

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Obtención de clara de huevo en polvo, mediante secado por aspersion, una propuesta tecnológica para el aprovechamiento de materia prima secundaria en una industria artesanal de elaboración de quesadillas


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico

Autor:

Pedro José Ochoa Barrera

Director:

Diana Jesús Andrade Muñoz

ORCID:  0000-0003-2365-0404

Cuenca, Ecuador

2025-09-07

Resumen

El presente estudio evaluó la viabilidad técnica y operativa de obtener clara de huevo en polvo mediante secado por aspersion empleando maltodextrina como agente encapsulante, con el fin de promover el aprovechamiento sostenible de subproductos avícolas generados en la industria artesanal de quesadillas de Cuenca. Se realizaron ensayos preliminares que evidenciaron taponamiento del sistema de atomización al procesar clara líquida sin encapsulante, por lo que se incorporó maltodextrina en proporciones de 10 % y 15 %. Se aplicó un diseño factorial para establecer los parámetros óptimos, resultando como mejores condiciones una temperatura de entrada de 140 °C, caudal de alimentación de 12.5 mL/min y 15 % de maltodextrina. Bajo estos parámetros se obtuvo un producto con humedad de 7.01 %, proteína de 88.57 % (base húmeda), carbohidratos totales de 2.13 % y grasa de 1.69 %, cumpliendo con la NTE INEN 1973 para ovoproductos. Microbiológicamente presentó ausencia de *Salmonella* spp. y bajos recuentos de mohos y levaduras, confirmando su inocuidad. El rendimiento del proceso fue de 12.29 %, superior a estudios sin encapsulantes (6.3 %, 7.69 % y 10 %, para sus respectivas temperaturas de 120 °C, 140 °C y 160 °C). Estos resultados concluyen que el secado por aspersion, con adición de maltodextrina, constituye una alternativa tecnológica eficiente para la obtención de clara de huevo en polvo de alta calidad nutricional y funcional, promoviendo prácticas sostenibles y la valorización de subproductos en la industria alimentaria local.

Palabras clave del autor: clara de huevo en polvo, maltodextrina, secado por aspersion, aprovechamiento de subproductos, encapsulación



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This study evaluated the technical and operational feasibility of obtaining egg white powder through spray drying using maltodextrin as an encapsulating agent, aiming to promote the sustainable utilization of poultry by-products generated by the artisanal quesadilla industry in Cuenca. Preliminary tests revealed clogging in the atomization system when processing liquid egg white without an encapsulant, which led to the incorporation of maltodextrin at 10% and 15% concentrations. A factorial design was applied to determine optimal processing parameters, resulting in the best conditions being an inlet temperature of 140 °C, feed rate of 12.5 mL/min, and 15% maltodextrin. Under these parameters, the final product showed a moisture content of 7.01%, protein content of 88.57% (wet basis), total carbohydrates of 2.13%, and fat content of 1.69%, complying with the NTE INEN 1973 standard for egg products. Microbiological analysis confirmed the absence of *Salmonella spp.* and low yeast and mold counts, ensuring product safety. The process yield was 12.29 %, higher than previous studies without encapsulants (6.3%, 7.69%, and 10% at 120 °C, 140 °C, and 160 °C, respectively). These results demonstrate that spray drying with maltodextrin addition is an efficient technological alternative for producing high-quality nutritional and functional egg white powder, fostering sustainable practices and the valorization of by-products in the local food industry.

Author keywords: egg white powder, maltodextrin, spray drying, by-product utilization, encapsulation



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de Contenido

Índice de Contenido	4
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas.....	7
Índice de Ecuaciones.....	8
Dedicatoria	9
Agradecimiento	10
Introducción.....	11
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
1 Marco Teórico.....	13
1.1 Aprovechamiento de Subproductos en la Industria Alimentaria	13
1.1.1 Impacto del Desperdicio de Subproductos Alimenticios	13
1.1.2 Importancia de la Gestión de Subproductos	15
1.1.3 Usos Alternativos de los Subproductos.....	17
1.2 Huevo de Gallina.....	17
1.2.1 Composición Nutricional del Huevo	18
1.2.2 Propiedades Funcionales del Huevo.....	20
1.3 Clara de Huevo en Polvo	20
1.3.1 Características y Propiedades de la Clara de Huevo en Polvo	20
1.3.2 Ventajas del Huevo en Polvo Frente a los Huevos Líquidos.....	21
1.4 Técnicas de Inocuidad Previo al Secado por Aspersión de la Clara de Huevo	22
1.4.1 Pasteurización	22
1.5 Secado por Aspersión.....	23
1.5.1 Fundamentos del Secado por Aspersión	24
1.5.2 Secado por Aspersión de Productos Alimenticios	25
1.5.3 Optimización del Secado por Aspersión y sus Implicaciones.....	26
1.6 Encapsulación	26

1.6.1	Encapsulación de la Clara de Huevo	27
1.6.2	Uso de Maltodextrina como Agente Encapsulante	28
2	Metodología	30
2.1	Determinación de los Parámetros de Alimentación y del Equipo de Secado.....	30
2.1.1	Ensayos Preliminares	30
2.2	Obtención de la Materia Prima y Reactivos	30
2.2.1	Materia Prima.....	30
2.2.2	Maltodextrina.....	31
2.3	Procedimiento	31
2.3.1	Preparación de la Muestra para Alimentación al Equipo	31
2.3.2	Procedimiento para el Secado por Aspersión de la Mezcla	33
2.4	Caracterización del Producto Final	35
2.4.1	Análisis Físico Químico	35
2.4.2	Análisis Microbiológico	36
2.4.3	Rendimiento del Proceso.....	36
2.5	Limitaciones del Diseño Experimental.....	36
3	Resultados y Discusión	37
3.1	Parámetros para el Secado por Aspersión de Clara de Huevo	37
3.1.1	Resultados	37
3.2	Caracterización del Producto Final	42
3.2.1	Humedad Residual	43
3.2.2	Contenido de Proteína.....	43
3.2.3	Carbohidratos Totales y Grasa.....	45
3.2.4	Análisis Microbiológico	46
3.3	Rendimiento del Proceso	47
	Conclusiones.....	49
	Recomendaciones	51
	Referencias	52
	Anexos	57

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo de economía lineal	16
Figura 2. Modelo de economía circular	16
Figura 3. Estructura del huevo de gallina	18
Figura 4. Secador por aspersion del Laboratorio de Humidificación y Secado de la Facultad de Ciencias Químicas, en la Universidad de Cuenca	23
Figura 5. Morfoestructura de las partículas obtenidas mediante secado por aspersion.....	24
Figura 6. Micrografía obtenida por microspía electrónica de barrido (SEM) de aceite de mora encapsulado con goma arábica	27
Figura 7. Estructura química de la Maltodextrina	28
Figura 8. Micrografía obtenida por microspía electrónica de barrido (SEM) de aceite de mora encapsulado con maltodextrina	29
Figura 9. Claras de huevo recolectadas y almacenadas en recipientes plásticos herméticos	31
Figura 10. Diagrama de flujo del procedimiento para la preparación de la muestra	31
Figura 11. Proceso de cernido y batido de la materia prima	32
Figura 12. Mezcla de maltodextrina y clara de huevo líquida	33
Figura 13. Mezcla filtrada con tela tipo cedazo	33
Figura 14. Diagrama de flujo del procedimiento de secado por aspersion de la mezcla.....	33
Figura 15. Mezcla alimentada a la bomba del secador	34
Figura 16. Humedad final del experimento cinco.....	40
Figura 17. Humedad final del experimento seis.....	41
Figura 18. Humedad final del experimento siete	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Estimación del desperdicio de alimentos per cápita en países seleccionados de América Latina, América del Norte y Europa	14
Tabla 2. Composición del Huevo de Gallina	19
Tabla 3. Velocidades del Equipo y Equivalentes en mililitros por min (mL/min)	39
Tabla 4. Factores y niveles evaluados en el diseño experimental	39
Tabla 5. Condiciones y resultados de los experimentos realizados.....	40
Tabla 6. Resultados de los Análisis de Laboratorio del Producto Final	42

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Rendimiento Porcentual del Proceso	36
Ecuación 2 Cálculo del Contenido de Proteína en Base Seca.....	44
Ecuación 3 Cálculo de la Masa a Partir de la Densidad	47

Dedicatoria

A mis Padres, José Luis y Angelita, todo lo que soy se los debo.

A mi compañera de vida, mi hermana María Elisa.

A Serafín y Serafina, no hay nada que no pueda lograr si se trata de ustedes.

A Manolo, Lucía y Fermín, por seguir junto a mí.

A mí, todavía no encuentro una barrera que me contenga.

A Dios, por darme siempre todo lo que necesito.

Pero sobre todo a Gus, este y todos mis logros futuros te pertenecen a ti, nadie los merece más que tú.

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento, en primer lugar, a la Ing. Diana Andrade, mi tutora de tesis y a la Ing. Verónica Saetama, técnico docente del Laboratorio de Humidificación y Secado, cuyo respaldo ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo. Sus vastos conocimientos, reflejados en sus consejos, comentarios y recomendaciones constantes, fueron esenciales para alcanzar el éxito en este proyecto. Además, su compromiso inquebrantable se convirtió en una base indispensable durante todo el proceso.

Introducción

La generación de subproductos en la industria alimentaria representa un desafío técnico, ambiental y económico a nivel global. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en 2024 se desecharon más de mil millones de toneladas de alimentos procesados, lo que representa aproximadamente el 17 % del total de compras realizadas por los consumidores durante ese año (PNUMA, 2024). Este fenómeno no se limita a los países desarrollados, pues el desperdicio per cápita en los hogares muestra valores similares entre países de distintos niveles de ingresos (PNUMA, 2021). La clara de huevo, en particular, constituye un subproducto de alto valor nutricional que frecuentemente es desechado, a pesar de su contenido proteico (Instituto de Estudios del Huevo, s. f.)

En Ecuador, específicamente en la ciudad de Cuenca, la industria artesanal de elaboración de quesadillas desecha semanalmente un volumen aproximado de 3.5 litros de claras de huevo, generando pérdidas económicas y problemas ambientales asociados a su disposición. Bajo condiciones anaeróbicas, la degradación de las claras produce gases de efecto invernadero como el metano, responsable del 30 % del calentamiento global desde la época preindustrial (Repsol, 2023). A pesar de su importancia nutricional, caracterizada por proteínas de alto valor biológico como la ovoalbúmina, ovotransferrina y lisozima (Ramírez-Crespo et al., 2022), su limitada vida útil y dificultad de almacenamiento han restringido su aprovechamiento, evidenciándose un vacío tecnológico en su transformación y valorización como ingrediente funcional y sostenible.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de implementar tecnologías que permitan la revalorización de este subproducto, contribuyendo a la reducción del desperdicio alimentario y al desarrollo de procesos sostenibles alineados con la economía circular (Preciado-Saldaña et al., 2022). El secado por aspersion es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria alimentaria por su eficiencia en la transformación de líquidos en polvos estables, con mínima pérdida de propiedades funcionales y nutricionales (Fabela, 2017; Eggs Unlimited, 2024). Sin embargo, el secado de claras de huevo sin encapsulantes genera problemas operativos como el taponamiento del sistema de atomización debido a su alta concentración proteica, requiriendo la incorporación de agentes encapsulantes como la maltodextrina para viabilizar el proceso y proteger las proteínas termo-sensibles (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021; Cobo Encalada & Solis Rodas, 2021; Lee et al., 2018).

Objetivo General

Obtener clara de huevo en polvo, mediante secado por aspersion, con el fin de promover el aprovechamiento sostenible de los subproductos.

Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros óptimos del proceso de secado por aspersion para la mezcla de clara de huevo y de maltodextrina (proporción de componentes) y para el equipo (temperatura y velocidad de alimentación).
- Caracterizar el producto final obtenido realizando análisis desde el punto de vista físico-químico (humedad residual, contenido de proteínas, carbohidratos totales y grasas), nutricional y microbiológico (salmonella spp, mohos y levaduras).
- Evaluar el rendimiento de la producción de clara de huevo en polvo.

1 Marco Teórico

1.1 Aprovechamiento de Subproductos en la Industria Alimentaria

La cadena productiva de la industria alimenticia se caracteriza por generar volúmenes significativos de residuos, los cuales surgen tanto del descarte de productos por parte de los consumidores como de las pérdidas que se presentan al momento de procesarlos; mismas que pueden ocurrir debido a exceso de producción por planificaciones mal realizadas, fallas durante los procesos debido a estandarizaciones ineficientes en los métodos o también por eliminación de partes comestibles.

Ante esta situación, la revalorización de subproductos se plantea como una solución estratégica que permite disminuir los desechos, incrementar la sostenibilidad de los procesos y aportar valor agregado a la cada productiva. La forma de aplicación de esta estrategia consiste en transformar los materiales que se catalogaron previamente como desperdicios, en insumos industriales con valor real para los consumidores; pueden ser ingredientes funcionales con aplicaciones tecnológicas mejoradas o alimentos innovadores con un nuevo valor agregado. Impulsar esta visión favorece el cumplimiento de los objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos en la Agenda 2030 de la FAO (Preciado-Saldaña et al., 2022).

1.1.1 Impacto del Desperdicio de Subproductos Alimenticios

Según datos recopilados en 2024, los consumidores a nivel mundial desecharon más de 1.000 millones de toneladas de alimentos procesados, cifra que equivale al 17% de todas sus compras durante ese año (PNUMA, 2024).

Se estima que, durante las diferentes fases de procesamiento, incluyendo postcosecha, almacenamiento y transporte, la cantidad de alimentos desperdiciados se aproxima al millón de toneladas. Cifra que es preocupante no solo por su magnitud, sino porque podría cubrir las necesidades alimenticias de casi dos millones de personas (FAO, 2019, como se citó en Preciado-Saldaña et al., 2022).

Anteriormente, la preocupación por el desperdicio alimentario tenía un enfoque principalmente en los países desarrollados, debido a su alto nivel de consumismo en comparación con los países en desarrollo. Actualmente, las investigaciones más recientes indican que el desperdicio de alimentos per cápita en los hogares es comparable entre los países pertenecientes a ambos conjuntos (O'Connor, como se citó en PNUMA, 2021). En la **Tabla 1** se muestra una estimación del desperdicio de alimentos en una selección de países de 3 continentes distintos.

Tabla 1. Estimación del desperdicio de alimentos per cápita en países seleccionados de América Latina, América del Norte y Europa

Continente	País	Referencia	Desperdicio de alimentos (kg/cápita)
América Latina	Belice	(Inter-American Development Bank, 2011)	95
	Brasil	(Araujo et al., 2018)	60
	Colombia	(JICA, 2013)	70
	México	(Kemper et al., 2019)	94
América del Norte	Canadá	(Environment and Climate Change Canada, 2019)	79
	Estados Unidos	(U.S. Environmental Protection Agency, 2020)	64
Europa	Austria	(Environment Agency Austria, 2017)	39
	Bélgica	(Flemish Food Supply Chain Platform for Food Loss, 2017)	50
	Dinamarca	(Edjabou et al., 2016)	83
	Estonia	(Moora, Evelin, et al., 2015)	78
	Francia	(ADEME, 2016)	85
	Grecia	(Abeliotis et al., 2015)	142
	Italia	(Giordano et al., 2019)	67
	España	(Caldeira et al., 2019)	78

Adaptado y traducido de *Food Waste INDEX Report 2021*, por Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021 (<https://www.unep.org/es/resources/informe/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021>), y otras fuentes citadas en la tabla.

El desperdicio o la inadecuada utilización de los alimentos impacta negativamente al medio ambiente al implicar un uso excesivo de suelo, la contaminación de la tierra, el consumo

innecesario de agua, la reducción de la biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Todo ello ocurre para producir alimentos que finalmente no son consumidos y terminan siendo desechados, impidiendo que las personas se beneficien de ellos (Quested, como se citó en PNUMA, 2021).

Durante 2022 se desperdiciaron aproximadamente 1 050 millones de toneladas de alimentos a nivel mundial, lo que representa un 19 % del total disponible para consumidores en comercios, servicios alimentarios y hogares, sin contar el 13 % adicional que se pierde a lo largo de la cadena de suministro. Este desperdicio, además de implicar una ineficiencia en el uso de recursos, contribuye entre el 8 y el 10 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (PNUMA, 2024). Alrededor de un total de 1.400 millones de hectáreas de suelo para plantaciones fueron necesarias para producir esta cantidad de alimentos que fueron convertidos en desperdicio y terminaron su ciclo convertidos en contaminantes (ECODES, 2019, como se citó en Cartay et al., 2023).

Con base en lo mencionado, se puede afirmar que el desperdicio de los alimentos va en contra del objetivo número doce de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU), que hace referencia a disminuir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita a nivel de los consumidores minoristas (Quested, como se citó en PNUMA, 2021).

1.1.1.1 Desperdicios Generados en una Industria Artesanal de Quesadillas de la Ciudad de Cuenca-Ecuador

En el proceso artesanal de elaboración de quesadillas se genera un volumen de 3.5 litros semanales de claras de huevo que no son aprovechadas de manera eficiente, puesto que normalmente son desechadas ignorando el valor agregado que se les puede atribuir. Este desaprovechamiento representa una pérdida de recursos valiosos que incrementa los costos de almacenamiento y el impacto ambiental. Cuando estas claras son desechadas, el problema que se genera, bajo condiciones anaeróbicas, es que libera gases de efecto invernadero (GEI), como el metano, que contribuye al 30 % del calentamiento global desde la época preindustrial (Repsol, 2023).

1.1.2 Importancia de la Gestión de Subproductos

Los modelos de economía convencionales aplicados en la producción y procesamiento de alimentos, como el modelo de economía lineal (ver **Figura 1**), han demostrado ser poco eficientes y altamente destructivos. Este sistema se basa en adquirir, utilizar y desechar los materiales a lo largo de la cadena productiva (Preciado-Saldaña et al., 2022). Además, el uso indiscriminado de los recursos naturales como principal fuente de materia prima no considera

adecuadamente los efectos ambientales ni el agotamiento de recursos no renovables empleados en la producción (Preciado-Saldaña et al., 2022).

Figura 1. Modelo de economía lineal



Reproducido de *Economía Lineal vs Economía Circular. ¡Vuélvete Circular!*, por A. Serrano Acitores, 2023, <https://www.antonioserranoacitores.com/economia-lineal/>

Ante esta problemática, en los últimos años se ha iniciado una transición hacia modelos productivos más amigables con el medio ambiente, eficientes y sostenibles, que buscan reducir el impacto ambiental negativo y, al mismo tiempo, generar desarrollo económico y bienestar social (Preciado-Saldaña et al., 2022). Uno de los modelos propuestos para esta transformación es la economía circular (ver **Figura 2**), que se fundamenta en la reutilización de materiales que en el modelo lineal son descartados, ignorando el valor que aún poseen o que se les puede volver a atribuir. La economía circular promueve la conservación del capital natural, es decir, los recursos iniciales, y la optimización y gestión de flujos renovables (Preciado-Saldaña et al., 2022).

Figura 2. Modelo de economía circular



Reproducido de *Economía Lineal vs Economía Circular. ¡Vuélvete Circular!*, por A. Serrano Acitores, 2023, <https://www.antonioserranoacitores.com/economia-lineal/>

Caracterizar un insumo como “desperdicio” implica que ya no posee propiedades útiles ni valor para un nuevo uso o su reutilización. Por tanto, abandonar esta percepción y reconocer

que los desechos aún pueden ser aprovechados es el primer paso hacia la implementación efectiva del modelo de economía circular.

1.1.3 Usos Alternativos de los Subproductos

La sociedad tiene la responsabilidad de reducir parcialmente los residuos potencialmente contaminantes hasta poder convertirlos en productos manejables económica y ambientalmente, aprovechando de manera más eficiente los recursos naturales tierra y agua usados en su producción (Cartay et al., 2023).

La visión de los subproductos ha experimentado una transición en las últimas décadas, de manera que ahora son vistos como una oportunidad para convertirlos en sustancias secundarias derivadas de un proceso productivo que tienen una aplicación y función distintas a la del producto principalmente elaborado (Cartay et al., 2023).

Entre las diferentes aplicaciones que un subproducto generado a partir de desperdicios industriales puede recibir, se destaca su transformación en sustancias bioenergéticas, compuestos bioactivos, alimentos balanceados para alimentar a los animales, material orgánico utilizado para compostaje, entre otros (FAO, 2014, como se citó en Cartay et al., 2023).

Aplicaciones más recientes de los desperdicios han evaluado su funcionalidad y eficiencia en tratamientos de aguas residuales, en donde se aplican métodos de bioadsorción a partir del uso de biomasa, viva o muerta, de trigo, cáscara de cítricos, lignina, entre otros, que son el resultado de los desechos producidos por cada una de sus respectivas industrias. Su finalidad en el proceso es la de acumular iones de metales pesados (cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio) que son sustancias altamente contaminantes y tóxicas, con un grado de dificultad en su eliminación bastante alto a partir de los tratamientos convencionales (Manios, 2004; Farooq et al., 2010; Saval, 2012; Tejada-Tovar et al., 2015; Sánchez-Silva, 2020, como se citó en Cartay et al., 2023).

1.2 Huevo de Gallina

El huevo es un alimento básico en la nutrición humana (Fernández et al., 2017, como se citó en Ramírez-Crespo et al., 2022), sus 3 componentes principales son: cáscara, clara y yema que representan un 12, 60 y 28 % del cuerpo completo del alimento, estos son los responsables de conservar todos los componentes nutricionales que lo convierten en un alimento de alto valor nutricional (Ramírez-Crespo et al., 2022). En la **Figura 3** se puede observar la estructura del huevo de gallina.

Figura 3. Estructura del huevo de gallina



Reproducido de *El huevo de gallina y su procesamiento industrial: una revisión*, por Ramírez-Crespo, L. M., Cortés-Rodríguez, M., & Micangüer-Carlosama, A. 2022, *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), p. 224. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1438>

1.2.1 Composición Nutricional del Huevo

El contenido comestible del huevo se compone de dos fracciones principales: la clara y la yema. La clara está constituida aproximadamente por un 88 % de agua y un 12 % de proteínas, mientras que la yema presenta una composición más compleja, con un 50 % de agua y el 50 % restante distribuido equitativamente entre proteínas y lípidos (Instituto de Estudios del Huevo, s. f.).

El huevo, además de su riqueza proteica, es una fuente importante de micronutrientes esenciales. Entre ellos destacan las vitaminas A, D, E y B12, fundamentales para diversas funciones metabólicas y celulares. Asimismo, contiene minerales de alto valor nutricional como fósforo, zinc, hierro y calcio (Ramírez-Crespo et al., 2022). Esta información se resume en la **Tabla 2** que presenta su composición nutricional.

Tabla 2. Composición del Huevo de Gallina

Nutrientes	Huevo entero	Clara	Yema
Energía (calorías)	72,00	17,00	55,00
Proteína (g)	6,30	3,60	2,70
Carbohidratos (g)	0,36	0,24	0,21
Grasa total (g)	4,80	0,06	4,50
Grasa monoinsaturada (g)	1,80	0,00	2,00
Grasa poliinsaturada (g)	1,00	0,00	0,72
Grasa saturada (g)	1,60	0,00	1,60
Grasa Trans (g)	0,02	0,00	0,02
Colesterol (mg)	186,00	0,00	184
Colina (mg)	126,00	0,40	116,00
Riboflavina (mg)	0,20	0,15	0,09
Vitamina B12 (µg)	0,45	0,03	0,33
Ácido fólico (mg)	24,00	1,00	25,00
Vitamina D (UI)	41,00	0,00	37,00
Vitamina A (UI)	270,00	0,00	245,00
Vitamina E (mg)	0,50	0,00	0,44
Selenio (µg)	15,40	6,60	9,50
Fósforo (mg)	99,00	5,00	66,00
Hierro (mg)	0,88	0,03	0,46
Zinc (mg)	0,65	0,01	0,39
Calcio (mg)	28,00	2,00	22,00
Sodio (mg)	71,00	55,00	8,00
Potasio (mg)	69,00	54,00	19,00

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

1.2.2 Propiedades Funcionales del Huevo

Las propiedades funcionales de los alimentos están relacionadas con la presencia de compuestos bioactivos que, más allá de su valor nutricional básico, pueden ejercer efectos fisiológicos beneficiosos en el organismo. Estas propiedades, determinadas por la complejidad química de los alimentos, influyen directamente en su comportamiento durante el procesamiento, almacenamiento y consumo, y definen su valor dentro de la industria alimentaria. Así, los alimentos funcionales se reconocen como insumos estratégicos capaces de aportar beneficios adicionales para la salud, contribuyendo incluso a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas cuando se incorporan adecuadamente en la dieta (Rozo, 2004).

1.3 Clara de Huevo en Polvo

La clara de huevo en polvo es el resultado del procesamiento, a través de métodos térmicos, de una alimentación de clara de huevo en estado líquido, que tienen el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de agua libre en su contenido, sin alterar sus propiedades, hasta obtener un polvo fino que conserve la mayoría de características de la alimentación inicial (Eggs Unlimited, 2024).

Una de las principales diferencias que tiene con la clara de huevo líquida radica en su contenido proteico: mientras que la clara líquida contiene aproximadamente un 10 % de proteínas, la clara de huevo en polvo alcanza concentraciones del 80 al 85 %, lo que le confiere una mayor funcionalidad en aplicaciones industriales y tecnológicas, como la capacidad espumante y gelificante (Global Resources Direct, 2025).

1.3.1 Características y Propiedades de la Clara de Huevo en Polvo

Una de las principales características de la clara de huevo en polvo es que puede ser reconstruida fácilmente por medio de la adición de agua recreando así la clara líquida para poder aplicarla en una gama muy diversa de procesos culinarios. Esta recuperación es posible debido a que las partículas del polvo son tan finas que su capacidad de solubilidad en agua incrementa considerablemente (Eggs Unlimited, 2024).

Alrededor del 90 % de la materia seca presente en la albúmina está constituida por proteínas como la ovoalbúmina, ovotransferrina, ovomucoide, lisozima, avidina y ovomucina, por lo que es una fuente de proteínas de alta calidad. Estudios más recientes han identificado un total aproximado de 148 tipos diferentes de proteínas en la clara de huevo (D'Ambrosio et al., 2008, como se citó en Muñoz, 2017).

1.3.1.1 Capacidad Espumante

La capacidad espumante de la clara de huevo se debe a la acción de sus proteínas, que poseen la habilidad de incorporar y estabilizar aire en una mezcla (Muñoz, 2017). Durante el batido, la aplicación de esfuerzo mecánico induce la aireación de la clara, lo que favorece la formación de espuma gracias a las propiedades estructurales y de superficie de sus proteínas, principalmente la ovoalbúmina y la ovotransferrina. Esta característica es ampliamente aprovechada en la elaboración de productos de repostería como merengues, mousses y bizcochos, donde la estabilidad y el volumen de la espuma son factores críticos de calidad (Castillo, 2022).

1.3.1.2 Propiedades Gelificantes

La capacidad de formación de gel depende también de las proteínas, específicamente de las interacciones entre ellas al formar enlaces covalentes o no covalentes, cuya formación se ve influenciada por factores como la concentración de proteínas en la clara, el pH de la solución, entre otros. Cuando la albúmina se expone a temperaturas superiores a los 60°C, las proteínas pierden su estructura tridimensional original debido a la desnaturalización, formando una red de proteínas capaz de atrapar grandes cantidades de agua que forman el gel (Ruíz et al., 2018).

El proceso implica un cambio de estado de fluido a sólido o semisólido conocido como “coagulación”, esta capacidad de coagulación es especialmente útil en una variedad de aplicaciones culinarias, donde se utiliza para unir ingredientes y otorgar firmeza a las preparaciones (Castillo, 2022). Además de las aplicaciones relacionadas a las propiedades funcionales del huevo en polvo, se pueden citar otras como su uso como colorante en el área de la repostería y como agente clarificante para la industria de vinos y zumos (Ruíz et al., 2018).

1.3.2 Ventajas del Huevo en Polvo Frente a los Huevos Líquidos

Si bien los huevos en polvo conservan gran parte del valor nutricional de los huevos líquidos, es cierto que algunos nutrientes pueden ser ligeramente reducidos puesto que los métodos de deshidratación del huevo usualmente son aplicados de formas caseras que no toman en consideración factores importantes de riesgo que pueden ocurrir durante el procesamiento y que deben ser controlados para obtener un producto de mejor calidad y características (Eggs Unlimited, 2024).

A pesar de ello, se identifica varias ventajas en comparación con los huevos frescos. Principalmente se menciona su vida útil prolongada, que es una consecuencia de la reducción

casi total de su contenido de agua libre, lo mismo que le confiere mayor rentabilidad a largo plazo, una característica de peso para aquellos consumidores que requieren disponibilidad de materia prima alta con tiempos de almacenamiento duraderos (Eggs Unlimited, 2024).

Otro factor clave a mencionar es en cuanto a la inocuidad alimentaria. Los huevos crudos son portadores de un amplio contenido de sustancias patógenas que pueden afectar a la salud de sus consumidores. Los tratamientos de deshidratación se caracterizan por emplear temperaturas bastante altas que someten, indirectamente a un proceso de pasteurización al huevo, volviéndolo un alimento más seguro para el consumo una vez que ha sido transformado en polvo (Eggs Unlimited, 2024).

1.4 Técnicas de Inocuidad Previo al Secado por Aspersión de la Clara de Huevo

La seguridad alimentaria se define como la situación en la que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias para desarrollar una vida saludable (FAO, 2014, como se citó en Salazar & Muñoz, 2019). Por su parte, la inocuidad alimentaria es una condición de los alimentos para que exista seguridad en su consumo y se refiere a mitigar todos aquellos riesgos asociados a la alimentación que pueden incidir en la salud de las personas (FAO, 2014).

En el caso de los ovoproductos líquidos, que se caracterizan por ser empleados de forma cruda durante la preparación de otros alimentos o por ser consumidos directamente (Sierra, 2016, como se citó en Durán & Arenas, 2017), dentro de su proceso de elaboración se incluye una fase térmica de pasteurización con el fin de reducir la carga microbiana y eliminar posibles microorganismos patógenos, principalmente la *Salmonella* spp. (ICMSF, 2005, como se citó en Durán & Arenas, 2017).

1.4.1 Pasteurización

El proceso térmico de la pasteurización es ampliamente usado a nivel de la industria alimentaria puesto que permite reducir o eliminar la carga microbiana de un alimento sin alterar las características organolépticas del mismo (Barbosa & Bermúdez, 2010, como se citó en Durán & Arenas, 2017). Los parámetros empleados dentro del proceso, así como tecnologías auxiliares que se puedan aplicar al mismo con el objetivo de mejorar su rendimiento, van a depender de la naturaleza propia de cada producto que se desea pasteurizar (Durán & Arenas, 2017).

En el caso de los huevos líquidos, la investigación realizada por Durán y Arenas (2017), titulada *Evaluación de los procesos de pasteurización de huevo líquido para la reducción de Salmonella Enteritidis*, concluye que la temperatura eficiente para desarrollar el proceso de pasteurización del huevo, garantizando la eliminación completa del patógeno contaminante, sin afectar las características del producto, es de 60 °C, con un tiempo óptimo asociado a esta temperatura de mínimo 150 segundos. Estos parámetros permiten un proceso eficiente de reducción microbiana con un impacto mínimo en las propiedades organolépticas y funcionales del huevo (Durán & Arenas, 2017).

1.5 Secado por Aspersión

Se trata de una operación unitaria que se encarga de transformar un fluido con diferentes presentaciones como solución, dispersión o pasta, en un material sólido con partículas de un tamaño micro o nano, dependiendo el caso, a través de la aplicación de cantidades variables de temperatura, pero lo suficientemente altas para evaporar su agua o inducir una transformación (Fabela, 2017). La **Figura 4** muestra la imagen del secador por aspersión del Laboratorio de Humidificación y Secado de la Facultad de Ciencias Químicas, en la Universidad de Cuenca.

Figura 4. Secador por aspersión del Laboratorio de Humidificación y Secado de la Facultad de Ciencias Químicas, en la Universidad de Cuenca

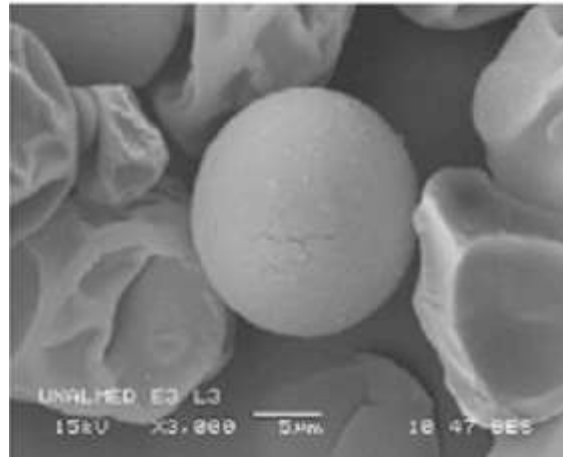


Reproducido de *Secadora Spray de sobremesa, con capacidad para procesar hasta 1,5 litros/hora de producto Armfield - FT30-MkIII-A*, por TecnoEdu, TecnoEdu, s. f.

<https://tecnoedu.com/Alimentos/FT30MkIIIA.php>

El producto final obtenido son partículas atomizadas y deshidratadas, con una morfoestructura lisa, con cierto grado de esfericidad, fáciles de manejar y con una vida útil significativamente mayor que la del fluido original (Fabela, 2017). Estas características que pueden observarse mejor en la **Figura 5**.

Figura 5. Morfoestructura de las partículas obtenidas mediante secado por aspersión



Reproducido de *Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared*, por C. Lopera, 2009, Universidad de Antioquia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-40042009000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Uno de los beneficios fundamentales y la razón de su amplio uso en las industrias farmacéutica, química y alimenticia, es que permite la protección y conservación de la totalidad de la alimentación o de algún compuesto de interés de la misma, a través de una reducción bastante elevada del contenido de humedad y de la actividad acuosa del o los materiales de partida (Fabela, 2017).

1.5.1 Fundamentos del Secado por Aspersión

El principio del secado por aspersión consiste en el contacto directo entre el material líquido y una corriente de aire caliente a temperatura controlada, con el objetivo de eliminar la humedad sin comprometer las propiedades funcionales del producto. El aire caliente es alimentado a través de un filtro y un calentador ubicados en la parte superior del equipo de secado y es alimentado hacia el interior de la cámara por aspersores cuya acomodación puede ser en contra-corriente, paralelo o de flujo mixto (Fabela, 2017).

Las gotas de gas caliente envuelven por completo el cuerpo del material alimentado y, a medida que las gotas de material seco comienzan a caer, la humedad que el gas caliente ha absorbido, se evapora por la parte superior, quedando en la sección inferior del equipo el material sólido en forma de partículas que son arrastradas por el gas hacia separadores de ciclón (Fabela, 2017).

1.5.2 Secado por Aspersión de Productos Alimenticios

La eliminación del contenido de agua de un alimento implica disminuir la velocidad de deterioro del mismo, lo que se traduce en la extensión de su tiempo de vida útil. Le permite al alimento retener la actividad enzimática, no alterar el contenido vitamínico y preservar los componentes que le confieren propiedades organolépticas diferenciadoras (Carrillo & Munguia, 1999).

Durante el proceso de secado, la temperatura cumple un rol importante en las características y propiedades finales del producto obtenido. En el caso de la aplicación en la industria alimenticia, temperaturas de salida variadas en un rango de 60 a 120 °C han confirmado problemas como la desnaturalización de las proteínas en los valores más cercanos al límite superior del rango ya mencionado (Anandharamakrishnan et al., 2007). Para la albúmina de huevo se recomienda un rango de temperatura entre 110 y 125 °C, ya que permite conservar características como la capacidad de retención de agua, propiedades espumantes, capacidad emulsificante y contenido proteico (Fabela, 2017).

De la misma manera, la concentración de la alimentación tiene una influencia inversamente proporcional a la desnaturalización de proteínas, dado que a menores concentraciones existe una mayor pérdida del contenido proteico final del producto seco (Anandharamakrishnan et al., 2007).

El procesamiento térmico de los alimentos puede conllevar otras consecuencias negativas, como la pérdida de compuestos bioactivos (vitaminas, enzimas) y el oscurecimiento del producto debido a reacciones de Maillard (Dantas et al., 2024). No obstante, el desarrollo tecnológico ha permitido mitigar estos efectos a través de la optimización de parámetros operativos y la incorporación de nuevas tecnologías.

1.5.2.1 Aplicaciones del Secado por Aspersión en el Procesamiento de Alimentos

Los secadores están presentes en la gran mayoría de industrias, siendo la industria alimenticia una de sus mayores referentes. La industria de los lácteos se caracteriza por trabajar con materia prima cuyo contenido de grasa es bastante alto; el secado por aspersión es una tecnología fácilmente aplicable para esta característica, por lo que, dentro de la producción de leche en polvo, así como en la elaboración de quesos, su uso ha aumentado (Carrillo & Munguia, 1999).

Otra industria en donde los secadores son ampliamente empleados es la dedicada a la producción de café instantáneo, en donde las características del producto final definen la

calidad del mismo y le atribuyen valor agregado. De esta manera, el polvo de café obtenido mediante secado por aspersión cumple con las especificaciones normativas que regulan el procesamiento de los granos de café (Carrillo & Munguia, 1999).

Asimismo, esta operación unitaria ha sido imprescindible para la fabricación de alimentos de alto valor nutritivo como el polvo de soya que se caracteriza por su elevado contenido proteico (60-70 %). De esta manera se demuestra que esta tecnología tiene grandes prestaciones partiendo desde su aplicabilidad para el secado de productos cuyo fin principal es alargar su tiempo de vida útil, y llegando incluso a ser empleado en la fabricación de alimentos más funcionales con características mejoradas que abarcan nichos de mercado más específicos (Carrillo & Munguia, 1999).

1.5.3 Optimización del Secado por Aspersión y sus Implicaciones

Sujeto a modificaciones en cuanto a su técnica, mecanismos de acción, equipos y funcionamiento, el secado por aspersión ha experimentado cambios en su tecnología que lo convierten en una opción más eficiente, amigable con la materia prima trabajada y que mejora la calidad del producto final cuidando sus propiedades iniciales, junto con un menor consumo de energía para su funcionamiento (Dantas et al., 2024).

De manera convencional, el secado por aspersión realiza la atomización de la alimentación por medio de boquillas neumáticas, de presión o atomizadores centrífugos con disco. En lugar de alimentar el aire de secado de manera convencional, se puede aplicar una combustión forzada con gases, lo que permite que la alimentación sea bombeada hacia el pulso de aire caliente logrando un secado dinámico, ya no mecánico ni centrífugo (Dantas et al., 2024).

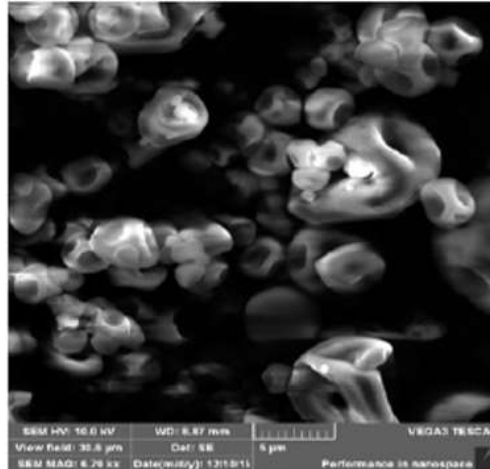
Esta modificación se ha realizado en equipos denominados "Secadores por combustión pulsada" y se han aplicado en la industria alimenticia, específicamente en la obtención de clara de huevo en polvo, demostrando una calidad superior a la producida con secadores por aspersión convencionales. El resultado es que el polvo de clara de huevo obtenida por secado por combustión pulsada presenta un mayor contenido de proteína debido a la disminución de la desnaturalización, mayor grado de solubilidad gracias al menor tamaño de partícula que se obtiene y, por lo tanto, mejor calidad debido a que sus propiedades funcionales (emulsificación y gelificación) responden de mejor manera (Dantas et al., 2024).

1.6 Encapsulación

Se trata de una técnica que tiene la finalidad de proteger a un alimento o componente de un alimento en específico del efecto de los agentes medioambientales que pueden alterar sus propiedades durante el procesamiento, almacenamiento, consumo y su tránsito por el tracto

gastrointestinal, facilitando la posibilidad de que conserven su viabilidad y funcionalidad en el tiempo (ver **Figura 6**) (Tripathi & Giri, 2014, como se citó en Rodríguez-Barona et al., 2016).

Figura 6. Micrografía obtenida por microspía electrónica de barrido (SEM) de aceite de mora encapsulado con goma arábica



Reproducido de *Microencapsulación mediante secado por aspersion de aceite de mora (Rubus glaucus) extraído con CO2 supercrítico*, por P. Figueroa, 2016, *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 113-123. <https://www.redalyc.org/journal/3090/309048472005/html/>

La diversidad de técnicas de encapsulación responde a la necesidad de proteger ingredientes sensibles frente a condiciones de procesamiento agresivos. En particular, cuando se aplican tratamientos térmicos como el secado, el estrés provocado por las altas temperaturas puede degradar significativamente la calidad del producto. En procesos de secado de mezclas líquidas, por ejemplo, la rápida deshidratación y el calor intenso pueden afectar las propiedades funcionales y nutricionales del alimento ((Ray et al., 2016, como se citó en Rodríguez-Barona et al., 2016).

1.6.1 Encapsulación de la Clara de Huevo

Aunque el secado por aspersion ofrece múltiples ventajas, como la obtención de polvos estables y de fácil almacenamiento, también implica riesgos para productos ricos en proteínas termo-sensibles, como la clara de huevo. La exposición prolongada a altas temperaturas incrementa la probabilidad de desnaturalización estructural de las proteínas, lo que puede comprometer tanto el valor nutricional como la funcionalidad tecnológica del producto final (Rodríguez-Barona et al., 2016).

Dado que las proteínas presentes en la albúmina comienzan a degradarse a partir de valores iguales o superiores a los 60°C, la incorporación de agentes encapsulantes adquiere un papel fundamental. Estos compuestos actúan como protectores funcionales al formar

microestructuras que limitan la exposición directa al calor, favoreciendo la conservación de las propiedades nutricionales y tecnofuncionales del producto (Rodríguez-Barona et al., 2016). Por ello, la selección de un agente encapsulante adecuado es un factor primordial para garantizar la calidad del producto deshidratado.

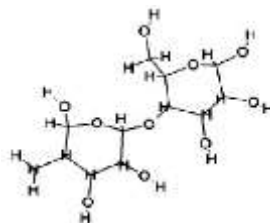
1.6.2 Uso de Maltodextrina como Agente Encapsulante

Entre los diversos compuestos evaluados para la protección térmica de alimentos durante el secado, la sacarosa ha sido empleada como aditivo en huevos frescos, demostrando cierto efecto positivo en la estabilización de proteínas y en la prevención de su agregación durante el tratamiento térmico. No obstante, uno de los principales inconvenientes asociados al uso de este disacárido es su tendencia a cristalizarse a temperaturas relativamente bajas, lo cual reduce significativamente su capacidad protectora en condiciones de alta temperatura (Vargas-del-Río et al., 2022).

Debido a estas limitaciones, se ha investigado el uso de otros agentes encapsulantes con mejores propiedades físico-químicas y mayor estabilidad térmica, que permitan superar los inconvenientes asociados al uso de la sacarosa en todo tipo de procesos que sometan a la materia prima a un tratamiento térmico.

Los agentes encapsulantes comúnmente empleados en el secado por aspersión son la maltodextrina (MD) (ver **Figura 7**) y la goma arábiga (GA), debido a que tienen un elevado peso molecular, lo mismo que, durante la operación del proceso, les confiere la capacidad de evitar problemas como la pegajosidad del producto seco en la pared de la cámara de secado y transformaciones en su estructura interna durante el procesamiento (Tonon et al., 2010, como se citó en Entote, 2023).

Figura 7. Estructura química de la Maltodextrina



Reproducido de *Establecimiento De Condiciones De La Mezcla De Pulpa De Banano (Musa Paradisiaca L.) Para Someter A Secado Por Aspersión*, por B. López et al., 2008, Universidad de Antioquia.

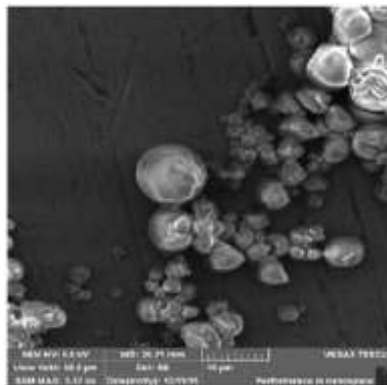
https://www.researchgate.net/publication/262447280_Establishing_of_the_conditions_of_the_blend_of_pulp_with_banano_Musa_paradisiaca_L_to_submit_spray_dryng/download?tp=eyJlb250ZXh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6Ii9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjojX2RpcmVidCJ9fQ

La maltodextrina es un polisacárido que resulta de la ruptura parcial de las moléculas de agua contenidas en el almidón de maíz. Para la FDA (Food and Drug Administration) es un producto de la hidrólisis del almidón mediante enzimas hidrolíticas en medio ácido. Se trata de un polvo de coloración blanca, cremoso que posee un sabor moderadamente dulce (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2025, como se citó en Entote, 2023).

Algunos de los beneficios que aporta como aditivo alimentario son la mejora de la textura del producto final, el control del dulzor e higroscopicidad (capacidad de una sustancia para absorber y retener agua de la atmósfera), la reducción de la cristalización, su capacidad de control de las reacciones de pardeamiento no enzimático y la formación de una capa protectora estable alrededor de diferentes componentes de la materia prima usada (Cobo Encalada & Solis Rodas, 2021).

Su aplicación se encuentra principalmente en la biomedicina, así como en la industria alimentaria (ver **Figura 8**), en esta última es usada comúnmente para la fabricación de pulpas y bebidas que serán secadas por aspersión, formando una película protectora que evita problemas de adherencia en la cámara de secado y protege los componentes de la materia prima, entre ellos proteínas, vitaminas y minerales (Cobo Encalada & Solis Rodas, 2021).

Figura 8. Micrografía obtenida por microscopía electrónica de barrido (SEM) de aceite de mora encapsulado con maltodextrina



Reproducido de *Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (Rubus glaucus) extraído con CO₂ supercrítico*, por P. Figueroa, 2016, *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 113-123. <https://www.redalyc.org/journal/3090/309048472005/html/>

El uso de la maltodextrina como coadyuvante en el proceso de secado no solo contribuye a mejorar la calidad del polvo, sino que también facilita la encapsulación de compuestos activos, protegiendo las proteínas del huevo y mejorando la textura y funcionalidad del producto final (Lee et al., 2018).

2 Metodología

2.1 Determinación de los Parámetros de Alimentación y del Equipo de Secado

Para establecer las condiciones óptimas del proceso de secado por aspersion en la obtención de clara de huevo en polvo, se planteó un diseño factorial 2^3 . Este tipo de diseño permite evaluar simultáneamente el efecto de tres factores de operación y sus posibles interacciones sobre una variable de respuesta, optimizando el número de ensayos seguidos (Montgomery, 2004).

Los factores evaluados en este estudio fueron:

- Temperatura del aire de secado (°C)
- Caudal de alimentación (mL/min)
- Porcentaje de maltodextrina (%)

Y la variable dependiente o de respuesta, fue la humedad final del producto medida en porcentaje.

2.1.1 Ensayos Preliminares

Para la definición de los límites operativos del diseño factorial, se realizaron ensayos preliminares de caracterización del comportamiento bajo distintas condiciones, que definieron la inclusión de la maltodextrina como agente encapsulante. Estos ensayos exploratorios se basaron en la metodología descrita por Pui et al. (2022), quienes evaluaron sistemáticamente el impacto de variables como temperatura de entrada, caudal de alimentación y concentración de maltodextrina utilizando un diseño factorial completo y midieron respuestas clave como el rendimiento, contenido de humedad, higroscopicidad y solubilidad en su estudio sobre el secado por atomización de pulpa de frutas.

2.2 Obtención de la Materia Prima y Reactivos

2.2.1 Materia Prima

El tratamiento de recolección de la materia prima inició con una separación manual por escurrido de la clara y la yema de los huevos utilizados, la misma que fue realizada por los operarios del taller artesanal de donde se obtuvo este subproducto para su transformación. Dicha separación se realizó con guantes de látex asegurando inocuidad durante todo el proceso. Seguido de la separación de ambos componentes, la clara se almacenó en recipientes plásticos herméticos y se refrigeró a 4°C (INOVO, s. f.). En la **Figura 9** se puede observar la clara de huevo recolectada cuyo volumen fue de 1500 mililitros.

Figura 9. Claras de huevo recolectadas y almacenadas en recipientes plásticos herméticos



2.2.2 Maltodextrina

La maltodextrina utilizada se adquirió en Productos Químicos Industriales “Freire Mejía Cia. Ltda”, en su presentación de bolsa de un kilogramo con un contenido de 10 a 12 DE (equivalentes de dextrosa). La cantidad de maltodextrina añadida fue del 10% del volumen total alimentado al secador (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).

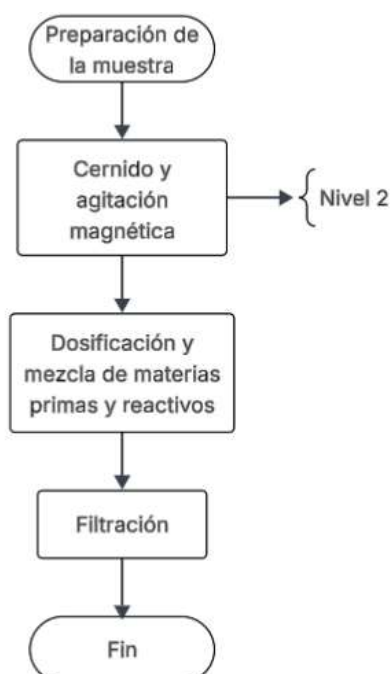
2.3 Procedimiento

La obtención de la clara de huevo en polvo se realizó en el Laboratorio de Humidificación y Secado, en el Campus Tecnológico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

2.3.1 Preparación de la Muestra para Alimentación al Equipo

En la **Figura 10** se puede observar el diagrama de flujo de este proceso.

Figura 10. Diagrama de flujo del procedimiento para la preparación de la muestra



2.3.1.1 Cernido

Con el objetivo de mejorar la eficiencia del secado por aspersión, se aplicó un proceso de cernido con el uso de un cernidor casero de acero inoxidable para eliminar el contenido de residuos sólidos como cáscaras de huevo, coágulos de clara o coágulos de sangre que podrían provocar un taponamiento de la aguja que alimenta el líquido al secador durante el proceso. Se aplicó también agitación mecánica usando un batidor de alambre del mismo material para acelerar el proceso de cernido y romper los coágulos formados. La **Figura 11** muestra el proceso de cernido que se siguió durante la experimentación.

Figura 11. Proceso de cernido y batido de la materia prima



2.3.1.2 Dosificación de Materia Prima y Reactivos

La cantidad de clara de huevo que se alimentó al secador fue de 1500 ml que fue mezclada con maltodextrina a una proporción del 15% del volumen total de alimentación. Esta proporción se seleccionó con base en el diseño experimental que se describe más adelante, y tiene concordancia con estudios previos de microencapsulación por secado por aspersión, en los cuales se ha demostrado que una concentración del 15% de maltodextrina proporciona una adecuada protección y estabilidad de los compuestos bioactivos, además de facilitar la atomización y mejorar la solubilidad del producto final (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021). La mezcla se realizó en caliente a una temperatura oscilante entre 40 °C – 45 °C y con agitación constante por medio el uso de un agitador magnético *HSC Heating Magnetic Stirrer VELP SCIENTIFICA*, para asegurar una correcta disolución del encapsulante sólido en la muestra líquida.

Como se mencionó, se utilizó una temperatura de calentamiento entre 40°C – 45°C, debido a que, por encima de 60°C las proteínas de la clara de huevo comienzan a desnaturalizarse formando un gel (Castillo, 2022). En la **Figura 12** se puede apreciar el resultado de la mezcla.

Figura 12. Mezcla de maltodextrina y clara de huevo líquida



2.3.1.3 Filtración

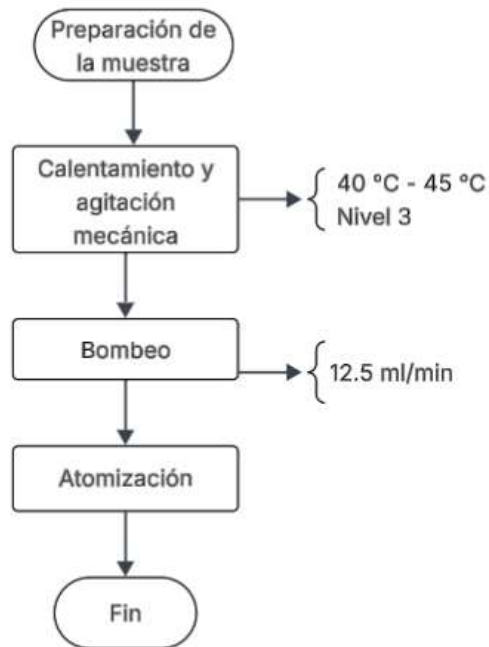
Luego del proceso de mezclado, se observó que, al finalizar la mezcla presentó grumos y turbidez debido a la presencia de coágulos de maltodextrina sólida no disuelta en la clara de huevo como se puede observar en la **Figura 12**. Para resolver este inconveniente se filtró la mezcla con una tela de filtrado tipo cedazo que permite eliminar los grumos de maltodextrina y obtener una mezcla más homogénea; sin embargo, es importante mencionar que al finalizar el filtrado todavía existía espuma en la superficie de la mezcla. En la **Figura 13** se puede observar el resultado de la filtración.

Figura 13. Mezcla filtrada con tela tipo cedazo



2.3.2 Procedimiento para el Secado por Aspersión de la Mezcla

Figura 14. Diagrama de flujo del procedimiento de secado por aspersión de la mezcla



2.3.2.1 Calentamiento y Agitación Mecánica

En concordancia con lo descrito por Castillo (2022), se debe procurar una temperatura de calentamiento de la alimentación que no cocine la muestra, por lo que, mediante el uso de una plancha de calefacción con agitación continua, se alimentó la mezcla a la manguera de la bomba a una temperatura oscilante entre 45-50 °C. La **Figura 15** muestra la mezcla siendo alimentada al secador con un termómetro que refleja la temperatura real de la mezcla.

Figura 15. Mezcla alimentada a la bomba del secador



La temperatura del aire de secado que alimenta el equipo fue graduada de acuerdo con lo determinado en el diseño factorial que será descrito más adelante.

2.3.2.2 Alimentación de la Muestra al Equipo

La mezcla se bombeó siguiendo los parámetros establecidos que se explican más adelante en el diseño factorial seguido para esta experimentación.

2.4 Caracterización del Producto Final

2.4.1 Análisis Físico Químico

La caracterización físico-química de la clara de huevo en polvo se realizó considerando los requisitos establecidos para ovoproductos deshidratados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1973 (2022), la cual establece parámetros mínimos de calidad para este tipo de productos.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos se aplicaron los siguientes métodos:

- Humedad residual. Determinada mediante el método AOAC 925.10, que consiste en secar 3 a 5 gramos de muestra en una termobalanza hasta alcanzar peso constante, registrando el porcentaje de agua eliminada.
- Contenido de proteína. Cuantificado por el método Kjeldahl AOAC 954.01. Aproximadamente 0.5 g de muestra se sometió a digestión con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores, posterior neutralización con hidróxido de sodio, destilación del amoníaco liberado y valoración con ácido clorhídrico 0.1 N. El nitrógeno total determinado se multiplicó por 6.25 para calcular el contenido proteico (INEN, 2022).
- Contenido de grasa. Determinado mediante el método NTE INEN-ISO 6492, basado en extracción gravimétrica con solventes orgánicos, que permite cuantificar los lípidos totales presentes en la muestra.
- Cenizas. Determinadas con el método AOAC 923.03, que consiste en la incineración de la muestra en una mufla a altas temperaturas para eliminar la materia orgánica y obtener el residuo mineral.
- Carbohidratos totales. Calculados por diferencia, restando del 100 % la suma de los porcentajes de humedad, proteínas, grasa y cenizas, según la práctica estándar en análisis bromatológicos (INEN, 2022).

Todos los análisis físico-químicos se realizaron en MSV Laboratorio, en condiciones ambientales controladas.

2.4.2 Análisis Microbiológico

De acuerdo con la NTE INEN 1973 (2022), los análisis microbiológicos se realizaron para verificar la inocuidad del producto. Las determinaciones incluyeron:

- *Salmonella* spp: detectada mediante el método BAM CAP 5, que comprende etapas de pre-enriquecimiento, enriquecimiento selectivo y siembra en medios diferenciales para confirmar su presencia o ausencia en 25 g de muestra.
- Mohos y levaduras: cuantificados mediante el método BAM CAP 18, basado en recuento en placa. Se sembró una alícuota de muestra en medios específicos y se incubó bajo condiciones controladas para el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) de cada grupo microbiano.

Los ensayos microbiológicos se realizaron en MSV Laboratorio, en condiciones ambientales controladas, siguiendo las normas de bioseguridad y buenas prácticas de laboratorio.

2.4.3 Rendimiento del Proceso

El rendimiento del proceso se calculó adecuando la ecuación de Khan et al. (2024) relacionando la masa de ovoproducto en polvo obtenido y la masa inicial de clara de huevo líquida utilizada, multiplicada por 100 para expresar el resultado en porcentaje. Esta relación permitió evaluar la eficiencia del secado por aspersion y cuantificar la recuperación de materia seca tras el proceso. El cálculo se realizó con la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Masa de polvo seco (g)}}{\text{Masa inicial de la mezcla (masa clara + masa maltodextrina (g))}} \times 100 \quad (1)$$

Ecuación 1 Rendimiento Porcentual del Proceso

Este indicador resulta clave para la evaluación económica y técnica del proceso propuesto.

2.5 Limitaciones del Diseño Experimental

Si bien en este estudio se planteó inicialmente la aplicación de un diseño factorial completo 2^3 , que implicaba la realización de ocho experimentos con réplicas para permitir un análisis estadístico robusto, no fue posible ejecutar la totalidad de los ensayos ni replicarlos debido a limitaciones técnicas y operativas que se presentaron durante el desarrollo del presente trabajo.

Durante la fase experimental, el equipo de secado por aspersión presentó fallas asociadas al desgaste por uso prolongado. Estas fallas no fueron consecuencia directa de las muestras utilizadas, sino del deterioro natural del equipo, derivado de su uso constante en actividades académicas e investigativas. En particular, se observó una disminución en la temperatura de salida del aire de secado, atribuible a pérdidas térmicas generadas por filtraciones de aire en las uniones de la cámara de secado, las cuales evidenciaron deterioro físico y pérdida de hermeticidad. Estas fueron corregidas por medio del uso de cinta teflón.

A esta situación se sumó la limitada disponibilidad del equipo, debido a su uso compartido con otros estudiantes e investigadores, lo cual redujo significativamente el tiempo asignado para realizar todas las corridas experimentales con sus respectivas réplicas. Como resultado, solo se logró ejecutar siete de los ocho experimentos planificados, sin posibilidad de replicación, lo que imposibilitó la aplicación de un análisis de varianza (ANOVA).

Estas limitaciones no invalidan los hallazgos obtenidos, pero deben ser consideradas al interpretar los resultados, ya que afectan el alcance estadístico del estudio y restringen la generalización de las conclusiones. No obstante, los datos generados siguen siendo relevantes para validar, desde una perspectiva técnica, la viabilidad del uso de maltodextrina como agente encapsulante en el secado por aspersión de clara de huevo, así como los parámetros que permitieron la obtención de un producto que cumple con los requisitos establecidos en la NTE INEN 1973 usada para evaluar los resultados de la experimentación.

3 Resultados y Discusión

3.1 Parámetros para el Secado por Aspersión de Clara de Huevo

3.1.1 Resultados

Los ensayos preliminares iniciales uno y dos, se realizaron sin adición de maltodextrina con un caudal de 9,25 ml/min y temperaturas de 120 °C y 130 °C, respectivamente; como resultado ocurrió el taponamiento inmediato del sistema de atomización debido a la rápida coagulación térmica de la clara líquida al contacto con el aire caliente. Esta observación evidenció la necesidad de incorporar un agente encapsulante para viabilizar el secado por aspersión de la clara de huevo, ya que, sin aditivos, los líquidos ricos en proteínas suelen presentar problemas operativos y bajo rendimiento, mientras que la adición de portadores como maltodextrina mejora la fluidez de la alimentación, previene obstrucciones y facilita la formación de polvo seco (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).

En los ensayos posteriores se incorporó maltodextrina, inicialmente al 5 % del volumen total, persistiendo el problema de taponamiento. Al incrementar la concentración en un 5 % adicional, se observó una mejora parcial; sin embargo, la obstrucción volvió a presentarse durante la segunda mitad de la operación. Ante estos resultados, se continuó aumentando la concentración hasta identificar los parámetros que permitieran obtener el producto sin las complicaciones ya mencionadas. De este modo, se estableció 10 % como concentración mínima, al ser la proporción que permitió un secado continuo sin obstrucciones, y 15 % como concentración máxima, ya que con este valor se obtuvo un producto con contenido de humedad dentro de los rangos normativos, asegurando la viabilidad del proceso y la calidad del polvo obtenido.

Paralelamente a la variación de la concentración de maltodextrina, se evaluaron distintas condiciones de temperatura y caudal de alimentación para determinar sus límites operativos en el equipo. La temperatura se incrementó aplicando una razón de aumento del 10 %, estableciéndose 120 °C como límite inferior y 140 °C como límite superior. En cuanto al caudal, los incrementos se definieron conforme a la graduación permitida por el equipo, determinándose 9.25 mL/min como mínimo y 12.5 mL/min como máximo. La combinación de estos valores garantizó un secado eficiente, sin obstrucciones, y la obtención de un producto con características adecuadas para su conservación y posterior aplicación.

En la **Tabla 3** se presenta la graduación del equipo de secado por aspersión y su equivalencia en unidades reales, mostrando las velocidades de alimentación expresadas en mililitros por minuto (mL/min).

Tabla 3. Velocidades del Equipo y Equivalentes en mililitros por min (mL/min)

Velocidad	mL/min
1	1.5
2	3.5
3	6.3
4	9.25
5	12.5
6	16.5
7	20
8	23.75
9	26.25
10	26.50
11	26.75

En la **Tabla 4** se presentan los valores evaluados para cada uno de los factores incluidos en el diseño experimental, especificando los niveles mínimo y máximo definidos para la temperatura, el caudal de alimentación y la concentración de maltodextrina.

Tabla 4. Factores y niveles evaluados en el diseño experimental

Factor	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	120	140
Caudal (mL/min)	9.25	12.5
Maltodextrina (%)	10	15

Se realizaron ocho combinaciones experimentales conforme al diseño factorial 2^3 y con base en las limitaciones mencionadas anteriormente, las cuales se pueden observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Condiciones y resultados de los experimentos realizados

Nº Experimento	Temp. (°C)	Caudal (mL/min)	% Maltodextrina	Humedad (%)
1	120	9,25	0	—
2	130	9,25	0	—
3	120	12,5	5	—
4	120	12,5	10	—
5	120	9,25	10	16,77
6	140	9,25	10	8,15
7	140	12,5	15	6,88

En el experimento 5 se empleó una temperatura de 120 °C, un caudal de 9,25 ml/min y 10 % de maltodextrina. No se presentó taponamiento y la humedad del producto obtenido fue de 16,77 %, en la **Figura 16** se puede observar el valor de la humedad final calculada por el termohigrómetro del laboratorio.

Figura 16. Humedad final del experimento cinco



El experimento seis se realizó manteniendo todos los parámetros del experimento anterior, excepto la temperatura, que se elevó a 140 °C. El producto se obtuvo sin inconvenientes de taponamiento; sin embargo, se registró una liberación excesiva de polvo que activó la alarma de incendios del laboratorio. La humedad final del producto fue de 8,15 % como se puede evidenciar en la **Figura 17**, ligeramente por encima del valor máximo establecido en la normativa NTE INEN 1973, que es de 8 % para clara de huevo en polvo (INEN, 2022).

Figura 17. Humedad final del experimento seis



Finalmente, en el experimento siete se utilizó una temperatura de secado de 140 °C, 15% de maltodextrina y caudal de 12,5 ml/min. Bajo estos parámetros no se presentó taponamiento ni liberación excesiva de polvo. El producto final obtenido tuvo un contenido de humedad de 6.88 %, cumpliendo con los requisitos normativos. Sin embargo, el análisis realizado posteriormente por el laboratorio externo reportó un valor de humedad de 7,01 %. Esta ligera variación puede atribuirse a la alta higroscopicidad de la muestra, que probablemente absorbió humedad del ambiente durante el tiempo transcurrido entre su extracción del equipo y el empaque. Por lo tanto, las mejores condiciones de los ensayos realizados para la obtención de clara de huevo en polvo mediante secado por aspersion corresponden a las aplicadas en el experimento número 7. En la **Figura 18** se puede evidenciar la humedad medida por el experimentador en el laboratorio.

Figura 18. Humedad final del experimento siete



3.2 Caracterización del Producto Final

El producto obtenido bajo las condiciones establecidas en el experimento número 7 fue sometido a un análisis de composición nutricional proximal y un análisis de inocuidad microbiológica, ambos, requisitos establecidos en la norma NTE INEN 1973 (INEN, 2022). También se realizó un análisis del rendimiento porcentual del proceso. A continuación, se presentan estos resultados junto con su discusión comparativa con otros estudios.

Los análisis se realizaron en condiciones controladas (temperatura ambiente 18-23.7 °C, HR 33-53 %), reportando los valores que se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Resultados de los Análisis de Laboratorio del Producto Final

Parámetro	Resultado (%)	Método aplicado
Humedad	7.01	AOAC 925.10
Proteína	88.57	AOAC 954.01
Grasa	1.69	NTE INEN-ISO 6492
Cenizas	0.60	AOAC 923.03
Carbohidratos totales	2.13	Cálculo proximal

Los valores obtenidos evidencian que el producto final cumple con los requisitos de la NTE INEN 1973 (2022) para clara de huevo en polvo, dado que presenta un contenido de sólidos totales superior al 92 % y un contenido de proteína mayor al mínimo de 80 % exigido (INEN, 2022).

3.2.1 Humedad Residual

En el presente estudio, la clara de huevo en polvo obtenida presentó un contenido de humedad de 7.01 %. Este valor se encuentra por debajo del límite máximo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1973 (2022), que exige productos con una humedad inferior o igual al 8 % para garantizar su aptitud para consumo humano y estabilidad microbiológica durante el almacenamiento (INEN, 2022).

Al comparar este resultado con otros estudios, Martínez Morales (2016) reportó humedades finales que oscilaron entre 8 y 9 % al procesar clara de huevo mediante secado por aspersion a una temperatura de entrada de 170 °C, sin utilizar aditivos encapsulantes. Sin embargo, en sus ensayos experimentales con una dilución de 75 % de clara y 25 % de agua, logró humedades de 4.86 % con un flujo de alimentación de 5.06 mL/min y de 5.14 % con un flujo de 7.69 mL/min, manteniendo pH de 10.18 a 10.22 y actividad de agua (aw) de 0.17 a 0.18, valores que aseguran estabilidad microbiológica del producto.

Solís (2024) obtuvo un contenido de humedad promedio de 8.54 ± 0.48 % en clara de huevo de codorniz procesada por secado por aspersion, empleando una temperatura de entrada de 150 °C. Este resultado también se encuentra dentro de los parámetros normativos y coincide con la tendencia de reducción de humedad al incrementar la temperatura de entrada, debido al aumento de la tasa de evaporación.

En contraste, Ruíz et al. (2018) reportaron un contenido de humedad de 5.2 % en huevo en polvo obtenido mediante un proceso distinto al spray drying, combinando secado inicial en microondas y secado en túnel a 54 °C durante 4 h. Aunque su valor de humedad es inferior al obtenido en el presente estudio, su metodología y condiciones de proceso son distintas, lo cual dificulta una comparación directa en términos de eficiencia y aplicabilidad industrial.

Finalmente, Herawati et al. (2024) indicaron que el método de secado influye significativamente en el contenido de humedad de la clara de huevo en polvo, sin especificar valores numéricos, pero destacando que la liofilización permite retener mejor las características funcionales y fisicoquímicas, a diferencia del secado por aspersion que, si bien es más eficiente para producción industrial, puede provocar mayor deshidratación de las proteínas y cambios en su estructura.

3.2.2 Contenido de Proteína

El contenido proteico determinado fue de 88.57 % en base húmeda (aproximadamente 95.2 % en base seca), superando ampliamente el valor mínimo de 80 % de proteína requerido por

la NTE INEN 1973 (2022) para huevo en polvo (INEN, 2022). Este resultado confirma que el producto obtenido no solo cumple, sino que excede los estándares normativos, asegurando su calidad nutricional y funcional como insumo industrial y como fuente de proteínas de alto valor biológico. El cálculo del contenido proteico en base seca se realizó mediante la ecuación establecida por Reiling (2023) la misma que se presenta a continuación:

$$\text{Proteína en base seca} = \frac{\text{Proteína en base húmeda (\%)}}{1 - (\text{Humedad (\%)/100})} \frac{88.57}{1 - \left(\frac{7.01}{100}\right)} \approx 95.2 \quad (2)$$

Ecuación 2 Cálculo del Contenido de Proteína en Base Seca

Al comparar estos resultados con los de Martínez Morales (2016), se observa que en sus ensayos preliminares con temperatura de entrada de 170 °C y diluciones de 75/25 %, los contenidos de proteína finales oscilaron entre 94.82 mg/mL y 199.36 mg/mL, dependiendo del flujo de alimentación y concentración inicial. Si bien no presenta los datos en porcentaje base seca, estos valores reflejan concentraciones altas propias de la clara de huevo, y su incremento post secado está relacionado con la reducción drástica de humedad durante el proceso.

Por su parte, Solís (2024) reportó un contenido proteico de 93.24 % en clara de huevo de codorniz en polvo obtenida mediante secado por aspersion a 160 °C, destacando que este resultado cumple ampliamente con la NTE INEN 1973, que establece un mínimo de 45 % de proteína para productos de clara de huevo deshidratada. Además, resalta que la clara de huevo posee proteínas de alto valor biológico, incluyendo ovoalbúmina, ovotransferrina y lisozima, fundamentales en la calidad funcional y nutricional del polvo.

De acuerdo con el trabajo de Ruíz et al. (2018), se reportaron un contenido de proteína de 49 % en su producto final. Sin embargo, este resultado corresponde a huevo en polvo obtenido mediante secado en túnel a 54 °C, con inclusión de la yema, lo cual reduce la concentración proteica total respecto a la clara aislada, debido a su mayor proporción de lípidos y menor contenido proteico en base seca.

Asimismo, Rondinel (2024) no presenta un porcentaje directo de proteína en clara de huevo en polvo, pero evidencia su alta calidad nutricional al mostrar la concentración de aminoácidos esenciales, destacando leucina (7.3 g/100 g proteína), lisina (6.1 g/100 g proteína) e isoleucina (4.4 g/100 g proteína), las cuales superan los valores de referencia recomendados por FAO, reafirmando su importancia como fuente proteica completa para aplicaciones alimentarias funcionales y nutricionales.

Finalmente, Pérez Rodríguez y Afanador Granados (2021) reportaron valores de proteína de 48.2 % para huevo entero en polvo y hasta 84.8 % en formulaciones de queso análogo con emulsionante 100 % huevo deshidratado. Estos porcentajes son menores en comparación con la clara de huevo en polvo debido a la inclusión de la yema y otros ingredientes lipídicos que diluyen la concentración proteica.

3.2.3 Carbohidratos Totales y Grasa

Las evaluaciones aplicadas al producto desarrollado presentaron un contenido de carbohidratos totales de 2.13 % y de grasa de 1.69 %. Según la NTE INEN 1973 (2022), el requisito de contenido mínimo de grasa es 0 % para la clara de huevo en polvo (INEN, 2022). Por tanto, los niveles encontrados son aceptables y consistentes con su naturaleza composicional y reafirman su idoneidad para aplicaciones alimenticias que requieran ingredientes sin aporte lipídico significativo, como formulaciones deportivas y dietas hiperproteicas.

Al comparar estos resultados con los de Ruíz et al. (2018), se observa que, en su estudio de huevo en polvo, que incluía yema, reportaron un contenido de 3.4 % de carbohidratos totales y 38.5 % de grasa bruta. Este contraste demuestra que la exclusión de yema y el uso exclusivo de clara reducen significativamente ambos componentes, alineándose con el objetivo de obtener un insumo proteico bajo en lípidos y azúcares. Por su parte, Pérez Rodríguez y Afanador Granados (2021) reportaron que el huevo entero en polvo presentó 2.5 g de carbohidratos totales y 41.8 g de lípidos por cada 100 g de producto, enfatizando que la inclusión de yema incrementa notablemente la carga lipídica. En cambio, la formulación desarrollada en este estudio con clara pura mantiene estos valores en rangos considerablemente más bajos, reforzando su perfil funcional para aplicaciones nutricionales especializadas.

En el caso de Solís (2024), se reportó un contenido de grasa de 0.7 % en la clara de huevo de codorniz en polvo, un valor bajo pero detectable. Este resultado confirma que, incluso con un proceso eficiente, la grasa residual de la clara puede permanecer en el producto final. Sin embargo, en el presente estudio, el contenido de grasa fue mayor, posiblemente debido a diferencias en la especie aviar utilizada, el método de separación y la inclusión de maltodextrina como encapsulante.

De igual forma, Martínez Morales (2016) analizó clara de huevo en polvo comercial y reportó valores de grasa total de 0 g, corroborando que la grasa es prácticamente nula tras un secado adecuado y la utilización de clara pura como materia prima. Por otro lado, Sotelo y González

(2000) evidenciaron que en formulaciones con proporción de clara predominante, como en la mezcla 3:1 clara:yema, la grasa se reduce en un 40 % en comparación con el huevo entero. Aunque no presentan valores absolutos, este hallazgo respalda el enfoque tecnológico de utilizar clara de huevo pura para mantener el contenido lipídico en niveles mínimos y así asegurar un producto con mayor estabilidad, menor susceptibilidad a rancidez y mejor perfil nutricional.

3.2.4 Análisis Microbiológico

En el presente estudio, la clara de huevo en polvo obtenida presentó resultados microbiológicos que confirman su inocuidad y estabilidad durante el almacenamiento. No se detectó la presencia de *Salmonella* spp. en las muestras analizadas (ausencia en 25 g), cumpliendo el requisito establecido por la NTE INEN 1973 (2022). La norma no especifica límites máximos para mohos y levaduras en clara de huevo en polvo, aunque sugiere que los productos deshidratados deben presentar baja actividad de agua y recuentos microbiológicos mínimos para garantizar su seguridad y estabilidad durante el almacenamiento (INEN, 2022).

Al comparar estos resultados con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1973 (2022), se observa que la normativa establece como requisito la ausencia de *Salmonella* en 25 g de muestra, parámetro que se cumplió completamente en este estudio. Sin embargo, la norma no especifica límites máximos para mohos y levaduras en clara de huevo en polvo, aunque sugiere que los productos deshidratados deben presentar baja actividad de agua y recuentos microbiológicos mínimos para garantizar su seguridad y estabilidad durante el almacenamiento.

Solís (2024) reportó ausencia de *Salmonella* en clara de huevo de codorniz en polvo, cumpliendo también con la normativa ecuatoriana. Además, su estudio mostró recuentos de mohos de hasta 15 UFC/g y de levaduras de 10 UFC/g, valores considerablemente inferiores a los encontrados en el presente estudio que son de 3.0×10^1 UP/g y 2.4×10^3 UP/g, respectivamente. Esta diferencia podría atribuirse a variaciones en las condiciones de procesamiento, la especie aviar utilizada o las prácticas de manejo higiénico-sanitario durante el secado y envasado.

Por su parte, Ruíz et al. (2018) incluyeron dentro de su caracterización microbiológica la evaluación de *Salmonella* y otros patógenos en huevo en polvo, destacando su importancia para garantizar la vida útil y seguridad del producto, aunque no reportaron resultados numéricos de recuento de mohos y levaduras. De igual manera, Pérez Rodríguez y Afanador Granados (2021) discuten la problemática de *Salmonella* en la industria avícola y la necesidad

de implementar tecnologías de reducción microbiana como la irradiación, especialmente en productos de huevo entero, donde el riesgo de contaminación es mayor debido a la presencia de lípidos que favorecen la supervivencia bacteriana.

Finalmente, Sotelo y González (2000) indicaron que las mezclas de clara y yema evaluadas en su estudio cumplían con las normativas oficiales para huevo en polvo en cuanto a la ausencia de *Salmonella* y recuentos microbiológicos aceptables, evidenciando que el procesamiento térmico y la formulación con predominancia de clara contribuyen significativamente a la inocuidad microbiológica del producto final.

3.3 Rendimiento del Proceso

En el presente estudio, el rendimiento del proceso de secado por aspersión para clara de huevo fue de 12.29 %, calculado a partir de un volumen inicial de 1000 mL de clara líquida, equivalente aproximadamente a 1030 g, considerando su densidad promedio de 1.03 g/mL, una cantidad de maltodextrina de 150 g, y una recuperación final de 145 g de polvo. El cálculo de la masa inicial de la mezcla se realizó mediante la ecuación establecida por Onigbinde (2017) que se presenta a continuación:

$$m = V \times P = 1000 \times 1.03 = 1030 \text{ g} \quad (3)$$

Ecuación 3 Cálculo de la Masa a Partir de la Densidad

Reemplazando el resultado obtenido en la ecuación para el cálculo del rendimiento se obtuvo:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Masa polvo seco (g)}}{\text{Masa inicial mezcla (g)}} \times 100 = \frac{145}{1030 + 150} \times 100 = 12.29 \% \quad (1)$$

Este resultado es coherente con la composición físico-química de la clara de huevo, cuyo contenido de sólidos totales oscila entre 10 y 12 %, debido a su alto porcentaje de agua (88–90 %). En este caso, el rendimiento supera ligeramente la fracción teórica de sólidos, lo que se atribuye al aporte de maltodextrina utilizada como agente encapsulante en una proporción del 15 % respecto al total de la mezcla, incrementando la cantidad de sólidos en la alimentación al secador.

Al comparar estos resultados con los de Solís (2024), quien reportó rendimientos de 6.3 %, 7.69 % y 10 % para temperaturas de secado de 120 °C, 140 °C y 160 °C respectivamente, se evidencia que el rendimiento alcanzado en el presente estudio es superior. Esta diferencia puede atribuirse a varios factores, entre ellos, la adición de maltodextrina que, además de

mejorar la estabilidad térmica de las proteínas y la eficiencia de atomización, aumenta la masa de sólidos recuperados.

Asimismo, Solís (2024) menciona que sus valores son bajos en comparación con estudios internacionales donde se reportan eficiencias de secado de 64.63 % a 87.23 % para otros alimentos; sin embargo, en el caso de la clara de huevo, rendimientos en el rango de 10–15 % son técnicamente adecuados, debido a su alta proporción de agua y bajo contenido de materia seca, lo cual limita la recuperación de sólidos tras el secado.

Como alternativa para mejorar el rendimiento, Solís (2024) indica que el uso de agentes encapsulantes como la maltodextrina puede aumentar la recuperación de sólidos al incrementar la proporción total de materia seca alimentada al sistema. Además, sugiere optimizar variables operativas como la temperatura de entrada del aire, la concentración del encapsulante y el flujo de alimentación, ya que estos parámetros influyen significativamente en la eficiencia del secado y la formación de producto en las paredes de la cámara, lo cual puede reducir las pérdidas y aumentar el rendimiento global del proceso.

Conclusiones

El presente estudio demostró la viabilidad técnica y operativa de obtener clara de huevo en polvo mediante secado por aspersion, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de subproductos avícolas y generando un insumo con alto valor agregado para la industria alimentaria y nutricional. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, al transformar un subproducto comúnmente desechado en la producción artesanal de quesadillas en un ingrediente funcional con múltiples aplicaciones, reduciendo así el desperdicio alimentario y mitigando su impacto ambiental.

La revalorización de la clara de huevo como materia prima respalda el objetivo número 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, orientado a disminuir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita, además de contribuir a la conservación de recursos naturales y reducción de gases de efecto invernadero como el metano, asociados a su desecho inadecuado.

La incorporación de maltodextrina como agente encapsulante se evidenció como un factor determinante para viabilizar el proceso, al prevenir el taponamiento del sistema de atomización, mejorar la fluidez de la mezcla de alimentación y favorecer la formación de partículas secas estables. Este hallazgo confirma su rol como aditivo tecnológico indispensable en procesos de secado de proteínas puras, protegiendo su estructura frente a la desnaturalización térmica y mejorando la calidad funcional del producto final, como se establece en los fundamentos de encapsulación y secado revisados en el marco teórico.

Las mejores condiciones establecidas, correspondientes a una temperatura de secado de 140 °C, un caudal de alimentación de 12.5 mL/min y una proporción de maltodextrina al 15 %, permitieron obtener un producto con características fisicoquímicas adecuadas y sin inconvenientes operativos. El contenido de humedad final de 7.01 % se mantuvo por debajo del límite máximo de 8 % establecido por la NTE INEN 1973, garantizando la estabilidad microbiológica del producto durante su almacenamiento y demostrando la eficiencia del proceso de secado por aspersion bajo las condiciones determinadas.

En términos nutricionales, la clara de huevo en polvo obtenida presentó un contenido proteico de 88.57 % en base húmeda, equivalente a aproximadamente 95.2 % en base seca, superando ampliamente el mínimo de 80 % establecido en la normativa ecuatoriana. Este alto nivel de proteína reafirma su potencial como insumo proteico de excelente calidad, rico en aminoácidos esenciales como la ovoalbúmina, ovotransferrina y lisozima, confirmando su

aplicación en alimentos funcionales, suplementos deportivos y formulaciones especializadas para poblaciones con requerimientos nutricionales elevados.

Por su parte, el contenido de carbohidratos totales fue de 2.13 % y el de grasa de 1.69 %, valores consistentes con la composición natural de la clara de huevo, caracterizada por su bajo aporte energético derivado de lípidos y carbohidratos. Estos resultados reafirman la idoneidad del producto como ingrediente en dietas hiperproteicas, hipocalóricas o con restricción lipídica, y destacan la importancia de la selección de la materia prima y su adecuado procesamiento para mantener su perfil nutricional puro y competitivo frente a otros ovoproductos comerciales. Además, confirman que la transformación de subproductos como la clara líquida, con altos niveles de proteína y mínimo contenido graso, puede contribuir a generar alimentos más saludables y sostenibles para el mercado local. Desde el punto de vista microbiológico, se verificó la ausencia de *Salmonella spp.* en 25 g de muestra, cumpliendo con los requisitos obligatorios de la NTE INEN 1973 para ovoproductos en polvo y garantizando su inocuidad para consumo humano.

El rendimiento del proceso fue de 12.29 %, valor superior a los reportados en estudios previos que no emplearon encapsulantes, como el caso de Solís (2024), quien reportó un máximo de 10 %. Este rendimiento evidencia la eficacia del uso de maltodextrina para incrementar la recuperación de sólidos, mejorar la estabilidad térmica de las proteínas y reducir pérdidas operativas, confirmando su aporte tecnológico esencial en la formulación y su potencial para mejorar la rentabilidad en procesos de transformación de subproductos alimenticios.

El presente trabajo contribuye no solo a la optimización técnica del proceso de secado por aspersión de clara de huevo, sino también a la generación de conocimiento aplicado sobre parámetros operativos, composición nutricional, inocuidad y rendimiento, sentando bases sólidas para el desarrollo de productos innovadores, sostenibles y de alta calidad que fortalezcan el modelo de economía circular en la industria alimentaria ecuatoriana.

Recomendaciones

Se recomienda que futuras investigaciones evalúen el efecto de diferentes tipos y concentraciones de agentes encapsulantes sobre las propiedades funcionales y tecnológicas de la clara de huevo en polvo. Entre estos agentes, se sugiere analizar individualmente y en combinación sustancias como goma arábiga, gelatina, y caseinato de sodio, debido a su capacidad para formar matrices estables y proteger compuestos sensibles durante el secado por aspersión.

Si bien se evidenciaron recuentos de mohos de 30 UFC/g y de levaduras de 2400 UFC/g, valores que, aunque no especificados como límite en la normativa para clara de huevo en polvo, se consideran bajos en alimentos deshidratados, se sugiere fortalecer las prácticas higiénicas y los controles ambientales durante el envasado para reducir aún más la carga microbiológica final, alineándose con los estándares de seguridad alimentaria recomendados por la FAO.

Asimismo, es pertinente realizar estudios de vida útil bajo diversas condiciones de almacenamiento y humedad relativa, con el fin de establecer su durabilidad real y estabilidad nutricional a largo plazo. También sería valioso analizar la capacidad espumante, gelificante y emulsionante de la clara de huevo en polvo obtenida, para optimizar su aplicación en matrices alimentarias específicas como panadería, confitería y suplementos en polvo.

Finalmente, se sugiere evaluar el escalado industrial del proceso, considerando eficiencia energética, costos de operación y evaluación de impacto ambiental, para su implementación sostenible y competitiva a nivel productivo, contribuyendo así al fortalecimiento de cadenas de valor basadas en la revalorización de subproductos y al desarrollo económico local.

Referencias

- Anandharamakrishnan, C., Rielly, C. D., & Stapley, A. G. F. (2007). Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying. *Drying Technology*, 25(5), 799–807.
- Asociación Española de Industrias de Ovoproductos. (s.f.). Conservación y manejo. INOVO. <https://www.inovo.es/conservacion-manejo-ovoproducto/>
- Carrillo Carlos, M. T., & Munguia Sánchez, A. (1999). Aplicaciones del secado por aspersion en la industria alimentaria y química [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. UNAM.
- Cartay, R., Intriago-Valarezo, R., Ordóñez-Piedra, J. C., & Varela-Quintero, A. E. (2023). Residuos, desperdicios y subproductos. Importancia económica y social, y repercusión medioambiental. *Revista de Gastronomía y Cocina*, 2(2), 10-21. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8212552>
- Castillo Castillo, V. A. J. (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]. Repositorio USIL.
- Cobo Encalada, L. F., & Solis Rodas, D. A. (2021). Elaboración de una bebida instantánea a base de suero de leche, pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y harina de maíz, mediante secado por aspersion [Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio de la Universidad de Cuenca.
- Dantas, A., Piella-Rifà, M., Pontes Costa, D., Felipe, X., & Gou, P. (2024). Innovations in spray drying technology for liquid food processing: Design, mechanisms, and potential for application. *Applied Food Research*, 4, Article 100382.
- Durán Blanco, M. J., & Arenas Rodríguez, P. A. (2017). Evaluación de los procesos de pasteurización de huevo líquido para la reducción de Salmonella Enteritidis [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Pontificia Universidad Javeriana.

Eggs Unlimited. (2024, 1 de abril). Powdered eggs 101: Everything you need to know.

<https://www.eggsunlimited.com/powdered-eggs-101-everything-you-need-to-know/>

Fabela Morón, M. F. (2017). Secado por aspersión. En H. Espinosa Andrews & E. García Márquez (Eds.), *Tecnologías de nano/microencapsulación de compuestos bioactivos* (pp. 189–198). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Figueroa, P. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 113–123. <https://www.redalyc.org/journal/3090/309048472005/html/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). Conceptos básicos: Seguridad alimentaria e inocuidad. <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>

Global Resources Direct. (2025, abril 14). *Egg White Powder vs Liquid Egg Whites: What You Need to Know*. <https://www.globalresourcesdirect.com/blog/egg-white-powder-vs-liquid-egg-whites-what-you-need-to-know/>

Herawati, E. R. N., Febrisiantosa, A., Ningrum, A., Hendrasty, H. K., Suppavorasatit, I., & Santoso, U. (2024). Physicochemical and functional characteristics of egg white powder as affected by pre-treatment and drying methods. *Food Research*, 8(5), 365–372.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2022). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1973: Huevos y ovoproductos de gallina. Requisitos (3ª revisión). INEN.

Instituto de Estudios del Huevo. (s. f.). Composición nutricional del huevo. <https://www.institutohuevo.com/composicion-nutricional-del-huevo/>

Khan, I., Edes, K., Alsaadi, I., et al. (2024). Investigation of spray drying parameters to formulate novel spray-dried proliposome powder formulations followed by their aerosolization performance. *Pharmaceutics*, 16 (12), 1541. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16121541>

- Lee, J. K. M., Taip, F. S., & Abdullah, Z. (2018). Effectiveness of additives in spray drying performance: A review. *Food Research*, 2(6), 486–499.
- López, B., Correa, J., & Osorio, M. (2008). Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersión [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/262447280>
- Lopera, C. (2009). Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. *Ingeniería y Desarrollo*, 27(1), 84–100.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-40042009000100007
- Martínez Morales, M. V. (2016). Obtención de clara de huevo en polvo por medio de la técnica de secado utilizando un equipo que opera por aspersión [Proyecto de graduación, Universidad de Costa Rica]. Repositorio de la Universidad de Costa Rica.
- Montgomery, D. C. (2004). *Design and analysis of experiments* (6^a ed.). John Wiley & Sons.
- Muñoz Serin, E. D. (2017). Elaboración de clara de huevo deshidratada pasteurizada [Trabajo de titulación de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM.
- Onigbinde, A. (2017). Experiment 1: Determining the density of solids and liquids. En *General Chemistry Manual*.
- Pérez Rodríguez, L. M., & Afanador Granados, A. K. (2021). Caracterización tecnológica del huevo entero en polvo para su aprovechamiento en la industria de alimentos [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle Repositorio.
- Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de*

Tecnología Postcosecha, 23(2), 92-99.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798002>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *Food Waste Index Report 2021*. Nairobi. <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). Índice de desperdicio de alimentos 2024. Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Pui, L. P., Sulaiman, R., & Muhammad, K. (2022). *Optimization of spray drying parameters for production of fruit powder using response surface methodology*. *Heliyon*, 8(8), e09756.

Ramírez-Crespo, L. M., Cortés-Rodríguez, M., & Micangüer-Carlosama, A. (2022). El huevo de gallina y su procesamiento industrial: una revisión. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 221–239.

<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1438>

Reiling, B. (2023). Feed Dry Matter Conversions (G2093). University of Nebraska-Lincoln

Repsol. (2023, 11 de septiembre). Residuos orgánicos: ¿Qué son y por qué hay que tratarlos? <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/residuos-organicos/index.cshtml>

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Montes, L. M. (2016). Encapsulación de alimentos probióticos mediante liofilización en presencia de prebióticos. *Información Tecnológica*, 27(6), 135–144.

Rondinel Buleje, R. (2024). Desarrollo tecnológico de la clara de huevo en polvo de fácil rehidratación [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Callao.

Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersion de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1836.

- Rozo Bernal, C. (2004). Propiedades funcionales de los alimentos y su importancia en la salud. *Revista de la Universidad de La Salle*, (37), 88–96.
- Ruíz Sánchez, O., Guerrell, J., & Reyes Quiroz, E. V. (2018). Obtención, caracterización físico-química y microbiológica del huevo en polvo y su empleo en la industria de alimentos en la República de Panamá. *Guacamaya*, 2(1), 1–12.
- Salazar, L., & Muñoz, G. (2019). Seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Serrano Acitores, A. (2023, 12 de octubre). Economía lineal vs. economía circular. ¡Vuélvete circular!. <https://www.antonioserranoacitores.com/economia-lineal/>
- Solís, K. A. (2024). Evaluación de las temperaturas de secado por aspersion para la producción de clara de huevo de codorniz (*Coturnix coturnix*) en polvo [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato]. Universidad Técnica de Ambato Repositorio Institucional.
- Sotelo, Á., & González, L. (2000). Huevo en polvo con bajo contenido de colesterol: Características nutricias y sanitarias del producto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(2), 134–141.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000200004
- TecnoEdu. (s. f.). Secadora Spray de sobremesa, con capacidad para procesar hasta 1,5 litros/hora de producto Armfield – FT30-MkIII-A.
<https://tecnoedu.com/Alimentos/FT30MkIIIA.php>
- Vargas-del-Río, L. M., García-Figueroa, A., Fernández-Quintero, A., & Rodríguez-Stouvenel, A. (2022). Spray-drying hen eggs: 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. *Applied Sciences*, 12(9), 4516.

Anexos

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
LEVADURAS	BAM CAP 18 / PEMSVM02 - RECUENTO EN PLACA	UP/g	2.4x10 ³	±0.53%
MOHOS	BAM CAP 18 / PEMSVM02 - RECUENTO EN PLACA	UP/g	3.0x10 ¹	±0.69%
*SALMONELLA	BAM CAP 5 - RECUENTO EN PLACA	PRESENCIA/AUSENCIA	AUSENCIA	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

Anexo 1. Ensayos microbiológicos aplicados a la muestra.

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*CARBOHIDRATOS TOTALES	CALCULO PROXIMAL - CALCULO	%	2.127
*CENIZAS	AOAC 923.03 / PEMSVM07 - GRAVIMETRIA	%	0.604
*FIBRA	NTE INEN-ISO 6865 - GRAVIMETRIA	%	<0.001
*GRASA	NTE INEN-ISO 6492 - GRAVIMETRIA	%	1.686
*HUMEDAD	AOAC 925.10 / PEMSVM08 - GRAVIMETRIA	%	7.012
*PROTEINA	AOAC 954-01 / PEMSVM03 - VOLUMETRIA	%	88.571

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

Anexo 2. Ensayos de análisis físico-químicos aplicados a la muestra.