara de huevo deshidratada se destaca por tener cantidades similares de aminoácidos de cadena ramificada que la proteína de la leche y una mayor presencia de aminoácidos con azufre en comparación con otras fuentes de proteínas vegetales. Su puntaje de aminoácidos es 100, y su utilización neta de proteínas es superior a la de la proteína de suero de leche (Matsuoka y Sugano, 2022).

Tabla 5

Composición de aminoácidos de caseína, clara de huevo en polvo y aislados de proteína de soja (g/100g)

Aminoácidos	Caseína	Clara de huevo deshidratada	Proteína aislada de soja
Isoleucina	5,0	4,4	4,0
Leucina	8,5	7,3	7,0
Lisina	7,2	6,1	5,5
Metionina	2,7	3,2	1,1
Cisteína	0,4	2,5	1,1
Fenilalanina	4,6	5,1	4,6
Tirosina	5,2	3,9	3,5
Treonina	4,0	4,0	3,7
Triptófano	1,1	1,3	1,2
Valina	6,2	5,8	4,1
Histidina	2,7	2,1	2,4
Arginina	3,4	5,0	6,9
Alanina	2,7	5,3	3,6
Ácido aspártico	6,3	9,3	10,0
Glutamina	19,0	12,0	17,0
Glicina	1,7	3,2	3,6
Prolina	10,0	3,3	4,7
Serina	5,2	6,0	5,1

Nota. Tomado de “Health Functions of Egg Protein” por Matsuoka, R., y Sugano, M., 2022.

Como se mencionó anteriormente, la clara de huevo deshidratada, en general, no posee una capacidad instantánea de disolución. En otras palabras, no se dispersa al entrar en contacto con el agua; por el contrario, tiende a formar grumos debido a una ligera alteración en la estructura de las proteínas presentes en la superficie de las partículas de polvo. Esto inicialmente da lugar a la formación de puentes disulfuro, junto con la exposición de grupos hidrofóbicos, lo que impide que el agua penetre en el interior de las partículas y se disperse en ella, debido a la presencia de una capa monomolecular desnaturalizada de manera irreversible (Castillo, 2022).

La presente investigación busca analizar posibles métodos, mediante Tratamientos tecnológicos o biotecnológicos que puedan obtener como resultado una clara deshidratada de fácil hidratación.

2.4 Tecnologías para el desarrollo de una clara deshidratada de fácil hidratación

Las tecnologías con las que se podría obtener una clara deshidratada de fácil dispersión son las siguientes:

2.4.1 Aglomeración en Lecho Fluidizado

Implica la pulverización de líquido (como una solución aglutinante o agua) sobre un lecho de partículas en suspensión en un flujo de aire o gas. Este proceso hace que las partículas, del producto a tratar, se vuelvan "pegajosas" debido a la formación de una película de líquido o la alteración de la viscosidad de la superficie de las partículas. Cuando las partículas "pegajosas" colisionan entre sí, se forman puentes líquidos o conexiones viscosas en el caso de polvos amorfos. El secado posterior con aire caliente en el lecho fluidizado consolida la nueva estructura generada. El tamaño de los gránulos crece gradualmente debido a la repetición de estos pasos, lo que da como resultado, aglomerados secos con una estructura que conserva las partículas originales y exhibe

propiedades beneficiosas de dispersión debido al aumento de la porosidad (Turchiuli, Smail, y Dumoulin, 2012).

2.4.2 Tratamientos Enzimáticos

El método de hidrólisis enzimática descompone las proteínas en péptidos de cadena corta o aminoácidos, reduciendo la formación de enlaces intra o intermoleculares, como los enlaces disulfuro entre subunidades. Los productos de hidrólisis son moléculas pequeñas que poseen buena solubilidad en agua y pueden tener propiedades biológicas beneficiosas, como actividad anticancerígena y antihipertensiva (Yang et al., 2023).

2.4.3 Empleo de emulsificantes

Las emulsiones se utilizan ampliamente debido a su habilidad para disolver sustancias hidrofóbicas en agua mediante el transporte de estos materiales en una fase acuosa continua y la reducción de la tensión superficial de las moléculas de proteína. Un ejemplo concreto del impacto de los surfactantes en la disolución y estabilidad de la emulsión es el incremento parcial de la disolución de la película aislante de proteína de soja al utilizar extracto de *Yucca schidigera* como un agente surfactante natural (Yousefi y Abbasi, 2022).

III.MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativa y experimental ya que se centró en recopilar y analizar datos numéricos. Este enfoque es adecuado para identificar patrones, realizar proyecciones y verificar relaciones, entre otros aspectos.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La investigación se llevó a cabo en la planta industrial de la empresa Ovosur S.A. ubicada en el distrito de Chorrillos, departamento de Lima, Perú. Las evaluaciones de producto se realizaron en el taller del área de Investigación y Desarrollo.

El proyecto tuvo una duración de 6 meses, incluyendo la investigación científica y parte experimental de cada uno de los Tratamientos.

3.3 Variables

3.3.1 *Variables independientes*

- Tecnología de procesamiento 1: Agente Instantaneizante
- Tecnología de procesamiento 2: Hidrólisis
- Tecnología de procesamiento 3: Lecho Fluidizado

3.3.2 *Variables dependientes*

- % Dispersabilidad

3.4 Población y muestra

La población en este estudio estuvo compuesta por:

- Clara de huevo deshidratada = 240 kg

- Clara de huevo líquida = 32 kg

Las cuales se utilizaron como materia prima. La diferencia en las cantidades es debido a la cantidad mínima requerida por cada tratamiento tecnológico a emplear.

Para representar adecuadamente la población, se empleó una muestra de 1 kg de clara deshidratada por cada tratamiento; es decir, cada muestra representará un tratamiento en específico. Se consideraron 20 repeticiones por cada escenario de cada tratamiento, incluyendo un tratamiento control.

3.5 Instrumentos

3.5.1 *Materia prima*

- Clara de huevo deshidratada
- Clara de huevo líquida

3.5.2 *Insumos o aditivos*

- Proteasas (bromelina)
- Instantaneizante (lecitina de girasol)

3.5.3 *Equipos*

- Mini Spray Dryer, marca BÜCHI
- Lecho fluidizado, marca NIPSAC
- Mezclador piloto, marca KANSAC
- Baño maría, marca GREEDMED

3.5.4 *Materiales*

- Beaker de 2 litros
- Beaker de 250 ml

- Baguetas
- Pirotín de plástico
- Balanza digital
- Erlenmeyer de 250 ml
- Cronómetro
- Tamiz

3.5.5 *Materiales de oficina*

- Lapiceros
- Rotulador
- Bitácora de trabajo
- Hojas bond
- Laptop

3.6 Procedimientos

El desarrollo de la investigación se realizó en la planta industrial y el taller del área de Investigación y Desarrollo de la empresa Ovosur S.A, durante un periodo de 6 meses.

3.6.1 *Obtención de la materia prima*

a) Clara de huevo líquida: La obtención de la clara de huevo se llevó a cabo en la planta industrial mediante el proceso de cascado, donde se separó la clara de la cáscara y la yema. Luego, se sometió a una etapa de "filtración", eliminando residuos como chalaza y cáscara, así como otras impurezas generadas durante fases anteriores. La clara resultante presentó un contenido de sólidos totales que variaba entre el 11% y el 12%, el 80% de estos sólidos totales correspondió a proteínas.

b) Clara deshidratada: se obtuvo en la planta industrial, tras pasar por las etapas de filtrado, pasteurización y deshidratación.

3.6.2 Obtención de la enzima e instantaneizante:

Se adquirió tanto la enzima proteasa como la lecitina de girasol directamente de proveedores comerciales.

3.6.3 Diseño Experimental:

El experimento estuvo constituido por tres tratamientos determinados por el tipo de tecnología a aplicar. También se utilizó un tratamiento en blanco en donde no se proporcionó ningún tipo de tecnología, y se contrastó si la velocidad de rehidratación de la clara se elevaba o no. Los Tratamientos fueron denominados de la siguiente manera:

3.6.3.1 Tratamiento 1: Solución Instantaneizante. Se usaron distintas dosis de una solución de lecitina de girasol de manera que no afectara las características organolépticas y fisicoquímicas del producto terminado. La incorporación de la solución de lecitina se ejecutó en un mezclador equipado con un atomizador tipo flauta que se integró directamente en el proceso de mezcla. Esto permitió alcanzar una homogeneización óptima entre la clara deshidratada y la solución de lecitina. Las características por emplear en el proceso de obtención de la clara en polvo instantánea están reflejadas en la Tabla 6.

Tabla 6
Diseño experimental del Tratamiento 1

Escenario	Cantidad de solución (kg)	% de lecitina de girasol en la solución	Cantidad de materia prima (kg)	Tiempo de mezclado y adición de la solución (min)
1	3	6%	30	25
2	3	8%	30	25
3	3	10%	30	25
4	3	12%	30	25

3.6.3.2 Tratamiento 2: Hidrólisis. Se partió de una clara líquida filtrada, la cual fue sometida a un proceso de hidrólisis enzimática con el uso de una proteasa. Posteriormente, la clara hidrolizada pasó por un tratamiento térmico de pasteurización y posterior deshidratación. Los parámetros empleados en el experimento se detallaron en la Tabla 7.

Tabla 7
Diseño experimental del Tratamiento 2

Escenario	Clara líquida (kg)	Dosis de enzima (kg)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	pH
1	8	0,25%	35°C	8	7,0 – 7.5
2	8	0,25%	40°C	6	7,0 – 7.5
3	8	0,50%	35°C	8	7,0 – 7.5
4	8	0,50%	40°C	6	7,0 – 7.5

3.6.3.3 Tratamiento 3: Aglomeración en lecho fluidizado. La clara en polvo se sometió a un proceso de Tratamiento por aglomeración utilizando un lecho fluidizado piloto. Este procedimiento implicó la suspensión y elevación de la clara en polvo mediante un flujo controlado de aire caliente. Durante este proceso, se empleó un atomizador para dispersar una cantidad específica de agua mientras la clara en polvo se encontraba en suspensión dentro del equipo, facilitando así su aglomeración. Los parámetros con los que se trabajaron en este tratamiento se detallaron en la Tabla 8.

Tabla 8
Diseño experimental del Tratamiento 3

Escenario	Cantidad de materia prima	Cantidad de agua	RPM	Tiempo	Temperatura
1	30 kg	2 kg	100	30 min	45°C
2	30 kg	3 kg	100	45 min	45°C
3	30 kg	4 kg	100	60 min	45°C
4	30 kg	5 kg	100	75 min	45°C

3.6.4 Muestreo y análisis

a) **Recopilación de datos por tipo de Tratamiento:** Cada tratamiento se evaluó en cuanto a su viabilidad productiva y a las características propias del producto resultante, el cual debe tener las características fisicoquímicas deseables en una clara de huevo deshidratada (pH: 6.5 a 8.5, humedad: máx. 8%).

b) **Evaluación del % de Dispersabilidad por Tratamiento:** Para llevar a cabo el análisis, se utilizó una adaptación del método de medición de dispersabilidad de leche en polvo, basada en la técnica estandarizada descrita en el libro “Handbook of Milk Powder

Manufacture” (Pisecký, 2020). Esta metodología se ajustó para evaluar la capacidad de dispersión de la clara deshidratada en condiciones controladas. Dicha técnica, ajustada, proporciona información relevante sobre el comportamiento de la clara deshidratada y facilita la comparación entre diferentes muestras o variaciones en el proceso de cada uno de los tratamientos.

La metodología de determinación del % dispersabilidad es la siguiente:

- Se vierte sobre agua una muestra de polvo con un contenido de humedad conocido.
- La mezcla se agita manualmente por un tiempo determinado y luego se filtra a través de un tamiz.
- El líquido se sacude del tamiz para asegurar que solo se retenga el material húmedo.
- Se pesa el material retenido.
- El valor de dispersabilidad se determina indirectamente mediante una relación entre el contenido de material que pasó por el tamiz y la cantidad de polvo inicial.

3.7 Análisis de datos

Los datos fueron tomados a partir de las pruebas que se realizaron de los 3 tratamientos experimentales:

- Agente Instantaneizante: Se aplica, mediante rociado, una solución de lecitina de girasol a diferentes concentraciones sobre la clara de huevo en polvo.
- Hidrólisis: La clara de huevo líquida es trabajada con una proteasa que hidroliza las proteínas presentes en el producto, utilizando distintos parámetros de pH, tiempo y temperatura, para después ser deshidratado.

- Lecho fluidizado: La clara de huevo en polvo es sometida a tratamiento de aglomeración dentro de un equipo de Lecho Fluidizado, variando la cantidad de agua añadida en el proceso en cada escenario.

Cada una de las pruebas de cada tratamiento y sus escenarios fueron analizadas, en 20 repeticiones aleatorias, por dispersabilidad.

Para el análisis de datos, se utilizó el software estadístico Minitab 14, en una primera etapa se procesaron las estadísticas descriptivas por cada Tratamiento y escenarios dentro de los Tratamientos.

Así mismo, se realizó una prueba de normalidad para la variable dispersabilidad, cuyo resultado nos lleva al uso de pruebas de hipótesis en el campo de la estadística no paramétrica. De hecho, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn para comparar diferencias entre los tratamientos y sus respectivos escenarios.

IV. RESULTADOS

Los resultados derivados del análisis de cada tratamiento y sus respectivos escenarios se presentan en la Tabla 9, donde se muestra, en una escala del 0 al 1, el nivel de dispersabilidad.

Tabla 9
Dispersabilidad obtenida por tipo de Tratamiento y su respectivo escenario

Tratamiento	Escenario	Dispersabilidad																				
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	Promedio
Patrón	Patrón	0,318	0,321	0,315	0,329	0,310	0,320	0,321	0,330	0,316	0,325	0,327	0,319	0,323	0,316	0,321	0,330	0,311	0,315	0,327	0,329	0,321
	1	0,457	0,507	0,462	0,460	0,509	0,464	0,459	0,505	0,455	0,468	0,472	0,501	0,495	0,487	0,479	0,468	0,460	0,485	0,464	0,491	0,477
Agente Instantaneizante	2	0,563	0,560	0,571	0,569	0,559	0,557	0,562	0,559	0,570	0,573	0,555	0,571	0,561	0,560	0,565	0,558	0,562	0,568	0,563	0,573	0,564
	3	0,605	0,612	0,609	0,613	0,608	0,618	0,630	0,613	0,625	0,610	0,620	0,628	0,612	0,629	0,615	0,608	0,622	0,611	0,627	0,616	0,617
	4	0,679	0,667	0,675	0,670	0,672	0,670	0,673	0,667	0,675	0,668	0,671	0,674	0,669	0,672	0,666	0,675	0,670	0,667	0,672	0,665	0,671
	5	0,765	0,777	0,770	0,779	0,750	0,775	0,770	0,766	0,777	0,769	0,772	0,767	0,771	0,765	0,776	0,768	0,774	0,770	0,777	0,765	0,770
	6	0,760	0,782	0,777	0,780	0,769	0,765	0,776	0,769	0,778	0,772	0,763	0,774	0,761	0,780	0,770	0,766	0,775	0,762	0,777	0,764	0,771
Hidrólisis	7	0,773	0,771	0,769	0,761	0,765	0,766	0,771	0,778	0,779	0,777	0,762	0,769	0,780	0,768	0,772	0,778	0,766	0,779	0,764	0,769	0,771
	8	0,772	0,787	0,763	0,779	0,770	0,775	0,764	0,763	0,770	0,761	0,773	0,765	0,776	0,767	0,763	0,760	0,762	0,771	0,775	0,759	0,769
	9	0,895	0,889	0,891	0,883	0,897	0,883	0,894	0,890	0,898	0,881	0,895	0,885	0,888	0,892	0,897	0,889	0,884	0,893	0,886	0,899	0,890
Lecho fluidizado	10	0,942	0,946	0,950	0,941	0,947	0,944	0,947	0,942	0,948	0,945	0,943	0,949	0,941	0,950	0,946	0,944	0,942	0,947	0,940	0,949	0,945
	11	0,997	0,993	0,998	0,996	0,998	0,996	0,997	0,995	0,997	0,996	0,998	0,998	0,996	0,996	0,999	0,996	0,998	0,995	0,997	0,996	0,997
	12	0,996	0,997	0,994	0,995	0,995	0,998	0,997	0,996	0,996	0,996	0,998	0,995	0,998	0,997	0,998	0,996	0,997	0,999	0,996	0,998	0,997

Con la finalidad de elegir la prueba estadística correspondiente, se realizó una prueba de normalidad de Anderson and Darling ($p < 0,005$) para los valores de dispersabilidad, optando por un análisis estadístico No Paramétrico.

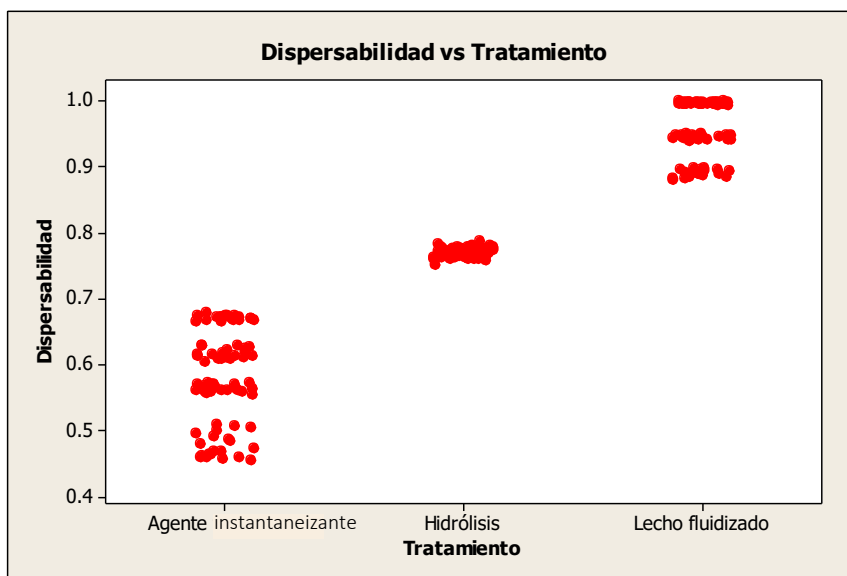
Al analizar la estadística descriptiva, se observó que el Tratamiento de Lecho Fluidizado tiene el mayor promedio en comparación con los Tratamientos Agente Instantaneizante e Hidrólisis.

Tabla 10
Promedio de dispersabilidad por tipo de Tratamiento

Tratamiento	N	Mínimo	Máximo	Media	DS
Agente Instantaneizante (1)	80	0,455	0,679	0,582	0,072
Hidrólisis (2)	80	0,750	0,787	0,770	0,006
Lecho Fluidizado (3)	80	0,881	0,999	0,957	0,044

Nota. El valor más alto de dispersabilidad se obtiene con el Tratamiento 3, Lecho Fluidizado; seguido del Tratamiento 2, Hidrólisis, y por último el Tratamiento 1, Agente Instantaneizante.

Figura 8
Dispersabilidad vs Tratamiento



Nota. La **Figura 8** muestra que los valores de dispersabilidad varían entre los diferentes Tratamientos. El Tratamiento 1, Agente Instantaneizante, mostró una dispersión mayor en comparación con los otros tratamientos. Por otro lado, los valores de dispersabilidad del Tratamiento 2, hidrólisis, son los más homogéneos.

Seguidamente, se realizó un análisis más detallado utilizando la prueba de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn. Estas pruebas permitieron determinar si existen diferencias significativas entre los Tratamientos.

Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Post-Hoc de Dunn

Ho: Las medianas de los Tratamientos son iguales.

Ha: Al menos una de las medianas de los Tratamientos es diferente a las demás.

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 11*Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de los Tratamientos*

Comparación	Chi-cuadrado (χ^2)	Grados de libertad (df)	p-valor
Datos de los 3 tratamientos	212,53	2	< 2,2e-16*

*p < .001

Tabla de decisión: p-valor (< 2,2e-16) < α (0,05), por lo tanto, se rechaza la Ho.

Se concluye que al menos uno de los tres tratamientos presenta una diferencia estadísticamente significativa. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, la cual afirma que no existen diferencias en las medianas de la dispersabilidad entre los tratamientos Agente Instantaneizante, Hidrólisis, y Lecho Fluidizado.

Tabla 12*Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni para las comparaciones entre los Tratamientos*

Comparación	Z	p-valor
Agente Instantaneizante vs Hidrólisis	-7,289236	0,0000*
Agente Instantaneizante vs Lecho Fluidizado	-14,57847	0,0000*
Hidrólisis vs Lecho Fluidizado	-7,289236	0,0000*

*p < ,05

Tabla de decisión: p-valor (0) < α (0,05), entonces se rechaza Ho.

Como el p-valor (0,000) es menor que el nivel de significancia típico de 0,05, se rechaza la hipótesis nula; por lo que, existe evidencia suficiente para concluir que hay una diferencia significativa entre los pares de tratamientos: Agente Instantaneizante vs Hidrólisis, Agente Instantaneizante vs Lecho Fluidizado e Hidrólisis vs Lecho Fluidizado.

4.1 Tratamiento 1: Agente Instantaneizante

Se inició con el análisis de Estadística Descriptiva, en donde se obtuvo que el escenario 4 presenta un desempeño superior en comparación con los escenarios 1, 2 y 3.

Tabla 13

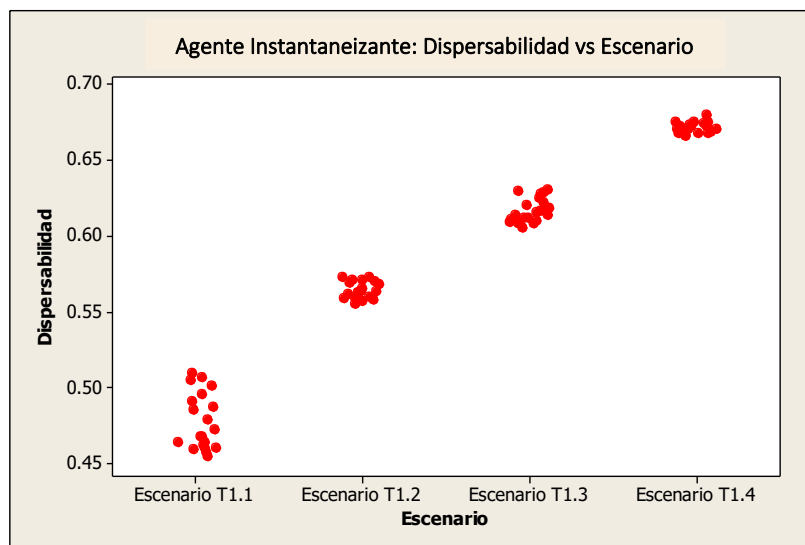
Promedio de dispersabilidad por escenario del Tratamiento 1

Escenario	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
1	20	0,455	0,509	0,477	0,019
2	20	0,555	0,573	0,563	0,006
3	20	0,605	0,630	0,617	0,008
4	20	0,665	0,679	0,671	0,004

Nota. Los escenarios 1, 2, 3 y 4 se diferencian entre sí por la concentración de lecitina de girasol utilizada, siendo estas 6%, 8%, 10% y 12%, respectivamente. La lecitina se incorpora en mezcla, con la ayuda de un rociador, en 30 kg de clara en polvo durante 15 minutos.

Figura 9

Dispersabilidad versus Escenarios del Tratamiento 1



Nota. La **Figura 9** evidenció que los valores de dispersabilidad varían entre los diferentes escenarios. Se observa que el escenario 4 muestra una dispersabilidad mayor en comparación con los otros escenarios, y también, son los más homogéneos.

Posteriormente, se aplicó la prueba estadística de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn para analizar si existen diferencias entre los valores de dispersabilidad de los escenarios 1, 2, 3 y 4.

Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn

Ho: Las medianas de los escenarios del Tratamiento 1 son iguales.

Ha: Al menos una de las medianas de los escenarios del Tratamiento 1 tiene diferencias significativas respecto de las otras.

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 14

Test Kruskal Wallis entre los Escenarios del Tratamiento 1

Comparación	Chi-cuadrado (χ^2)	Grados de libertad (df)	p-valor
Datos de los 4 escenarios	74,098	3	5,654e-16*

* $p < ,001$

Tabla de decisión: $p\text{-valor } (5,654e-16) < \alpha (0,05)$, por lo tanto, se rechaza la Ho.

Se concluye que al menos uno de los cuatro escenarios presenta una diferencia estadísticamente significativa. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, que sostiene que no existen diferencias en las medianas de la variable analizada entre los escenarios.

Tabla 15
Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni entre los Escenarios del Tratamiento 1

Comparación	Z	p-valor
Escenario 1 vs Escenario 2	-2,722101	0,0195*
Escenario 1 vs Escenario 3	-5,444203	0,0000*
Escenario 1 vs Escenario 4	-8,166305	0,0000*
Escenario 2 vs Escenario 3	-2,722101	0,0195*
Escenario 2 vs Escenario 4	-5,444203	0,0000*
Escenario 3 vs Escenario 4	-2,722101	0,0195*

* $p < ,05$

Tabla de decisión: $p\text{-valor} < \alpha (0,05)$, entonces se rechaza H_0 .

Como el p-valor son menores que el nivel de significancia típico de 0,05, se rechaza la hipótesis nula; por lo que, existe evidencia suficiente para concluir que hay una diferencia significativa entre el Escenario 1 vs Escenario 2, Escenario 1 vs Escenario 3, Escenario 1 vs Escenario 4, Escenario 2 vs Escenario 3, Escenario 2 vs Escenario 4, y Escenario 3 vs Escenario 4 del Tratamiento 1 – Agente Instantaneizante. A su vez, al considerar el análisis descriptivo, se evidenció que los mejores resultados de dispersabilidad se dan en el siguiente orden: 1, 2, 3 y 4.

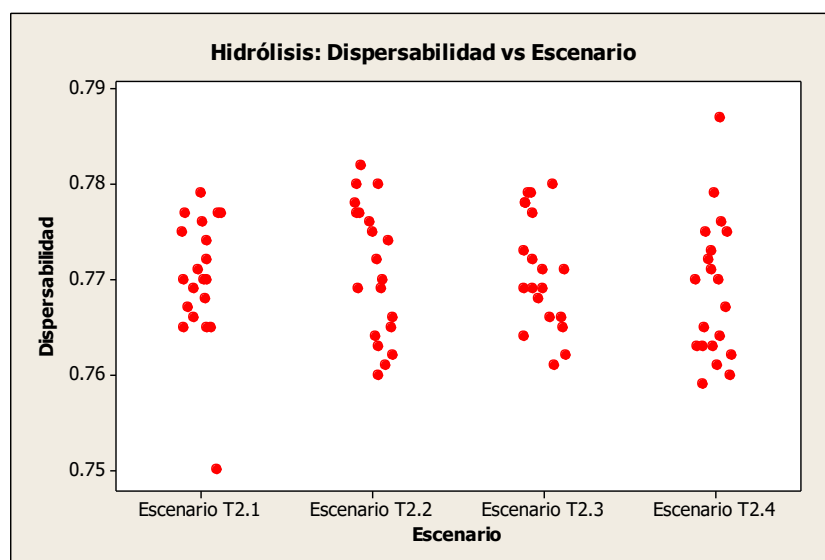
4.2 Tratamiento 2: Hidrólisis

Se inició con el análisis de Estadística Descriptiva, revelándose que los cuatro escenarios parecen ser homogéneos estadísticamente.

Tabla 16
Promedio de dispersabilidad por escenarios del Tratamiento 2

Escenario	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
1	20	0,750	0,779	0,770	0,007
2	20	0,760	0,782	0,771	0,007
3	20	0,761	0,780	0,771	0,006
4	20	0,759	0,787	0,769	0,007

Figura 10
Gráfica de valores individuales: Dispersabilidad versus Escenario



Nota. La Figura 10 mostró que los valores de dispersabilidad no varían entre los diferentes escenarios. Se observa que existe dispersión dentro de cada escenario.

Dado este comportamiento uniforme, se continuó aplicando la prueba estadística de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn, para determinar si al menos un escenario difiere significativamente en el promedio de los valores de dispersabilidad.

Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn

Ho: Las medianas de los Escenarios del Tratamiento 2 son iguales.

Ha: Al menos una de las medianas de los Escenarios del Tratamiento 2 es diferente a las demás.

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 17

Test Kruskal Wallis entre los Escenarios del Tratamiento 2

Comparación	Chi-cuadrado (χ^2)	Grados de libertad (df)	p-valor
Datos de los 4 escenarios	2,08	3	0,556

Tabla de decisión: p-valor (0,556) < α (0,05), entonces se acepta Ho.

La prueba estadística de Kruskal-Wallis indicó que, con un p-valor de 0,556, no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los cuatro escenarios, por lo tanto, se acepta la hipótesis Ho, la cual afirma que las medianas de los escenarios del Tratamiento 2 son iguales.

Tabla 18*Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni entre los Escenarios del Tratamiento 2*

Comparación	Z	p-valor
Escenario 1 vs Escenario 2	-0,122639	1,000
Escenario 1 vs Escenario 3	1,091626	0,8270
Escenario 1 vs Escenario 4	1,212765	0,6757
Escenario 2 vs Escenario 3	1,212765	0,6757
Escenario 2 vs Escenario 4	1,212765	0,6757
Escenario 3 vs Escenario 4	1,091626	0,8270

Tabla de decisión: todos los p-valor $< \alpha$ (0,05), entonces se rechaza H_0 .

Ninguna de las comparaciones por pares de escenarios presenta un p-valor menor a 0,05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los escenarios comparados, lo que indica que las medianas de las variables medidas en los cuatro escenarios no muestran diferencias importantes entre sí.

A su vez, al considerar el análisis descriptivo, se evidenció que los resultados son consistentes en cualquier parámetro aplicado en cada escenario, lo que sugiere que no hay una diferencia significativa en la dispersabilidad al variar los parámetros dentro de cada escenario.

4.3 Tratamiento 3: Aglomeración por lecho fluidizado

Se inició con el análisis de Estadística Descriptiva, obteniéndose que el escenario 3 y 4 presenta un desempeño superior en comparación con los escenarios 1, 2.

Tabla 19

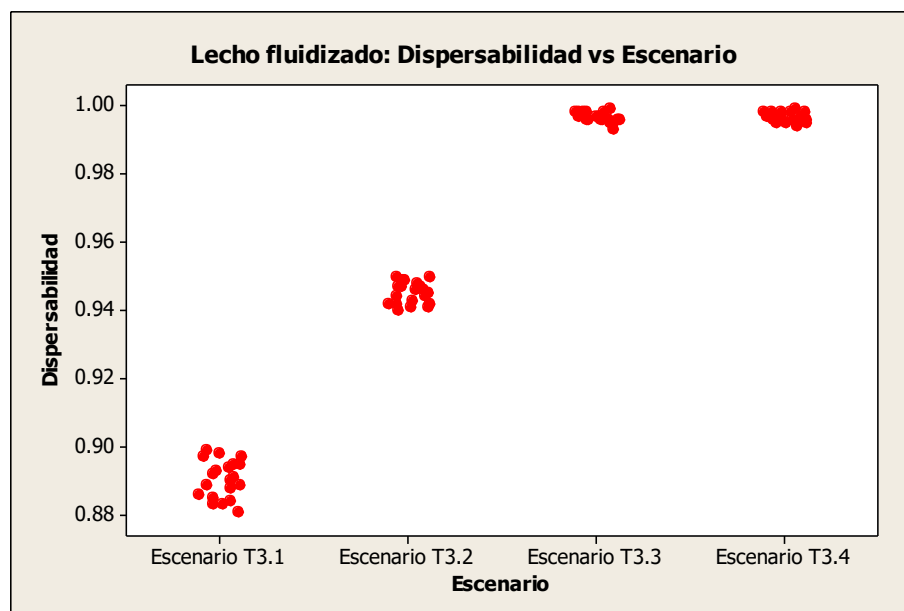
Promedio de dispersabilidad por tipo de escenario del Tratamiento 3

Escenario	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
1	20	0,881	0,899	0,890	0,006
2	20	0,940	0,950	0,945	0,003
3	20	0,993	0,999	0,997	0,001
4	20	0,994	0,999	0,997	0,001

Nota. Los escenarios 1, 2, 3 y 4 se diferencian entre sí por la cantidad de agua adicionada en el proceso de aglomeración, siendo estos 2, 3, 4 y 5 kg respectivamente.

Figura 11

Dispersabilidad versus Escenarios del Tratamiento 3



Nota. La **Figura 11** reveló que los valores de dispersabilidad varían entre los diferentes escenarios. Se observa que el escenario 1 presentó una dispersión mayor en comparación con los

otros escenarios. Mientras que, los valores del escenario 3 y 4 son los más homogéneos y expresan los mejores resultados de dispersabilidad.

Se utilizó la prueba estadística de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn para determinar si al menos un escenario es significativamente diferente en el promedio de los valores de dispersabilidad.

Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn

Ho: Las medianas de los Escenarios del Tratamiento 3 son iguales.

Ha: Al menos una de las medianas de los Escenarios del Tratamiento 3 es diferente a las demás.

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 20

Test Kruskal Wallis entre los Escenarios del Tratamiento 3

Comparación	Chi-cuadrado (χ^2)	Grados de libertad (df)	p-valor
Datos de los 4 escenarios	67,182	3	1,712e-14*

* $p < .001$

Tabla de decisión: p-valor (1,712e-14) $>$ α (0,05), entonces se rechaza la Ho.

Los resultados muestran que hay diferencias significativas entre los 4 escenarios ($\chi^2 = 67,182$, $p < .001$), lo que indica que al menos un par de escenarios tiene diferencias significativas en sus mediciones.

Tabla 21*Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni entre los Escenarios del Tratamiento 3*

Comparación	Z	p-valor
Escenario 1 vs Escenario 2	-2,732098	0,0189*
Escenario 1 vs Escenario 3	-6,857566	0,0000*
Escenario 1 vs Escenario 4	-6,802924	0,0000*
Escenario 2 vs Escenario 3	-4,125468	0,0001*
Escenario 2 vs Escenario 4	-4,070826	0,0546
Escenario 3 vs Escenario 4	-0,054641	1,000

* $p < ,05$

Tabla de decisión: si $p\text{-valor} < \alpha (0,05)$, entonces se rechaza H_0 .

Se encontraron diferencias significativas entre Escenario 1 vs Escenario 2, Escenario 1 vs Escenario 3, Escenario 1 vs Escenario 4, y Escenario 2 vs Escenario 3, ya que los p-valores son menores a 0,05. Sin embargo, no hay diferencias significativas entre Escenario 2 vs Escenario 4 ($p = 0,0546$) ni entre Escenario 3 vs Escenario 4 ($p = 1,000$). No obstante, al considerar el análisis descriptivo se puede evidenciar que los mejores resultados de los valores de dispersabilidad se obtienen por igual en los Escenarios 3 y 4.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación tuvo como objetivo la caracterización del valor de dispersabilidad en diversos escenarios de distintos tratamientos tecnológicos, todos dirigidos a mejorar la velocidad de rehidratación de la clara de huevo en polvo.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados al inicio de esta investigación, se tienen los siguientes hallazgos:

- Se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos de agente Instantaneizante, hidrólisis y lecho fluidizado, los cuales tienen un promedio de dispersabilidad de 0,58, 0,77 y 0,95, respectivamente; esto confirma que cada tipo de tratamiento tiene un efecto distinto en la capacidad de rehidratación de la clara de huevo en polvo.
- El tratamiento en lecho fluidizado mejora significativamente la capacidad de rehidratación de la clara de huevo en polvo. Esto se respalda con la investigación de Barkouti, et al. (2013), en donde encontraron que el aumento en la porosidad de los aglomerados de polvo influye directamente en la capacidad de hidratación.
- El uso de una solución instantaneizante, como la lecitina, ha demostrado mejorar significativamente la capacidad de rehidratación de la clara de huevo. La lecitina, al ser un emulsionante hidrofílico, contrarresta los problemas de hidratación excesivamente rápida que pueden llevar a la formación de grumos no hidratados internamente. Según List, (2015), la lecitina, en concentraciones que van del 0,2% al 10%, se utiliza para mejorar la humectación en una variedad de alimentos, incluidos los polvos para bebidas y productos lácteos en polvo. Esta instantaneización se logra típicamente mediante el recubrimiento por pulverización, facilitando así la rápida disolución del polvo en agua.

- Se observa que la variación de las variables de pH, tiempo y temperatura durante el proceso de hidrólisis no genera diferencias significativas entre los diferentes escenarios analizados en términos de la capacidad de rehidratación de la clara de huevo en polvo. Según el estudio de Heredia-Leza, et al. (2022), la modificación a través de la hidrólisis conlleva a una reducción en el peso molecular y a la liberación de grupos ionizables, lo que resulta en una mejor solubilidad. Además, Sampath Kumar, et al. (2011) indican que la cantidad de péptidos producidos durante la reacción hidrolítica está relacionada con el grado de hidrólisis. Su investigación muestra que una alta producción de péptidos durante esta reacción aumenta directamente la solubilidad de la proteína. Por lo tanto, se puede inferir que los parámetros utilizados en los diferentes escenarios de esta investigación presentan un grado de hidrólisis similar. Sin embargo, se observa una mejora significativa en esta capacidad en comparación con la muestra de clara en polvo sin tratamiento, con un aumento del 45% en la dispersión en comparación con la clara de huevo en polvo sin tratar.
- El incremento en la cantidad de agua durante el tratamiento en lecho fluidizado resulta en una mejora significativa en la capacidad de rehidratación de la clara en polvo. Según Barkouti, et al. (2013), la cantidad de agua rociada impacta significativamente en la capacidad de hidratación del polvo, ya que influye en el tamaño y distribución de las partículas durante la aglomeración. Esto resulta en una estructura porosa que incrementa la capacidad de hidratación del polvo, mejorando su humectabilidad y facilitando su disolución en líquidos como agua o leche. La formación de aglomerados más grandes permite una mejor interacción con el líquido, lo que mejora las propiedades instantáneas del producto final.

VI. CONCLUSIONES

- Según el resultado obtenido de la prueba de Kruskal Wallis y Post-hoc de Dunn, las medianas de los tratamientos son diferentes entre sí. Si consideramos la prueba de Estadística Descriptiva, el método de lecho fluidizado demostró ser el más efectivo en términos de dispersabilidad, con una mediana superior entre las tres. Aunque el Tratamiento con agente instantaneizante y la hidrólisis también mostraron mejoras respecto al producto base, el uso del lecho fluidizado demostró una capacidad superior al alcanzar un valor de dispersabilidad más cercano a 1.
- Los resultados estadísticos arrojaron que los escenarios planteados para el Tratamiento 1, además de ser distintos, muestran una mejora en la dispersabilidad de forma gradual al aumento de concentración del agente instantaneizante. No obstante, se tiene como limitante la composición nutricional del producto aglomerado, así como también el aspecto organoléptico.
- En cuanto al proceso de hidrólisis, la prueba de Kruskal Wallis y Post-hoc de Dunn demostraron que no existen diferencias significativas entre los escenarios de este tratamiento; es decir, que los valores de dispersabilidad obtenidos son los mismos en cualquiera de las variables de pH, tiempo y temperatura aplicadas en las pruebas, alcanzando una mejora en la dispersabilidad del producto no superior a 0,8. Sin embargo, se observó un aumento notable en la dispersabilidad de la clara de huevo en polvo hidrolizada en comparación con la clara de huevo en polvo patrón.
- Respecto del Tratamiento en lecho fluidizado, la prueba Post-hoc de Dunn mostró que los escenarios 2 y 4, y 3 y 4 no tienen diferencias significativas; sin embargo, considerando el análisis descriptivo, se observa que la cantidad óptima de agua es de 4 kg, para lograr una dispersabilidad cercana a 1.

VII. RECOMENDACIONES

- Durante el desarrollo del tratamiento con lecitina de girasol, se evidenció que una mayor concentración de la solución instantaneizante generaba impacto sensorial en la clara de huevo en polvo (cambio en la coloración y nivel de apelmazamiento). Además, se evidencia un cambio en la composición nutricional del producto final, ya que la lecitina de girasol, principalmente compuesta por grasas, afecta la calidad nutricional del producto deseado. Por lo tanto, se sugiere buscar una alternativa de agente instantaneizante distinta a la lecitina de girasol, que no influya en el aspecto sensorial ni en el valor nutricional del producto en cuestión, y así no impactar en el nivel de aceptación de los consumidores.
- Uno de los efectos negativos en la hidrólisis de proteínas de productos alimenticios es el impacto en el perfil sensorial. Durante este proceso, las proteínas se descomponen en sus componentes más básicos, los aminoácidos, entre los cuales se destacan la fenilalanina, la tirosina y la leucina, conocidos por conferir un sabor amargo al producto resultante. A medida que el grado de hidrólisis aumenta, la concentración de estos aminoácidos también se incrementa, lo que conlleva a una intensificación del sabor amargo, afectando negativamente la aceptación del producto por parte del consumidor. Para contrarrestar este efecto no deseado, se recomienda el uso de enmascaradores de sabor, que son sustancias capaces de atenuar o neutralizar el amargor, mejorando así la calidad sensorial del producto final y su aceptación por parte de los consumidores.

VIII. REFERENCIA

- Barkouti, Turchiuli, Carcel, y Dumoulin. (2013). Milk powder agglomerate growth and properties. *Dairy Science and Technology*, 14. doi:10.1007/s13594-013-0132-7
- Castillo, V. (2022). *Factores que influyen en la producción de clara de huevo en polvo con propiedades funcionales naturales reducidas [Tesis de maestría, Universidad San Ignacio de Loyola]*. Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12994>
- Castro, K. (2011). *Tecnología de alimentos*. Bogotá: Ediciones de la U. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/230820252_Tecnologia_de_Alimentos
- CENAN. (2018). *Consumo de alimentos en adultos peruanos*. 2018: Ministerio de Salud. Obtenido de <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/estado-nutricional-en-adultos-de-18-59-a%C3%B1os-per%C3%BA-2017-%E2%80%932018>
- Donald, L., y Nancy, R. (2009). Egg Protein as a Source of Power, Strength, and Energy. *Nutrition Today*, 44(1), 43 - 48. doi:10.1097/NT.0b013e3181959cb2
- Food and Agriculture Organization. (1985). *Energy and Protein Requirements*. Suiza: World Health Organization. Obtenido de <https://www.fao.org/3/aa040e/AA040E00.htm#TOC>
- Food and Agriculture Organization. (2011). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition - Report of a FAO Expert Consultation*. Auckland: FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization; World Health Organization. (1991). *Protein Quality Evaluation*. Estados Unidos: FAO. Obtenido de

https://books.google.com.pe/books?id=ieEEPqffcxEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Grand View Research. (2023). *Protein Ingredients Market Size, Share & Trends Report*. Obtenido de Protein Ingredients Market Size, Share & Trends Report 2030: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/protein-ingredients-market#>

Guoyao, W. (2016). *Dietary protein intake and human nutrition*. Estados Unidos: Texas A&M University.

Heredia-Leza, Martínez, y Chuck-Hernandez. (2022). Impact of Hydrolysis, Acetylation or Succinylation on Functional Properties of Plant-Based Proteins: Patents, Regulations, and Future Trends. *MDPI Processes*, 1-22. doi:<https://doi.org/10.3390/pr10020283>

Instituto de Estudios del Huevo. (2009). *El gran libro del huevo* (1 ed.). España: Everest S.A. Obtenido de <https://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/EL-LIBRO-DEL-HUEVO.pdf>

Instituto de Estudios del Huevo. (2023). *Instituto de Estudios del Huevo*. Obtenido de https://www.institutohuevo.com/estructura_huevo/

Kiertscher, E., y DiMarco, N. (2013). Use and rationale for taking nutritional supplements among collegiate athletes at risk for nutrient deficiencies. *Performance Enhancement & Health*, 2, 24-29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.peh.2013.04.002>

Kuiper, K. (2023). *Encyclopedia Britannica, Inc*. Recuperado el 2023

Latham, M. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/W0073S/w0073s00.htm>

- List (2015). Soybean Lecithin: Food, Industrial Uses, and Other Applications. (Moghis, Ahmad, y Xuebing, Edits.) *Polar Lipids*, 1-33. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-044-3.50005-4>
- López-Sobaler, A., Aparicio, A., y Ortega, R. (2017). Papel del huevo en la dieta de deportistas y personas físicamente activas. *Nutrición Hospitalaria*, 31-35. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112017001000007&script=sci_arttext&tlng=en
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., y Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(3), 527-538. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182006000500009&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Matsuoka, R., y Sugano, M. (2022). Health Functions of Egg Protein. (L. Sheng, y X. Duan, Edits.) *Foods*, 11. doi:doi.org/10.3390/foods11152309
- Matsuoka, R., Kurihara, H., Nishijima, N., Oda, Y., y Handa, A. (2019). Egg White Hydrolysate Retains the Nutritional Value. *The Scientific World Journal*, 6. doi:[10.1155/2019/5475302](https://doi.org/10.1155/2019/5475302)
- Matsuoka, R., Takahashi, Y., Kimura, M., Masuda, Y., y Kunou, M. (2017). Heating Has No Effect on the Net Protein Utilisation from Egg Whites in Rats. *The Scientific World Journal*, 6. doi:[10.1155/2017/6817196](https://doi.org/10.1155/2017/6817196)
- Ovosur S.A. (2023). *Composición Proximal del Huevo Cáscara*. Lima.
- Pisecký, J. (2020). *Handbook of Milk Powder Manufacture* (2 ed.). (V. Westergaard, y E. Refstrup, Edits.) Copenhagen, Dinamarca: GEA Process Engineering A/S.

Porritt, J., y McCarthy, M. (2020). *The Global Protein Challenge*. Suecia: The Soneva Dialogue.

Obtenido de <https://seabos.org/dialogues/soneva/>

Quesada, D., y Gómez, G. (2019). ¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?: Una mirada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 2(1), 79-86. doi:<https://doi.org/10.35454/rncm.v2n1.063>

Real Academia Española. (Octubre de 2014). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/huevo>

Ramírez Crespo, L., Cortés Rodríguez, M., y Micanguer Carlosama, A. (2022). El huevo de gallina y su procesamiento. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 221 - 239. doi:<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1438>

Sampath Kumar, Nazeer, y Jaiganesh. (2011). Purification and biochemical characterization of antioxidant peptide from horse mackerel (*Magalaspis cordyla*) viscera protein. *Peptides*, 32(7), 1496-1501. doi:<https://doi.org/10.1016/j.peptides.2011.05.020>

Santana Porbén, S. (2008). El huevo como aliado de la nutrición y la salud. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 18(2), 15. Obtenido de <https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/919>

Suárez, M., Kizlansky, A., y López, B. (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición Hospitalaria*, 47-51. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000100009

Tiensin, T. (26 de Septiembre de 2023). *Unlocking the potential of sustainable livestock production*. (FAO, Editor) Obtenido de *Unlocking the potential of sustainable livestock*

production: <https://www.fao.org/newsroom/detail/unlocking-the-potential-of-sustainable-livestock-production/en>

Tikkanen, A. (2018). *Encyclopedia Britannica, Inc.*

Transparency Market Research. (Setiembre de 2018). *Transparency Market Research*. Obtenido de Transparency Market Research: [file:///D:/OneDrive%20-%20OVOSUR%20SA/rosalinda.rondinel/Escritorio/Rosalinda/Tesis/Bibliograf%C3%A Da/Egg%20Protein%20Market%20to%20Reach%20a%20Valuation%20of%20US\\$%201.8%20Bn%20by%202029.html](file:///D:/OneDrive%20-%20OVOSUR%20SA/rosalinda.rondinel/Escritorio/Rosalinda/Tesis/Bibliograf%C3%A Da/Egg%20Protein%20Market%20to%20Reach%20a%20Valuation%20of%20US$%201.8%20Bn%20by%202029.html)

Turchiuli, C., Smail, R., y Dumoulin, E. (2012). Fluidized bed agglomeration of skim milk powder: Analysis of sampling for the follow-up of agglomerate growth. *Powder Technology*, 238, 161–168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.02.030>

United State Egg Product Suppliers. (2023). *The incredible egg*. Obtenido de <https://www.incredibleegg.org/professionals/buyers-guide>

United States Department of Agriculture (Noviembre de 2023). *Food Safety and Inspection Service*. Obtenido de <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/eggs/egg-products-and-food-safety>

Vang Westergaard, y Ejnar Refstrup. (2020). *Handbook milk powder manufacture* (2 ed.). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/442888526/handbook-milk-powder-manufacture-pdf>

Vargas del Río, L. M., García Figueroa, A., Fernández Quintero, A., y Rodríguez Stouvenel, A. (2022). Spray-Drying Hen Egg: Effects of the Egg Yolk to Egg White Ratio and Sucrose Addition on the Physicochemical, Functional, and Nutritional Properties of Dried Products

and on Their Amino Acid Profiles. (S. Lee, Ed.) 12(9), 4516.
doi:<https://doi.org/10.3390/app12094516>

Yamamoto, T., Juneja, L., Hatta, H., y Kim, M. (1996). *Hen Eggs, Their Basic and Applied Science* (1 ed.). Estados Unidos: Board. doi:<https://doi.org/10.1201/9780203752081>

Yang, J., Meng, D., Wu, Z., Chen, J., y Xue, L. (2023). Modification and Solubility Enhancement of Rice Protein and Its Application in Food Processing: A Review. *Molecules*, 28(10), 4078. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules28104078>

Yousefi, N., y Abbasi, S. (2022). Food proteins: Solubility & thermal stability improvement techniques. *Food Chemistry Advances*, 1, 16. doi:doi.org/10.1016/j.focha.2022.100090