

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
ESCUELA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA ZOOTECNISTA

TEMA:

“EFECTO DE DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECADO EN HORNO SOBRE EL
RENDIMIENTO Y CONTENIDO PROTEICO DE HARINA ELABORADA A PARTIR DE
HUEVOS DE DESECHO DE INCUBADORA”

NOMBRE: Paula Elizabeth Vargas Gutiérrez

TUTOR: Msc. SANTIAGO MAFLA

IBARRA – ECUADOR

Julio, 2026

Ibarra, 04 de junio de 2026

CERTIFICACIÓN TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular titulado: ***“Efecto de diferentes temperaturas de secado en horno sobre el rendimiento y contenido proteico de harina elaborada a partir de huevos de desecho de incubadora”***, presentado por el estudiante **Paula Elizabeth Vargas Gutiérrez** con cédula de ciudadanía N° **1004638761**, para obtener el Título de **Ingeniera Zootecnista**.

Certifico que el trabajo cumple con todos los parámetros establecidos, mediante el cual el estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión con un nivel de argumentación coherente, para ser sometido a la evaluación por parte de los lectores.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de originalidad de TURNITIN.

TFT Paula Vargas			
INFORME DE ORIGINALIDAD			
2%	2%	1%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTES PRIMARIAS			
1	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet		1%
2	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.); APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet		1%
3	www.researchgate.net Fuente de Internet		1%



(f): _____

MSc. Santiago Mafla

TUTOR DE TRABAJO

C.C.: 1002658399

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra:

(f): 

MSc. Santiago Mafla

C.C.: 1002658399

(f):..... 

PhD. José Valdemar Andrade Cadena

C.C.: 1001927167

(f):..... 

MSc. Gregorio Armando Escobar Meza

C.C.:1002964227

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, ***Paula Elizabeth Vargas Gutiérrez***, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones a título gratuito y oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 04 de junio de 2026

(f):  _____

Paula Elizabeth Vargas Gutiérrez

C.C.: 1004638761

AUTORIA

Yo, ***Paula Elizabeth Vargas Gutiérrez***, portadora de la cedula de ciudadanía N°**1004638761**, declaro que el presente trabajo de investigación es de total responsabilidad de la autora, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



(f):.....

Paula Elizabeth Vargas Gutiérrez

C.C.: 1004638761

DEDICATORIA

A mi madre, por el amor, el apoyo, la confianza y un sinnúmero más de palabras que representan todo lo que ella ha hecho por mí, es por eso que, este documento va dedicado principalmente a ella, a la mujer que me ha dado la vida y por quien hoy estoy aquí.

A mis abuelitos maternos, por el cariño y la protección que me han dado a lo largo de mi vida, por siempre estar presentes.

A mi hermano y prima, por ser la razón que me impulsa a nunca rendirme, porque sé que soy su ejemplo y para que sepan que lo que se propongan lo pueden conseguir.

A mi padrastro y tíos maternos, por el ánimo que me han dado y por la felicidad que sienten al verme lograr una nueva meta.

A mi novio, por el cariño y el apoyo que me ha dado cada día, ayudándome a que todo sea un poco más fácil de sobrellevar.

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciéndome a mí, por nunca rendirme, por levantarme, aunque la vida se ponía difícil, por la perseverancia y la responsabilidad que siempre me han caracterizado, quiero agradecerme por cada decisión que he tomado y me ha traído a este preciso momento de mi existencia, quiero agradecerme por ser valiente y no dejar que la vida me aplaste.

Agradezco con todo mi ser a mi madre, Julia, por ser la inspiración que he tenido toda mi vida, por estar para mí y por todas las cosas que sacrificó para darme todo el mundo si fuese necesario, gracias mami por amarme y apoyarme todos los días, gracias por todas las palabras que me has dicho, pero sobre todo gracias por siempre confiar en que soy capaz de conquistar el mundo si me lo propusiese. Te amo mami.

Agradezco a mis abuelitos maternos, Narciza y Hugo, por ser mis segundos padres, por cuidarme todos los días dándome su bendición, por todo el cariño y la paciencia que me han tenido, gracias mis viejitos por estar conmigo cada día y gracias por quererme.

A mi hermano y prima, Huguito y Yamileth, por ser como los primeros hijos que la vida me ha dado, gracias por inconscientemente ser mi mayor inspiración para siempre dar un paso hacia adelante y no rendirme, gracias por el cariño y la admiración que me tienen, porque eso me impulsa a cada día ser mejor, a cada día lograr algo nuevo, gracias mis niños por haber llegado a mi vida.

A mi padrastro y tíos maternos, Antony, Patricia y Pablo, por cada palabra de aliento, gracias por sentirse orgullosos y felices de mis logros, gracias por confiar en que soy capaz de todo, y si eso es posible, es gracias a su apoyo incondicional.

A mi novio, Yandri, por todo el cariño y el apoyo que me ha dado, gracias mi amor por cada día prestarme tu hombro y darme la mano para que no me caiga, gracias por siempre

recordarme que soy muy capaz de conseguirlo todo, por no dejarme vencer por los errores que a veces cometo, gracias por acompañarme en los buenos y malos momentos, gracias por estar en mi vida haciéndome una persona feliz.

A mis guías espirituales, mi tío Campo, gracias por ser mi ángel guardián y protegerme de cualquier mala situación que me haya podido pasar; y mi gato Igor, gracias por todas las noches que estando vivo me acompañaste mientras hacía deberes o estudiaba, aunque no estén físicamente conmigo, siempre los recuerdo y los llevo en el corazón, gracias y abrazos al cielo.

A mis docentes, gracias a cada uno de los profesores que he tenido a lo largo de la carrera, gracias por cada enseñanza y sugerencia dada, siempre las he recibido con mucho aprecio. Especialmente, gracias a mi docente tutor, Santiago, por confiar en que la investigación era posible y ayudarme con cada dificultad que se presentaba, y gracias a eso hoy puedo escribir esto. Asimismo, agradezco a mi docente Valdemar, por su valiosa ayuda en la tabulación de los datos.

Finalmente, a mi psicóloga, gracias por la terapia brindada, gracias por ayudar a reencontrarme y valorarme cada día, gracias por hacerme entender que soy valiente y que la felicidad sí es posible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN TUTOR.....	ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	v
AUTORIA.....	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I	19
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO II	21
OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo general.....	21

2.2. Objetivos específicos	21
2.3. Hipótesis	21
CAPÍTULO III.....	23
ESTADO DEL ARTE.....	23
3.1. Subproductos avícolas y huevos de desecho de incubadora.....	23
3.1.1. Subproductos en la industria avícola	24
3.1.2. Huevos de desecho de incubadora: definición y características	25
3.1.3. Impacto ambiental y sanitario del descarte.....	26
3.1.4. Aprovechamiento de residuos avícolas para la obtención de productos con valor agregado	28
3.2. Composición nutricional y proteica del huevo	29
3.2.1. Vida útil del huevo fresco y su implicación en el procesamiento.....	30
3.2.2. Estructura y composición química del huevo	31
3.2.3. Proteínas del huevo y su valor biológico	32
3.2.4. Uso del huevo como fuente proteica en procesos agroindustriales	33
3.3. Producción de harina de huevo	34
3.3.1. Concepto y etapas de harina de huevo (preparación, secado, molienda).....	34
3.3.2. Producción de harina a partir de residuos como estrategia de sostenibilidad.....	37
3.4. Proceso de secado en horno y efecto de la temperatura.....	38

3.4.1.	Secado en horno: principios y funcionamiento.....	39
3.4.2.	Influencia de la temperatura en la eliminación de humedad.....	40
3.4.3.	Efecto del secado térmico sobre la estabilidad del producto	41
3.5.	Rendimiento del proceso y contenido proteico.....	42
3.5.1.	Relación entre temperatura de secado y rendimiento	42
3.5.2.	Métodos de determinación del contenido proteico	43
3.5.3.	Influencia del calor en la desnaturalización de proteínas	44
3.5.4.	Relación entre procesamiento térmico y calidad nutricional	46
3.5.5.	Interacción entre variables del proceso y optimización de condiciones de secado ..	47
3.5.6.	Aplicaciones en alimentación animal y sostenibilidad	48
CAPÍTULO IV		50
MATERIALES Y MÉTODOS		50
4.1.	Materiales, equipos y reactivos.....	50
4.2.	Métodos.....	51
4.2.1.	Localización del experimento	51
4.2.2.	Preparación del material	53
4.2.3.	Diseño Experimental.....	54
4.2.4.	Factores de estudio y tratamientos	54
4.2.5.	Esquema del Análisis de Varianza (ANOVA).....	55

4.2.6.	Variables	56
4.2.7.	Manejo específico del experimento	56
4.2.8.	Medición de las variables.....	57
4.2.9.	Análisis bromatológico complementario	59
CAPÍTULO V		62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		62
5.1.	Resultados microbiológicos de <i>Salmonella spp.</i>	62
5.1.1.	Huevo.....	62
5.1.2.	Harina.....	63
5.2.	Normalidad (Shapiro-Wilk test) y Homogeneidad (Levene test)	64
5.3.	Análisis de Varianza (ANOVA) y Comparación Múltiple de Promedios (Tukey test) ...	65
5.3.1.	Rendimiento (%).....	65
5.3.2.	Proteína Bruta (%)	68
5.3.3.	Grasa (%)	71
5.3.4.	Materia Seca (%).....	74
5.3.5.	Cenizas (%).....	77
5.3.6.	Energía Bruta (kcal/kg).....	80
CAPÍTULO VI.....		83
CONCLUSIONES		83

CAPÍTULO VII	85
RECOMENDACIONES	85
CAPÍTULO VIII	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	54
<i>Tratamientos experimentales del Diseño Completamente al Azar (DCA)</i>	54
Tabla 2	55
<i>Esquema del análisis de varianza (ANOVA)</i>	55
Tabla 3	64
<i>Resultados de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para las variables en estudio</i>	64
Tabla 4	65
<i>Resultados del ANOVA para la variable Rendimiento (%)</i>	65
Tabla 5	68
<i>Resultados del ANOVA para la variable Proteína Bruta (%)</i>	68
Tabla 6	71
<i>Resultados del ANOVA para la variable Grasa (%)</i>	71
Tabla 7	74
<i>Resultados del ANOVA para la variable Materia Seca (%)</i>	74
Tabla 8	77
<i>Resultados del ANOVA para la variable Cenizas (%)</i>	77
Tabla 9	80
<i>Resultados del ANOVA para la variable Energía Bruta (kcal/kg)</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	52
<i>Cartografía de ubicación de la 'Incubadora GRUPO ORO'</i>	<i>52</i>
Figura 2	53
<i>Cartografía de ubicación de los Laboratorios PUCE-I</i>	<i>53</i>
Figura 3	62
<i>Caja Petri con cultivo de Salmonella spp. proveniente del huevo</i>	<i>62</i>
Figura 4	63
<i>Caja Petri con cultivo de Salmonella spp. proveniente de la harina obtenida</i>	<i>63</i>
Figura 5	66
<i>Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Rendimiento (%)... ..</i>	<i>66</i>
Figura 6	69
<i>Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Proteína Bruta (%)69</i>	<i>69</i>
Figura 7	72
<i>Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Grasa (%)</i>	<i>72</i>
Figura 8	75
<i>Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Materia Seca (%).. ..</i>	<i>75</i>
Figura 9	78
<i>Ordenamiento decreciente de promedios en Cenizas (%)</i>	<i>78</i>

Figura 10	81
<i>Ordenamiento decreciente de promedios en Energía Bruta (kcal/kg)</i>	<i>81</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección y colado de la materia prima.	96
Anexo 2. Proceso de secado en estufa y posterior molienda.	96
Anexo 3. Proceso de determinación de contenido proteico.	96
Anexo 4. Proceso de determinación de contenido graso.	96
Anexo 5. Proceso de determinación de contenido de cenizas.	97
Anexo 6. Tabla de entrada de datos para el desarrollo del modelo estadístico.	97

RESUMEN

Los huevos de desecho de incubadora representan un subproducto olvidado de la industria avícola, su desperdicio inadecuado provoca riesgos ambientales y sanitarios; sin embargo, posee un elevado valor nutricional que los convierte en una materia prima viable para la elaboración de harinas proteicas destinadas a la alimentación animal. En esta investigación se evaluó el efecto de cuatro temperaturas de secado en estufa (44°C, 60°C, 70°C y 80°C) sobre el rendimiento, la proteína cruda y otros parámetros bromatológicos de la harina obtenida a partir de huevos de desecho de incubadora. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno, obteniendo 12 unidades experimentales de 500 g de huevo homogeneizado por unidad, los datos fueron analizados mediante ANOVA de una vía y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$); la normalidad y la homogeneidad de varianzas fueron verificadas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Los resultados demostraron que todas las temperaturas de secado eliminaron *Salmonella spp.* de la harina. Por otra parte, los tratamientos T3 (70°C) y T4 (80°C) alcanzaron los mayores rendimientos (35,49% y 35,05%, respectivamente), mientras que T2 (60°C) produjo el mayor contenido de proteína cruda (47,68%), con diferencia estadísticamente significativa en comparación con los demás tratamientos. Estos resultados muestran que los 60°C son la temperatura óptima de secado para maximizar la calidad proteica, mientras que los 70°C maximizan la eficiencia de rendimiento, de modo que, las temperaturas de 60°C y 70°C son las mejores alternativas para la producción de harina de huevo de alta calidad elaborada a partir de huevos de desecho de incubadora.

Palabras clave: huevos de desecho, harina, secado, proteína, subproductos avícolas.

ABSTRACT

Hatchery waste eggs represent a forgotten by-product of the poultry industry; their improper disposal causes environmental and health risks. Nevertheless, they possess a high nutritional value that makes them a viable raw material for the production of protein meals intended for animal feed. This study evaluated the effect of four oven drying temperatures (44°C, 60°C, 70°C, and 80°C) on the yield, crude protein content, and other bromatological parameters of flour obtained from hatchery waste eggs. A Completely Randomized Design (CRD) was used with four treatments and three replicates each, yielding 12 experimental units of 500 g of homogenized egg per unit; data were analyzed using one-way ANOVA and Tukey's multiple comparison test ($p < 0.05$), while normality and homogeneity of variances were verified using the Shapiro-Wilk and Levene tests, respectively. Results demonstrated that all drying temperatures eliminated *Salmonella spp.* from the flour. Furthermore, treatments T3 (70°C) and T4 (80°C) achieved the highest yields (35.49% and 35.05%, respectively), while T2 (60°C) produced the highest crude protein content (47.68%), with a statistically significant difference compared to the remaining treatments. These findings indicate that 60°C is the optimal drying temperature for maximizing protein quality, whereas 70°C maximizes yield efficiency; therefore, 60°C and 70°C represent the best alternatives for the production of high-quality egg flour derived from hatchery waste eggs.

Keywords: waste eggs, flour, drying, protein, poultry by-products.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La industria avícola es uno de los sectores más productivos y de mayor relevancia global para el suministro de proteína animal, sin embargo, su acelerada expansión ha causado la generación de subproductos y residuos orgánicos cuyo manejo inadecuado representa serios riesgos ambientales y sanitarios (Castro Fuentes et al., 2025). Entre estos, los huevos de desecho de incubadora que incluyen: huevos infértiles, embriones no viables y huevos contaminados o con defectos físicos descartados durante el proceso de incubación, son residuos aprovechados por su potencial nutricional (Chávez et al., 2024).

En el contexto ecuatoriano, varios estudios han demostrado el impacto ambiental relacionado con la producción avícola de huevos, Vivas Saltos y Vélez Velasco (2023), al estimar la huella de carbono de una granja avícola de postura ubicada en la provincia de Manabí, determinaron una emisión anual de 110,91 toneladas de CO₂, siendo la etapa de postura la de mayor contribución porcentual con un 74,57%. De modo que, estos resultados evidencian que la producción avícola nacional genera impactos ambientales significativos asociados tanto al manejo de recursos como a la generación de residuos, sustentando la necesidad de desarrollar alternativas de aprovechamiento, como la que se propone en la presente investigación.

A pesar de no ser aptos para el consumo humano, estos huevos conservan porcentajes significativos de proteínas de alta calidad, lípidos y minerales (especialmente en la yema); lo que los convierte en una eficiente materia prima para la producción de harinas proteicas destinadas a la formulación de alimentos para animales (Younas et al., 2025). La transformación de huevos de desecho de incubadora en harina mediante el secado térmico es una estrategia sostenible que se relaciona con los principios de la economía circular, reduciendo el desperdicio y generando

productos de valor agregado dentro de los sistemas de producción avícola (Castro Fuentes et al., 2025).

El secado térmico es una de las técnicas más empleadas para la conservación de productos a base de huevo, ya que reduce el contenido de humedad, prolonga la vida útil y mejora la inocuidad microbiológica (Fellows, 2022). Sin embargo, la temperatura de secado ejerce una influencia crítica tanto sobre el rendimiento del proceso como sobre la calidad nutricional, pues temperaturas excesivamente elevadas pueden provocar desnaturalización proteica, oxidación lipídica y pérdida de propiedades funcionales, mientras que temperaturas muy bajas pueden comprometer la inocuidad microbiana y la eficiencia del proceso (Onwude et al., 2016; Gomes y Pelegriane, 2012).

La Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA] (s.f.), establece los 70°C como temperatura bromatológica de referencia para la harina de huevo comercial, especificando un contenido de proteína cruda de 45–49% y un contenido de grasa de 35–40%. Abreha et al. (2021), reportaron rendimientos de 22–25% al secar huevo entero a 44°C en estufa de aire forzado y señalaron que temperaturas más elevadas favorecen mayores tasas de evaporación y, por ende, una mayor concentración del producto. Gomes y Pelegriane (2012), determinaron que la solubilidad y funcionalidad proteica se preservan de forma óptima a 60°C, mientras que Katekhong y Charoenrein (2016), identificaron los 80°C como el umbral a partir del cual la ovoalbúmina experimenta una desnaturalización irreversible que afecta sus propiedades gelificantes y emulsionantes.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes temperaturas de secado en horno sobre el rendimiento y contenido proteico de harina elaborada a partir de huevos de desecho de incubadora.

2.2. Objetivos específicos

- Verificar la ausencia de *Salmonella spp.* en los huevos de desecho y en la harina obtenida mediante análisis microbiológicos.
- Determinar el rendimiento en peso de la harina de huevo obtenida a diferentes temperaturas de secado.
- Determinar el porcentaje de proteína cruda en la harina de huevo mediante el método Kjeldahl para cada temperatura de secado evaluada.

2.3. Hipótesis

Las diferentes temperaturas de secado en horno afectan significativamente el contenido proteico y el rendimiento en peso de la harina de huevo de desecho.

Hipótesis establecidas para la investigación:

Factor Temperatura

Para rendimiento:

- **H₀:** $\mu T_1 = \mu T_2 = \mu T_3 = \mu T_4$, donde las medias del rendimiento son iguales en todas las temperaturas.
- **H_a:** Al menos una $\mu T_i \neq \mu T_j$ tiene diferencia significativa en rendimiento.

Para contenido proteico:

- **H₀:** $\mu T_1 = \mu T_2 = \mu T_3 = \mu T_4$, donde las medias del contenido proteico son iguales en todas las temperaturas.
- **H_a:** Al menos una $\mu T_i \neq \mu T_j$ tiene diferencia significativa en contenido proteico.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Subproductos avícolas y huevos de desecho de incubadora

Según Castro Fuentes et al. (2025), la industria avícola se ha consolidado como uno de los sectores más importantes en la producción de proteína de origen animal, destacándose por su eficiencia y alta demanda a nivel global. Sin embargo, este crecimiento ha incrementado la producción de subproductos y residuos, cuya gestión inadecuada representa un problema ambiental y sanitario. Por ello, la acumulación de residuos avícolas contribuye a la contaminación de suelos y fuentes hídricas, además de favorecer a la proliferación de microorganismos patógenos.

Younas et al. (2025), mencionan que los huevos de desecho de incubadora corresponden a aquellos que no logran completar el desarrollo embrionario o presentan condiciones que impiden su aprovechamiento comercial. Estos residuos incluyen: huevos infértiles, embriones no viables y huevos contaminados, los cuales, a pesar de ser descartados, mantienen un contenido importante de nutrientes, especialmente proteínas de alto valor biológico.

Según Mirabella et al. (2014), considerando la afectación ambiental, se ha reportado que el manejo inadecuado de estos residuos genera impactos negativos asociados a la liberación de compuestos orgánicos y al incremento de la carga microbiológica en el entorno. A la vez, la falta de estrategias de valorización limita el aprovechamiento de estos recursos, incrementando los costos de disposición y los riesgos sanitarios.

Es por eso que Castro Fuentes et al. (2025), han propuesto alternativas basadas en la transformación de residuos avícolas en productos con valor agregado. En particular, el procesamiento de huevos de desecho mediante técnicas como el secado térmico ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir la humedad, estabilizar el producto y conservar su valor

nutricional, facilitando su uso en la alimentación animal. En consecuencia, el análisis de los subproductos avícolas y de los huevos de desecho de incubadora se orienta no solo a su caracterización, sino también a la identificación de estrategias que permitan su aprovechamiento eficiente, contribuyendo al desarrollo de sistemas productivos sostenibles y alineados con los principios de la economía circular.

3.1.1. Subproductos en la industria avícola

Según Castro Fuentes et al. (2025), la industria avícola es reconocida por su alta eficiencia productiva, ya que genera una amplia diversidad de subproductos en sus distintas etapas, incluyendo: la producción de huevos, la incubación y el procesamiento de aves. Estos subproductos comprenden materiales como: plumas, vísceras, sangre, cáscaras de huevo y huevos no aptos para consumo o incubación, los cuales, cuando no son gestionados adecuadamente pueden constituir fuentes de contaminación ambiental.

Según mencionan Pirkwieser et al. (2022), la clasificación de los subproductos avícolas se realiza en función de su origen y características fisicoquímicas, diferenciándolos en residuos sólidos, líquidos y semisólidos. Por lo tanto, se denota que estos materiales presentan un alto contenido de nutrientes, particularmente proteínas, lípidos y minerales, lo que incrementa su potencial de aprovechamiento en procesos agroindustriales, especialmente en la formulación de alimentos balanceados para animales.

Castro Fuentes et al. (2025), detallan que, en la actualidad, el enfoque hacia la sostenibilidad ha impulsado el desarrollo de estrategias orientadas al aprovechamiento integral de estos subproductos. Diversas investigaciones han demostrado que la valorización de residuos avícolas no solo contribuye a la reducción de la carga contaminante, sino que también permite la generación de productos con valor agregado, favoreciendo la implementación de modelos de

economía circular en el sector agropecuario. Por tanto, la transformación de estos subproductos en harinas proteicas, fertilizantes orgánicos o fuentes de energía se ha consolidado como una alternativa viable que está en aumento.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (s.f.), el manejo inadecuado de estos residuos ha sido asociado con riesgos sanitarios importantes, principalmente debido a la proliferación de microorganismos patógenos y la liberación de compuestos contaminantes, por lo que organismos internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), recomiendan implementar prácticas sostenibles de gestión que incluyan el tratamiento, procesamiento y reutilización de estos materiales, con el fin de minimizar su impacto ambiental y maximizar su aprovechamiento (Castro Fuentes et al., 2025).

3.1.2. Huevos de desecho de incubadora: definición y características

Como señalan Chávez et al. (2024), los huevos de desecho de incubadora corresponden a aquellos que durante el proceso de incubación no logran completar el desarrollo embrionario o presentan condiciones que impiden su viabilidad para la eclosión. Dentro de esta categoría se incluyen: huevos infértiles, huevos con embriones muertos en diferentes etapas del desarrollo, así como aquellos contaminados o con defectos físicos que afectan su integridad.

Por otra parte, Younas et al. (2025), expresan que estos huevos a pesar de ser considerados como residuos del proceso avícola, presentan una elevada composición nutricional que los convierte en una materia prima de interés para su aprovechamiento. Aunque no cumplen con los estándares requeridos para la incubación o el consumo humano, conservan una elevada proporción de proteínas, lípidos y minerales, especialmente en la yema, lo que les otorga un potencial para su transformación en productos derivados, como harinas destinadas a la alimentación animal.

Chávez et al. (2024), mencionan que, en cuanto a sus características físicas y químicas, los huevos de desecho pueden presentar variaciones en su composición dependiendo del tipo de descarte. Por ejemplo, los huevos infértiles mantienen una estructura similar a la de un huevo fresco, mientras que aquellos con desarrollo embrionario presentan cambios en la textura, color y composición interna debido a procesos biológicos y bioquímicos asociados al crecimiento del embrión. A la vez, los huevos contaminados pueden evidenciar alteraciones organolépticas, como olores desagradables, lo que limita su uso directo y requiere tratamientos adecuados para su aprovechamiento.

Según Bourdoux et al. (2016), otro aspecto que cabe mencionar es la carga microbiológica que estos residuos pueden presentar, especialmente cuando no son manejados bajo condiciones controladas. La presencia de microorganismos patógenos representa un riesgo sanitario, lo que hace indispensable la aplicación de procesos tecnológicos como el secado térmico, que permiten reducir la humedad y la actividad microbiana, favoreciendo la estabilidad del producto final. Por lo tanto, los huevos de desecho de incubadora deben ser comprendidos no solo como residuos, sino como una fuente potencial de nutrientes que, mediante procesos adecuados, pueden ser valorizados y reincorporados en cadenas productivas.

3.1.3. Impacto ambiental y sanitario del descarte

Según Castro Fuentes et al. (2025), el inadecuado manejo de los subproductos avícolas, particularmente de los huevos de desecho de incubadora, representa una fuerte problemática tanto a nivel ambiental como sanitario. Estos subproductos de descomposición han sido asociados con la alteración de la calidad del suelo, la contaminación de fuentes hídricas y el deterioro de la calidad del aire en zonas cercanas a sistemas de producción intensiva. Con relación a la contaminación ambiental, la disposición incontrolada de residuos orgánicos provenientes de sistemas pecuarios

favorece la infiltración de materia orgánica y microorganismos hacia fuentes hídricas, incrementando la carga de nutrientes y la contaminación microbiológica. Además, la acumulación de residuos orgánicos favorece la proliferación de vectores como insectos y roedores, lo que agrava el impacto ambiental en zonas cercanas a las unidades de producción avícola.

Desde el punto de vista sanitario, los huevos de desecho pueden convertirse en un foco de contaminación microbiológica si no son manejados adecuadamente. La presencia de bacterias patógenas, como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*, representa un riesgo para la salud animal y humana, especialmente cuando estos residuos entran en contacto con otros sistemas productivos o fuentes de agua. Asimismo, la descomposición de estos materiales puede generar olores desagradables que afectan la calidad de vida de las comunidades cercanas (Enciso Martínez et al., 2025).

El mecanismo de contaminación con *Salmonella spp.* en los huevos ha sido estudiado en detalle por Herrera y Jabib (2015), quienes explican que esta bacteria no forma parte de la flora intestinal normal de las aves, sino que ingresa al organismo desde el entorno. Cuando el tracto digestivo del ave se encuentra colonizado por estas bacterias, durante el proceso de defecación se produce la contaminación de la cáscara del huevo a su paso por la cloaca; posteriormente, las bacterias penetran a través de los poros de la cáscara hasta alcanzar la clara o albúmina, donde permanecen en estado de latencia. Este mecanismo explica por qué los huevos de desecho de incubadora, que han sido expuestos a condiciones ambientales de temperatura y humedad durante el proceso de incubación, pueden presentar una elevada carga de *Salmonella spp.* en su contenido interno.

Asimismo, Bermudez-Aguirre y Niemira (2023), señalan que la salmonelosis es considerada una enfermedad de distribución mundial de carácter zoonótico, siendo el huevo crudo

uno de los principales vehículos de transmisión al ser humano, lo que refuerza la necesidad de aplicar tratamientos térmicos adecuados antes de su aprovechamiento. En este sentido, el procesamiento de los huevos de desecho mediante técnicas como el secado térmico no solo contribuye a disminuir la carga microbiana, sino que también permite transformar estos residuos en productos seguros para su reutilización.

3.1.4. Aprovechamiento de residuos avícolas para la obtención de productos con valor agregado

Según Mirabella et al. (2014), en los últimos años, el aprovechamiento de los residuos avícolas se ha convertido en un factor importante debido a la necesidad de reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia de los sistemas productivos. Por ello, en la gestión de residuos avícolas, donde los subproductos generados, incluidos los huevos de desecho de incubadora, son considerados recursos con potencial de aprovechamiento porque pueden ser transformados mediante procesos tecnológicos en productos con valor agregado, contribuyendo tanto a la sostenibilidad ambiental como a la eficiencia de los sistemas productivos.

Castro Fuentes et al. (2025), mencionan que los residuos avícolas poseen un alto contenido de compuestos nutricionales, particularmente proteínas y lípidos, lo que los convierte en una materia prima viable para su transformación en productos de valor agregado. Por lo que, se ha reportado que estos subproductos pueden ser aprovechados en la elaboración de harinas proteicas, fertilizantes orgánicos e incluso en procesos de producción de bioenergía, contribuyendo así a la sostenibilidad y a la optimización de recursos dentro de la agroindustria.

De acuerdo con Galanakis (2012), el desarrollo de tecnologías de procesamiento, como el secado térmico, ha facilitado la valorización de estos residuos permitiendo reducir su contenido de humedad, prolongar su vida útil y garantizar su inocuidad microbiológica. Este tipo de tratamiento

resulta fundamental para estabilizar el producto y hacerlo apto para su incorporación en formulaciones de alimentos balanceados para animales, donde el contenido proteico es un factor determinante.

Mirabella et al. (2014), señalan que el aprovechamiento de residuos avícolas se encuentra dentro del enfoque de economía circular, el cual promueve la reutilización de materiales y la reducción de desechos mediante su reincorporación en nuevos ciclos productivos. También expresan que la valorización de estos subproductos no solo contribuye a disminuir la contaminación ambiental, sino que también genera beneficios económicos al reducir costos de disposición y crear nuevas oportunidades de negocio en el sector agroindustrial.

3.2.Composición nutricional y proteica del huevo

Según Razi et al. (2023), el huevo es considerado uno de los alimentos más completos desde el punto de vista nutricional, debido a la diversidad y calidad de sus componentes. Se ha demostrado que su composición incluye proteínas de alto valor biológico, lípidos esenciales, vitaminas y minerales, lo que lo convierte en una fuente importante de nutrientes tanto en la alimentación humana como animal.

Anton (2007), plantea que, basándose en su estructura, la clara y la yema presentan grandes diferencias en su composición, lo que influye directamente en sus propiedades bromatológicas. La clara se caracteriza por su alto contenido de proteínas solubles con funciones estructurales y protectoras, mientras que la yema concentra lípidos, fosfolípidos y compuestos bioactivos que contribuyen al valor energético y funcional del huevo.

Razi et al. (2023), mencionan que las proteínas del huevo no solo aportan aminoácidos esenciales, sino que presentan propiedades funcionales como emulsificación, formación de

espuma y gelificación, las cuales son importantes en procesamiento de alimentos. A la vez, estas propiedades pueden modificarse en función de factores como el procesamiento térmico, lo que resulta especialmente relevante en estudios que analizan tecnologías como el secado.

3.2.1. Vida útil del huevo fresco y su implicación en el procesamiento

Castro-Alvarado et al. (2023), establecen que el huevo fresco es un alimento perecible, cuya calidad interna comienza a deteriorarse desde el momento de la postura, razón por la cual su manejo y procesamiento oportuno resultan determinantes para garantizar su aprovechamiento. En este sentido, se determina que la vida útil máxima recomendada para huevos frescos destinados al consumo humano es de 21 días desde la puesta, norma que puede generar pérdidas económicas al productor y dificultades en la distribución y comercialización del producto.

Desde el punto de vista fisicoquímico, Madrigal-Portilla et al. (2023), señalan que tanto la temperatura como el tiempo de almacenamiento afectan la calidad y clasificación cualitativa de los huevos, siendo las Unidades Haugh el parámetro para evaluar estas variaciones, con un efecto negativo más evidente en huevos conservados a temperatura ambiente. Cabe mencionar que este deterioro se explica principalmente por la pérdida progresiva de CO₂ y humedad a través de los poros de la cáscara, lo que genera cambios en el pH interno, debilitamiento de la membrana vitelina y disminución de la viscosidad de la clara, afectando negativamente sus propiedades funcionales y nutricionales (Ikusika et al., 2025).

Fan et al. (2025), detallan que, en el contexto de la producción avícola industrial, los huevos infértiles retirados durante el proceso de ovoscopía son un subproducto que, al no ser destinado al consumo directo, queda expuesto a condiciones de deterioro acelerado si no es procesado de manera oportuna. De manera que, la transformación de estos huevos en harina mediante deshidratación controlada representa una alternativa viable que permite reducir significativamente

el contenido de humedad, mejorar la seguridad biológica del producto y extender su vida útil hasta uno o dos años, facilitando su almacenamiento y posterior uso en la industria alimentaria y en la formulación de alimentos balanceados para animales.

3.2.2. Estructura y composición química del huevo

Según Hunton (2005), el huevo es una estructura biológica compleja diseñada para proteger y nutrir al embrión, compuesta principalmente por la cáscara, la clara y la yema. La cáscara representa aproximadamente el 10% del peso total y está constituida principalmente por carbonato de calcio, además de una matriz orgánica que le confiere resistencia mecánica y permeabilidad controlada.

De acuerdo con Abeyrathne et al. (2013), la clara del huevo constituye cerca del 60% del peso total y está compuesta mayoritariamente por agua (alrededor del 88%) y proteínas. Entre las principales proteínas se encuentran la ovoalbúmina, la ovotransferrina y la lisozima, esta última con actividad antimicrobiana. Estas proteínas cumplen funciones tanto nutricionales como de defensa, inhibiendo el crecimiento bacteriano mediante mecanismos como la quelación de hierro o la degradación de la pared celular.

Por otra parte, Anton (2007), menciona que la yema representa aproximadamente el 30% del peso del huevo y se caracteriza por su alto contenido de lípidos y proteínas. Está formada por triglicéridos, fosfolípidos y lipoproteínas, que actúan como reserva energética y fuente de nutrientes, además de compuestos bioactivos importantes, incluyendo fosfolípidos y colesterol, que desempeñan funciones estructurales y metabólicas. El huevo puede considerarse un sistema coloidal ya que en este interactúan proteínas, lípidos y agua, lo que determina sus propiedades funcionales. No obstante, su composición puede variar en función de factores como la

alimentación de las aves, la edad y las condiciones de producción, lo que influye en su valor nutricional y sus aplicaciones industriales.

3.2.3. *Proteínas del huevo y su valor biológico*

Según Ramírez-Crespo et al. (2022), las proteínas del huevo son consideradas de alto valor biológico debido a su composición equilibrada de aminoácidos esenciales y su elevada digestibilidad. Estas proteínas se distribuyen principalmente en la clara y la yema, presentando características estructurales y funcionales distintas que contribuyen a su calidad nutricional. Por tanto, la clara del huevo contiene proteínas como la ovoalbúmina, ovotransferrina y lisozima, mientras que la yema está compuesta por lipoproteínas y fosvitina, que cumplen funciones tanto estructurales como metabólicas.

Considerando el aporte nutricional, Wu (2016), manifiesta que el valor biológico de las proteínas del huevo radica en su capacidad para satisfacer los requerimientos de aminoácidos esenciales del organismo humano. El perfil aminoacídico del huevo es considerado uno de los más completos entre las fuentes de origen animal, lo que lo convierte en un referente para la evaluación de la calidad proteica. Además, su alta digestibilidad favorece una eficiente absorción de nutrientes, lo que potencia su utilización en procesos metabólicos relacionados con el crecimiento y la reparación de tejidos.

Por otra parte, Abeyrathne et al. (2013), mencionan que las proteínas del huevo no solo aportan valor nutricional, sino que también presentan propiedades bioactivas. Diversos estudios han demostrado que algunas proteínas, como la lisozima y la ovotransferrina, poseen actividad antimicrobiana al inhibir el crecimiento de bacterias mediante la alteración de sus estructuras celulares o la limitación de nutrientes esenciales. Estas propiedades han sido aprovechadas en la

industria alimentaria y farmacéutica, destacando su potencial como agentes naturales de conservación y protección.

Según Boye et al. (2012), la calidad proteica del huevo puede verse influenciada por varios factores que afectan su estructura, digestibilidad y funcionalidad. Entre los más relevantes se encuentran: el procesamiento térmico, el almacenamiento y las condiciones de obtención del producto, los cuales pueden modificar la conformación de las proteínas y, en consecuencia, su valor biológico.

En relación con esto, Ramírez-Crespo et al. (2022), plantean que los cambios en la estructura de las proteínas, como la desnaturalización, pueden alterar tanto su digestibilidad como su actividad biológica, ya que factores como el procesamiento y las condiciones de manejo influyen en la estabilidad de los compuestos bioactivos, lo que puede afectar su eficacia funcional y su aplicación. También es importante mencionar que la variabilidad en las condiciones de producción y en los métodos de tratamiento puede generar diferencias en la calidad proteica del huevo, lo que dificulta la estandarización de sus propiedades. Por tanto, aunque el huevo es reconocido por su alto valor biológico, su calidad proteica no es constante, sino que depende de factores externos que deben ser controlados para garantizar su aprovechamiento nutricional.

3.2.4. Uso del huevo como fuente proteica en procesos agroindustriales

Según Tian et al. (2024), el huevo es muy utilizado en procesos agroindustriales debido a su alto contenido proteico y a sus propiedades funcionales que lo convierten en un insumo versátil en la elaboración de diversos productos alimenticios. Es así como las proteínas del huevo al presentar características como: emulsificación, gelificación, espumado y retención de agua, permiten su aplicación en la industria alimentaria, especialmente en productos de panificación, cárnicos y lácteos.

Csurka et al. (2022), expresan que el aprovechamiento del huevo no se limita a su uso fresco, sino que también incluye su transformación en productos derivados como huevo en polvo, clara deshidratada y yema líquida. Estos productos permiten mejorar la estabilidad, prolongar la vida útil y facilitar el almacenamiento y transporte, lo que es relevante en contextos agroindustriales. Además, la deshidratación del huevo ha sido muy utilizada como estrategia para conservar sus propiedades nutricionales, manteniendo en gran medida su contenido proteico (Gómez y Zapata, 2024).

Sin embargo, Wang et al. (2022), mencionan que la aplicación del huevo como fuente proteica en procesos agroindustriales presenta problemas relacionados con la estabilidad de sus componentes durante el procesamiento, especialmente frente a factores como temperatura, pH y humedad, los cuales pueden afectar la funcionalidad de las proteínas y, en consecuencia, la calidad del producto final. Por ello, es necesario implementar condiciones controladas de procesamiento que permitan preservar sus propiedades nutricionales.

3.3. Producción de harina de huevo

3.3.1. Concepto y etapas de harina de huevo (preparación, secado, molienda)

Como señalan Fan et al. (2025), la harina de huevo es un producto que se obtiene mediante la deshidratación del huevo, proceso que reduce su contenido de humedad y permite conseguir un polvo estable de fácil almacenamiento, transporte y uso industrial. También detallan que una de las técnicas más empleadas es el secado por atomización, debido a su capacidad para transformar el huevo en polvo de manera rápida y aplicable a escala industrial; no obstante, el secado en horno, empleado en la presente investigación, constituye una alternativa más accesible para estudios experimentales y de pequeña escala. Sin embargo, ambas técnicas comparten el riesgo de

modificar propiedades funcionales como la solubilidad, el color y la estabilidad del producto final cuando las condiciones de secado no se controlan adecuadamente.

A nivel internacional, instituciones de referencia en nutrición animal como la FEDNA (s.f.), han establecido valores composicionales estandarizados para harinas y subproductos derivados del huevo destinados a la alimentación animal, los cuales establecen ciertos parámetros para evaluar la calidad del producto obtenido bajo distintas condiciones de secado. De manera complementaria, el National Research Council [NRC] (1994), es ampliamente reconocido a nivel internacional en el establecimiento de estándares nutricionales para la formulación de dietas avícolas, aunque sus tablas de composición incluyen principalmente materias primas de uso común en alimentos balanceados y no específicamente productos derivados del huevo.

Según Pirkwieser et al. (2022), el proceso de elaboración comprende varias etapas. Primero se realiza la preparación del huevo, que incluye: selección, limpieza, ruptura de la cáscara, filtrado y homogenización del contenido líquido. Luego se aplica el secado, etapa donde se elimina el agua para aumentar la vida útil del producto, ya que el huevo deshidratado ha sido valorado por su facilidad de almacenamiento y su posibilidad de incorporarse en formulaciones alimentarias, en especial, por su aporte nutricional y proteico.

Previo a la etapa de secado, la mezcla de huevo líquido debe ser sometida a un proceso de pasteurización con el objetivo de reducir la carga microbiana, especialmente la presencia de *Salmonella spp.*, Bermudez-Aguirre et al. (2024), establecen que la pasteurización constituye un paso indispensable en la elaboración de harina de huevo, ya que permite eliminar los microorganismos patógenos presentes en el huevo antes de su transformación en polvo, garantizando que el producto final presente resultado negativo para *Salmonella spp.* FEDNA (s.f.), confirma este procedimiento al señalar que la harina de huevo comercial debe proceder de huevos

sometidos a tratamiento de pasteurización, y que el polvo resultante debe ser negativo para *Salmonella spp.* como criterio de inocuidad para su uso en alimentación animal por lo que el incumplimiento de este paso comprometería la seguridad sanitaria del producto final.

En la etapa final, cuando el producto seco requiere mayor uniformidad, se realiza la molienda con el fin de obtener una granulometría homogénea que facilite su incorporación en mezclas agroindustriales. En conjunto, estas etapas permiten transformar el huevo fresco en una harina proteica estable, útil para la elaboración de alimentos y para el aprovechamiento de materias primas con alto valor nutricional (Fan et al., 2025).

Según Pirkwieser et al. (2022), la producción de harina de huevo requiere el control de varios parámetros de procesamiento que influyen directamente en la calidad final del producto. Entre los más importantes se encuentran la temperatura de secado, el tiempo de exposición al calor, el contenido de humedad final y las condiciones de almacenamiento. La temperatura de secado es uno de los principales factores, ya que influye en la desnaturalización de las proteínas y en la conservación de sus propiedades. En el secado por atomización (*spray drying*), el uso de temperaturas elevadas permite una rápida eliminación del agua; sin embargo, un exceso de calor puede afectar la solubilidad y la funcionalidad de las proteínas del huevo, ya que el control de la temperatura es esencial para mantener la calidad nutricional del huevo en polvo y evitar la degradación de compuestos sensibles al calor.

De acuerdo con Morillo Robles et al. (2023), el tiempo de procesamiento también desempeña un papel importante debido a que las exposiciones prolongadas al calor pueden inducir cambios estructurales en las proteínas, afectando su digestibilidad y propiedades bromatológicas. Cabe mencionar que las condiciones de almacenamiento, como la temperatura y la humedad relativa, influyen en la estabilidad del producto durante su vida útil, ya que la interacción entre

temperatura y actividad de agua puede provocar cambios en la estabilidad de los alimentos deshidratados, afectando sus propiedades físicas y químicas.

3.3.2. *Producción de harina a partir de residuos como estrategia de sostenibilidad*

Según Galanakis (2012), la producción de harina a partir de residuos agroindustriales se ha convertido en una alternativa sostenible que permite aprovechar subproductos y reducir el impacto ambiental. En el caso del sector avícola, los huevos que no son aptos para el consumo directo, como los provenientes de incubadoras o aquellos con defectos, pueden ser utilizados como materia prima para elaborar productos con valor agregado, como harinas ricas en proteínas.

Por esta razón, Mirabella et al. (2014), mencionan que, el aprovechamiento de los residuos alimentarios mediante procesos de transformación se ha promovido como una alternativa para reducir pérdidas y utilizar mejor los recursos. Reutilizar subproductos en la industria alimentaria no solo ayuda a disminuir los desechos, sino también a crear nuevos ingredientes con valor nutricional y aplicaciones tecnológicas. En el caso del huevo, su alto contenido de proteínas lo convierte en una materia prima adecuada para producir harinas que pueden utilizarse tanto en la alimentación animal como humana.

Galanakis (2012), destaca que la recuperación de compuestos bioactivos y nutrientes a partir de residuos permite maximizar el uso de materias primas y reducir el impacto ambiental de la industria alimentaria, lo cual sustenta la necesidad del aprovechamiento de subproductos agrícolas. La producción de harina a partir de residuos, como los huevos de desecho, es una alternativa viable y sostenible que no solo contribuye a la gestión eficiente de los recursos, sino que también permite generar productos con valor nutricional, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía.

3.4. Proceso de secado en horno y efecto de la temperatura

Ratti (2001), afirma que el proceso de secado en horno es una técnica utilizada en la industria alimentaria para la conservación de productos, debido a que permite reducir el contenido de humedad y prolongar su vida útil. Este método se basa en la aplicación de calor controlado para eliminar el agua presente en el alimento, por tanto, la temperatura de secado puede afectar la estabilidad de los compuestos bioactivos y la estructura de las proteínas, modificando su funcionalidad y valor nutricional.

En el caso del secado de huevo en horno, la determinación de la temperatura representa una decisión importante tanto para el rendimiento del proceso como para la calidad nutricional de la harina obtenida. Abreha et al. (2021), establecen que el secado en horno a 44°C con ventilación representa la temperatura mínima de referencia para la elaboración de harina de huevo mediante este método, obteniéndose un producto deshidratado que posteriormente se muele y tamiza para su almacenamiento.

Gomes y Pelegrine (2012), determinaron que la temperatura óptima para la deshidratación del huevo entero es de 60°C, ya que por encima de esta temperatura se produce una precipitación fraccionada de las proteínas y se inicia la coagulación, lo que puede comprometer las propiedades funcionales del producto. Por su parte, Katekhong y Charoenrein (2016), establecieron que 80°C corresponde a la temperatura máxima antes de la desnaturalización generalizada de las proteínas del huevo, especialmente de la ovoalbúmina, cuya estructura gelificante se activa a partir de este umbral térmico. Estos rangos de temperatura constituyen la base para la selección de los tratamientos evaluados en la presente investigación, considerando además el valor composicional estandarizado a 70°C establecido por la FEDNA (s.f.), para la harina de huevo comercial, así como porcentajes de incorporación en las dietas de diferentes especies animales de interés zootécnico.

Según Mujumdar (2014), el secado de alimentos es un proceso de conservación que consiste en la eliminación del agua contenida en un producto mediante la aplicación de calor con el objetivo de reducir su actividad de agua y, por lo tanto, limitar el crecimiento de microorganismos y las reacciones de deterioro. Este proceso permite prolongar la vida útil de los alimentos y facilitar su almacenamiento y transporte sin necesidad de refrigeración, dicho fenómeno se desarrolla en etapas que incluyen un periodo de velocidad constante, seguido de uno o más periodos de velocidad decreciente, los cuales dependen de las características del alimento y de las condiciones de secado.

De acuerdo con Fellows (2022), la eficiencia del proceso se ve influenciado por factores como: la temperatura del aire, la velocidad de circulación, la humedad relativa y el tamaño del producto. El control de estos parámetros permite optimizar la velocidad de secado y minimizar los cambios no deseados en la calidad del alimento, como la pérdida de nutrientes o la alteración de sus propiedades físicas.

3.4.1. Secado en horno: principios y funcionamiento

Según Onwude et al. (2016), el secado en horno es un método térmico usado en la conservación de alimentos, que consiste en la eliminación de la humedad mediante la circulación de aire caliente en un sistema controlado. Este proceso se basa en la transferencia de calor hacia el alimento, lo que provoca la evaporación del agua y su posterior difusión desde el interior hacia la superficie, reduciendo la actividad de agua y prolongando la vida útil del producto.

Fellows (2022), expresan que el funcionamiento del secado en horno depende de variables como: la temperatura, la velocidad del aire y la humedad relativa. La temperatura influye en la velocidad de evaporación; sin embargo, temperaturas muy elevadas pueden generar cambios estructurales en el alimento, como la desnaturalización de proteínas y la pérdida de calidad

nutricional. Por ello, el control adecuado de las condiciones de secado es esencial para preservar las propiedades del producto.

Desde la perspectiva de Erbay y Icier (2010), durante el proceso de secado se presentan varias etapas, iniciando con una fase de eliminación de humedad superficial, seguida de una etapa de velocidad decreciente en la que el agua interna debe migrar hacia la superficie. Este comportamiento depende de las características del alimento, como su estructura, tamaño y composición, lo que influye en la eficiencia del proceso. En otras palabras, el secado en horno es una técnica accesible y de fácil implementación, especialmente en estudios experimentales y en pequeña escala. No obstante, su principal limitación radica en el control menos preciso de las condiciones en comparación con métodos más avanzados, lo que puede generar variaciones en la calidad final del producto.

3.4.2. Influencia de la temperatura en la eliminación de humedad

Doymaz (2012), plantea que la temperatura es uno de los factores más importantes en el proceso de secado de alimentos, ya que determina la velocidad de eliminación de la humedad. A medida que aumenta la temperatura del aire de secado, se incrementa la transferencia de calor hacia el alimento, lo que favorece a la evaporación del agua contenida. Este fenómeno permite reducir el tiempo de secado y mejorar la eficiencia del proceso.

Akpinar (2006), determinan que el aumento de la temperatura genera una mayor diferencia de presión de vapor entre el interior del alimento y el ambiente, facilitando la salida de la humedad hacia la superficie, lo que acelera la difusión del agua interna y contribuye a una mayor velocidad de secado, especialmente en la etapa inicial del proceso. Sin embargo, el uso de temperaturas altas también puede presentar limitaciones, aunque favorece a la eliminación de la humedad, puede

provocar la formación de una capa superficial seca que dificulta la salida del agua desde el interior, fenómeno conocido como endurecimiento superficial o *case hardening*.

Según Doymaz (2012), cabe destacar que la temperatura también influye en las etapas del secado; durante la fase de velocidad constante, la eliminación de humedad es rápida debido a la evaporación superficial; posteriormente, en la fase de velocidad decreciente, el proceso depende de la difusión interna del agua, la cual es altamente sensible a la temperatura. En consecuencia, el control adecuado de este parámetro resulta importante para optimizar el proceso de secado y garantizar la calidad del producto final.

3.4.3. Efecto del secado térmico sobre la estabilidad del producto

Fellows (2022), expresa que el secado térmico es un proceso que permite reducir el contenido de humedad y, en consecuencia, mejorar la estabilidad del producto durante su almacenamiento. Al disminuir la actividad de agua, se limita el crecimiento de microorganismos y se ralentizan las reacciones químicas responsables del deterioro, lo que contribuye a prolongar la vida útil del alimento.

Según Rahman (2007), la aplicación de calor durante el secado puede generar cambios en la estructura y composición del producto. Por ejemplo, las altas temperaturas pueden provocar la desnaturalización de proteínas, la degradación de compuestos sensibles al calor y la alteración de propiedades físicas como el color, la textura y la solubilidad. Estos cambios dependen de las condiciones de secado y del tipo de alimento, por lo que es necesario controlar los parámetros del proceso para evitar pérdidas de calidad.

Según Ruano Uscategui (2018), el secado térmico también puede afectar la estabilidad de los compuestos bioactivos, ya que en algunos casos el calor favorece la concentración de ciertos componentes al eliminar el agua; sin embargo, en otros puede inducir su degradación, reduciendo

su actividad biológica. Además, procesos como la reacción de Maillard pueden ocurrir durante el secado, afectando tanto el valor nutricional como las características sensoriales del producto.

Rahman (2007), expresa que la estabilidad del producto seco durante el almacenamiento está directamente relacionada con el contenido de humedad final y las condiciones ambientales, de manera que niveles adecuados de humedad permiten mantener la integridad del producto, mientras que valores inadecuados pueden favorecer la reabsorción de agua, la aglomeración del polvo y el deterioro de sus propiedades funcionales, esto debido a la propiedad higroscópica de las harinas.

3.5.Rendimiento del proceso y contenido proteico

Onwude et al. (2016), mencionan que el rendimiento del proceso de secado y el contenido proteico del producto final son dos aspectos por tomar en cuenta en la evaluación de la calidad de la harina de huevo. El rendimiento se refiere a la cantidad de producto obtenido a partir de la materia prima inicial, mientras que el contenido proteico permite determinar su valor nutricional y funcional. Ambos parámetros están directamente influenciados por las condiciones de procesamiento, especialmente la temperatura y el tiempo de secado, los cuales pueden afectar la estabilidad de las proteínas y la eficiencia del proceso.

3.5.1. Relación entre temperatura de secado y rendimiento

Según Krokida et al. (1997), la temperatura de secado es un factor que determina el rendimiento del proceso, debido a que influye en la cantidad de producto final obtenido a partir de la materia prima. A medida que aumenta la temperatura, se incrementa la velocidad de eliminación de la humedad, lo que reduce el tiempo de secado y puede mejorar la eficiencia del proceso. Por

ello, temperaturas más elevadas favorecen una mayor tasa de deshidratación, lo que se traduce en un mayor rendimiento en términos de tiempo y producción.

Para Mayor y Sereno (2004), el rendimiento no solo depende de la rapidez del secado, sino también de la conservación de la masa útil del producto. Temperaturas muy altas pueden provocar pérdidas de material debido a la degradación térmica o a la volatilización de ciertos compuestos, lo que afecta negativamente el rendimiento final, por lo que el control adecuado de la temperatura permite optimizar el balance entre la eliminación de humedad y la conservación de la estructura del alimento. En el procesamiento de harina de huevo, el rendimiento se ve directamente afectado por la temperatura de secado utilizada.

Abreha et al. (2021), mencionaron que el secado en horno a 44°C produce una harina con rendimientos inferiores en comparación con métodos que aplican temperaturas más altas, debido a que temperaturas bajas requieren tiempos de exposición más extensos para alcanzar el nivel de humedad deseado, incrementando el riesgo de deterioro del producto durante el proceso. A temperaturas superiores, la eliminación de la humedad es más rápida y eficiente, lo que mejora el rendimiento en términos de producción por unidad de tiempo. Sin embargo, la FEDNA (s.f.) establece que la harina de huevo obtenida a 70°C representa el valor composicional estandarizado, lo que sugiere que existe un rango de temperatura dentro del cual se optimiza tanto el rendimiento como la conservación de las propiedades nutricionales del producto final.

3.5.2. *Métodos de determinación del contenido proteico*

Lanza et al. (2016), mencionan que la determinación del contenido proteico permite evaluar su valor nutricional y su calidad. Existen diversos métodos analíticos utilizados para cuantificar las proteínas, los cuales se basan principalmente en la medición del nitrógeno total o en reacciones químicas específicas con los componentes proteicos. Uno de los métodos más

utilizados es el método Kjeldahl, el cual determina el contenido de nitrógeno total presente en la muestra, este método se basa en la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico, seguida de la destilación y titulación del nitrógeno, que posteriormente se convierte en proteína mediante un factor de conversión.

Según Mariotti et al. (2008), otro método usado es el de Dumas, que también mide el nitrógeno total, pero mediante combustión a altas temperaturas. En este método, el nitrógeno liberado es cuantificado directamente, lo que permite obtener resultados más rápidos en comparación con el método Kjeldahl. Este método presenta ventajas en términos de rapidez y automatización, aunque requiere equipos especializados.

Sin embargo, Cabanillas et al. (2023), mencionan que también existen métodos espectrofotométricos como el método de Biuret y el método de Bradford, los cuales se basan en la reacción de las proteínas con reactivos que generan cambios de color medibles. Estos métodos son más rápidos y sencillos, pero pueden ser menos precisos en muestras complejas debido a interferencias con otros compuestos.

3.5.3. Influencia del calor en la desnaturalización de proteínas

Según Solanilla Duque et al. (2022), el calor es uno de los factores más importantes en la estructura y estabilidad de las proteínas durante el procesamiento de alimentos, ya que con la aplicación de temperaturas elevadas se provoca la desnaturalización proteica, un proceso mediante el cual las proteínas pierden su estructura tridimensional sin que se rompan sus enlaces peptídicos. Este cambio estructural afecta sus propiedades funcionales, como: la solubilidad, la capacidad de retención de agua y la actividad biológica.

Considerando la propiedad molecular, la desnaturalización ocurre cuando el calor altera las interacciones débiles que mantienen la estructura de la proteína, como los enlaces de hidrógeno,

las interacciones hidrofóbicas y las fuerzas electrostáticas (Ramírez-Crespo et al., 2022). Como resultado, las proteínas se despliegan y pueden agregarse, formando nuevas estructuras que modifican sus propiedades físicas y químicas.

Solanilla Duque et al. (2022), plantean que, en el caso de productos ricos en proteínas, como el huevo, la exposición al calor durante el secado puede generar tanto efectos positivos como negativos. Por un lado, la desnaturalización puede mejorar la digestibilidad al facilitar el acceso de las enzimas digestivas; sin embargo, las altas temperaturas o tiempos prolongados pueden provocar agregación proteica excesiva, reduciendo la solubilidad y la funcionalidad del producto final. Además, el calor puede favorecer ciertas reacciones como la de Maillard, en la cual las proteínas reaccionan con azúcares reductores, lo que puede afectar el valor nutricional al reducir la disponibilidad de aminoácidos. Este tipo de cambios se dan en procesos de secado térmico, donde la combinación de temperatura y tiempo influye directamente en la calidad proteica.

En el huevo específicamente, la relación entre temperatura y desnaturalización proteica ha sido documentada en rangos que coinciden directamente con los tratamientos evaluados en la presente investigación. Gomes y Pelegri (2012), determinaron que temperaturas superiores a 60°C producen una precipitación fraccionada de las proteínas del huevo entero, particularmente de aquellas presentes en la clara, lo que modifica su solubilidad y funcionalidad. Por encima de este límite, la coagulación de las proteínas se intensifica progresivamente, siendo 80°C la temperatura a la cual Katekhong y Charoenrein (2016), registraron la desnaturalización de la ovoalbúmina, la principal proteína del huevo, cuya estructura se despliega irreversiblemente afectando sus propiedades gelificantes y emulsificantes. Estos datos son relevantes para interpretar el efecto de las diferentes temperaturas de secado sobre el contenido proteico final de la harina, dado que las condiciones de procesamiento determinan el grado de modificación estructural de las

proteínas y, en consecuencia, su valor nutricional y funcional. Esto refuerza la importancia de establecer condiciones óptimas de secado que permitan equilibrar la eliminación de humedad con la conservación de la calidad del producto.

3.5.4. *Relación entre procesamiento térmico y calidad nutricional*

Según Boye et al. (2012), el procesamiento térmico es una práctica común en la industria alimentaria que permite mejorar la seguridad microbiológica y prolongar la vida útil de los alimentos; sin embargo, también puede generar cambios en su calidad nutricional. En particular, la aplicación de calor influye directamente en la estructura y disponibilidad de los nutrientes, especialmente de las proteínas, las cuales pueden sufrir modificaciones que afectan su valor biológico.

Ramírez-Crespo et al. (2022), mencionan que el calor provoca la desnaturalización de las proteínas, lo que en algunos casos puede mejorar su digestibilidad al facilitar la acción de las enzimas digestivas. Pero ciertos tratamientos térmicos intensos o prolongados pueden generar efectos negativos, como la formación de agregados proteicos o la reducción de la disponibilidad de aminoácidos esenciales, además de inducir cambios químicos en las proteínas que afectan su calidad nutricional, especialmente cuando se combinan con azúcares reductores en reacciones como la de Maillard.

Boye et al. (2012), expresan que el procesamiento térmico puede afectar otros componentes nutricionales del alimento, como vitaminas y compuestos bioactivos, los cuales son sensibles a altas temperaturas. La magnitud de estos cambios depende de algunos factores como la temperatura aplicada, el tiempo de exposición y las características del alimento. En el caso de productos como la harina de huevo, la relación entre el tratamiento térmico y la calidad nutricional implica la exposición directa al calor. Si bien este proceso permite conservar el alimento, también

puede afectar la funcionalidad y el valor nutritivo de las proteínas si no se realiza bajo condiciones controladas. Por ende, el procesamiento térmico presenta un efecto dual sobre la calidad nutricional: por un lado, mejora la seguridad y digestibilidad de los alimentos, y por otro, puede generar pérdidas o modificaciones en sus componentes.

3.5.5. *Interacción entre variables del proceso y optimización de condiciones de secado*

Según Ertekin y Firat (2017), el proceso de secado de alimentos depende de la interacción simultánea de diversas variables operativas, entre las que destacan: la temperatura, el tiempo de secado, la velocidad del aire y la humedad relativa. Estas variables no actúan de manera aislada, sino que su combinación influye directamente en la cinética de secado, el rendimiento del proceso y la calidad final del producto, por lo que la comprensión de dichas interacciones resulta fundamental para optimizar las condiciones de operación en procesos agroindustriales.

Vega-Gálvez et al. (2009), han determinado que el incremento de la temperatura favorece a la transferencia de calor hacia el alimento, acelerando la evaporación del agua y reduciendo el tiempo de secado. Sin embargo, este aumento puede generar efectos adversos si no se controla adecuadamente, como la desnaturalización de proteínas, la pérdida de compuestos bioactivos y alteraciones en las propiedades funcionales del producto, por lo que la optimización del secado requiere encontrar un equilibrio entre la velocidad de eliminación de la humedad y la preservación de la calidad nutricional. También se debe considerar que el tiempo de exposición al calor es un factor estrechamente relacionado con la temperatura, ya que ambos determinan la intensidad del tratamiento térmico aplicado, pues exposiciones prolongadas pueden provocar cambios estructurales en el alimento, afectando su textura, color y valor nutricional. Por ello, la interacción entre tiempo y temperatura se convierte en un aspecto crítico que debe ser evaluado conjuntamente para evitar el deterioro del producto.

Según Sagar y Suresh (2010), existen variables como la velocidad del aire y la humedad relativa que influyen en la eficiencia del proceso al facilitar la eliminación del vapor de agua desde la superficie del alimento. Una adecuada circulación de aire permite mantener un gradiente de humedad favorable, lo que contribuye a mejorar la transferencia de masa, optimizando el proceso de secado y mejorando la calidad del producto final.

Según Baş y Boyacı (2007), la optimización de las condiciones de secado se ha evaluado mediante el uso de modelos matemáticos y diseños experimentales, los cuales permiten analizar tanto los efectos individuales como las interacciones entre variables. Estas herramientas facilitan la identificación de condiciones óptimas de operación que maximicen el rendimiento y minimicen las pérdidas de calidad, siendo ampliamente utilizadas en estudios de ingeniería de alimentos. En el caso específico de productos con alto contenido proteico, como la harina de huevo, la interacción entre temperatura y tiempo de secado adquiere especial relevancia, ya que influye directamente en la estabilidad de las proteínas y en el contenido nutricional del producto final. Por esta razón, la optimización de estas variables no solo busca mejorar la eficiencia del proceso, sino también preservar las propiedades funcionales y nutricionales del alimento.

3.5.6. Aplicaciones en alimentación animal y sostenibilidad

Desde la perspectiva de Makkar et al. (2014), el aprovechamiento de subproductos agroindustriales en la alimentación animal se ha convertido en una estrategia relevante para mejorar la eficiencia de los sistemas productivos y promover la sostenibilidad. Por esta razón se destaca la utilización de harinas obtenidas a partir de residuos, como los huevos no aptos para consumo humano, los cuales representan una alternativa viable para la formulación de dietas con alto valor nutricional, especialmente por su contenido proteico. Los subproductos derivados del huevo pueden aportar proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales y compuestos bioactivos

que favorecen el crecimiento y desarrollo de los animales. El uso de subproductos agroindustriales en la alimentación animal permite sustituir parcialmente fuentes convencionales de proteína, reduciendo costos y mejorando la eficiencia alimenticia.

Para Van Zanten et al. (2018), la incorporación de residuos en la alimentación animal contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agroindustriales al transformar desechos en insumos útiles, se reduce la cantidad de residuos generados y se optimiza el uso de recursos, alineándose con los principios de economía circular y el uso de subproductos en la alimentación animal, los cuales permiten mejorar la sostenibilidad global del sistema alimentario al disminuir la competencia por recursos destinados a la alimentación humana.

De acuerdo con Makkar et al. (2014), la producción de harinas a partir de residuos, como la harina de huevo, facilita su almacenamiento, transporte y dosificación en dietas para animales, mejorando su viabilidad a nivel industrial. Sin embargo, es importante considerar factores como la calidad del producto, la inocuidad y el procesamiento térmico, ya que estos pueden influir en la digestibilidad y el valor nutricional del alimento. Por consiguiente, la utilización de harinas obtenidas a partir de residuos en la alimentación animal no solo representa una alternativa nutricionalmente adecuada, sino también una estrategia sostenible que contribuye a la reducción de desechos y a la optimización de los recursos en los sistemas agroindustriales.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales, equipos y reactivos

Para el desarrollo de la fase experimental de la investigación se utilizaron los siguientes materiales de laboratorio: tubos de ensayo y micropipetas con sus respectivas puntas para hacer las diluciones seriadas del cultivo bacteriano de *Salmonella spp.* que posteriormente se sembraron en cajas Petri, probetas para la medición del huevo que fue colocado en bandejas de hornear para realizar el secado del huevo, platillos de aluminio y espátulas para el pesaje y manipulación de muestras sólidas en procesos como determinación de humedad, tubos Kjeldahl especializados para la digestión y destilación de proteína, matraz Erlenmeyer para la valoración y titulación de la proteína al igual que bureta y soporte universal, vasos y cartuchos de extracción para el método Soxhlet en determinación de grasa, así como papel de celulosa para colocar las muestras y un desecador donde también se colocaron crisoles de porcelana que sirven para la determinación de cenizas y crisoles de platino para determinar el contenido energético de las muestras, y pinzas para crisoles. Finalmente, materiales de seguridad, como: guantes de nitrilo, guantes de protección de calor, mascarillas y mandil de laboratorio.

Los equipos utilizados durante el proceso experimental incluyeron: incubadora bacteriológica marca Binder para el cultivo de *Salmonella spp.* y cabina de flujo laminar para mantener a la muestra libre de contaminación, estufa de secado marca Memmert con control de temperatura para el secado del huevo a las diferentes temperaturas evaluadas, balanza analítica de precisión marcas Adam modelo PW 254 y Mettler Toledo para el pesaje de muestras sólidas, molino marca Retsch modelo GM 200 para la molienda del huevo seco previa obtención de la harina, balanza desecadora marca Sartorius modelo MA 35 para determinación de porcentaje de

humedad y materia seca, digestor Kjeldahl marca Behr Labor-Technik modelo InKjel M para la primera etapa de la determinación de proteína, unidad de destilación marca VELP Scientifica modelo UDK 127 para el proceso de destilación y valoración del contenido proteico, equipo Soxhlet marca VELP Scientifica modelo SER 148 para la extracción y determinación de contenido graso, horno mufla marca Thermo Scientific para la calcinación de muestras y determinación de cenizas, bomba calorimétrica marca Parr modelo 6100 CALORIMETER para determinar contenido energético de las muestras de harina.

En cuanto a los reactivos químicos utilizados: para el análisis de proteína bruta mediante el método Kjeldahl se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98% y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 35% para la digestión junto con pastillas catalizadoras Kjeldahl compuestas por sulfato de potasio (K_2SO_4) y selenio (Se) como acelerador del proceso, hidróxido de sodio al 35% (NaOH) para la destilación junto con agua destilada (H_2O), ácido bórico al 4% (H_3BO_3) como solución captora de amoníaco junto con un indicador rojo tashiro para la valoración y ácido clorhídrico (HCl) al 0.2 N para la titulación. Para el análisis de grasa mediante el método Soxhlet se utilizó éter de petróleo, y para los análisis microbiológicos de *Salmonella spp.* se utilizó agua destilada (H_2O) para las diluciones seriadas, de igual manera se escogió como medio selectivo al Agar Salmonella-Shigella (SSA).

4.2. Métodos

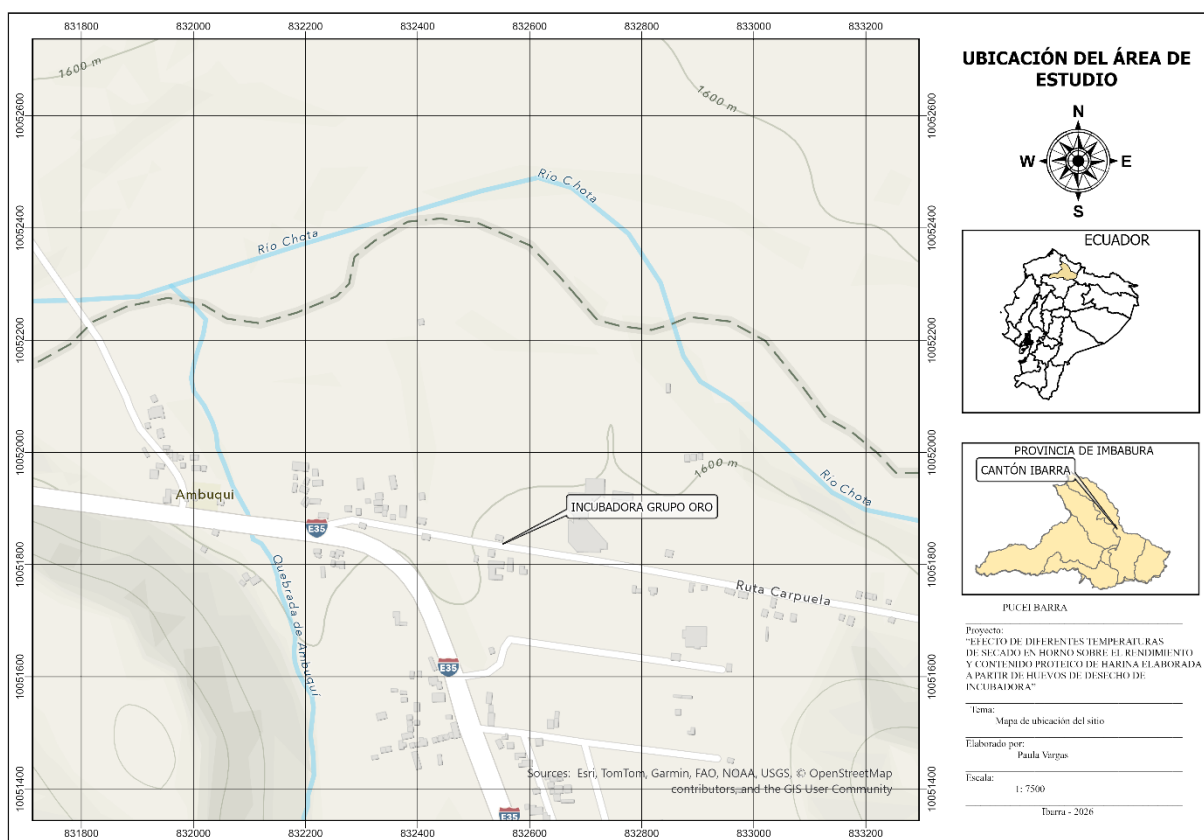
4.2.1. Localización del experimento

La investigación se desarrolló en dos etapas, la primera consistió en la obtención de la materia prima que se realizó en una incubadora comercial denominada 'Incubadora GRUPO ORO',

ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia Ambuquí, sector La Playa, con coordenadas geográficas 0°28'03.51"N 78°00'34.85"W.

Figura 1.

Cartografía de ubicación de la 'Incubadora GRUPO ORO'

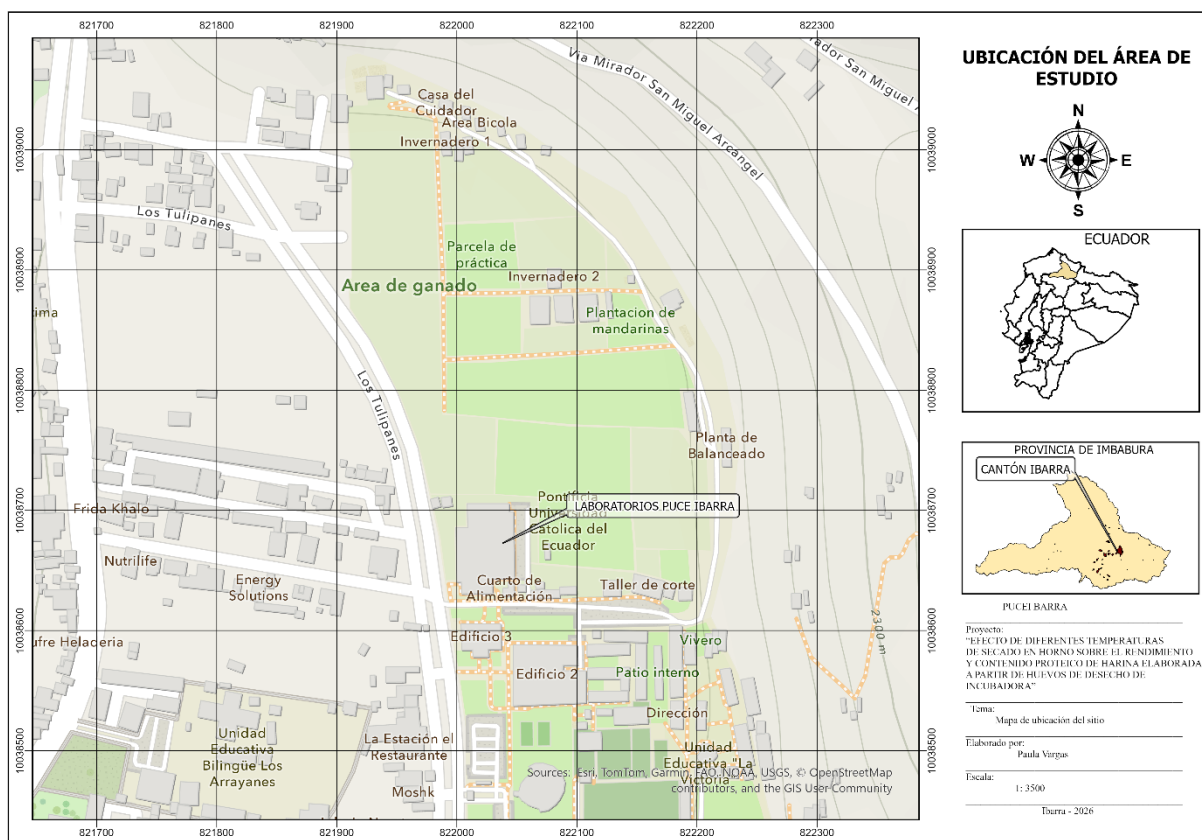


Nota. Mapa elaborado en ArcGIS Pro. Sistema de coordenadas: WGS 84 / UTM Zona 17S.

Por otra parte, la segunda etapa consistió en el procesamiento de los huevos, es decir, la elaboración de la harina y posteriores análisis de laboratorio correspondientes, los cuales se llevaron a cabo en los laboratorios de Bromatología y Microbiología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra (PUCE-I), ubicados en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia El Sagrario, sector La Victoria, con coordenadas geográficas 0°20'56.85"N 78°06'26.02"W.

Figura 2

Cartografía de ubicación de los Laboratorios PUCE-I



Nota. Mapa elaborado en ArcGIS Pro. Sistema de coordenadas: WGS 84 / UTM Zona 17S.

4.2.2. Preparación del material

Los huevos seleccionados correspondieron a aquellos descartados del proceso productivo de la incubadora comercial por no cumplir con los requisitos para incubación o comercialización, es decir, huevos infértiles identificados mediante ovoscopia, huevos con embriones muertos en etapas tempranas del desarrollo, huevos con cáscara fisurada o agrietada y huevos contaminados con materia fecal. Posteriormente se procedió a separar manualmente las cáscaras del huevo, la clara y la yema homogenizadas se llevaron en recipientes cerrados a los laboratorios de la Universidad donde fueron filtrados mediante un colador para eliminar restos de membranas o impurezas.

4.2.3. *Diseño Experimental*

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos, cada uno con una temperatura diferente de secado en estufa, asimismo se realizó tres repeticiones por cada tratamiento obteniendo un total de doce unidades experimentales, cada unidad experimental estuvo compuesta por 500 g de huevo homogenizado, cantidad definida con base en la disponibilidad de materia prima y requerimientos mínimos de muestra para los posteriores análisis bromatológicos y microbiológicos.

4.2.4. *Factores de estudio y tratamientos*

El factor de estudio evaluado fue la temperatura de secado en estufa, seleccionada por ser la variable de control térmico clave en el proceso de deshidratación del huevo y en la posterior obtención de la harina, ya que afecta de manera directa el rendimiento y la conservación del contenido proteico. Los tratamientos evaluados, con su simbología y niveles correspondientes, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Tratamientos experimentales del Diseño Completamente al Azar (DCA)

Tratamiento	Código	Temperatura de secado	N° de repeticiones
1	T ₁	44°C	3
2	T ₂	60°C	3
3	T ₃	70°C (control)	3
4	T ₄	80°C	3

Nota. Elaboración propia.

Las temperaturas de los tratamientos fueron seleccionadas con base en revisiones bibliográficas previas que indican rangos relevantes para la deshidratación del huevo: 44°C como mínimo referenciado para el secado en horno (Abreha et al., 2021), 60°C como temperatura óptima para la deshidratación del huevo entero (Gomes y Pelegriane, 2012), 70°C como valor

composicional estandarizado establecido por la FEDNA (s.f.), y 80°C como temperatura máxima antes de la desnaturalización total de proteínas (Katekhong y Charoenrein, 2016).

4.2.5. Esquema del Análisis de Varianza (ANOVA)

De acuerdo con el DCA utilizado, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, el esquema del ANOVA se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Esquema del análisis de varianza (ANOVA)

FV	GL
Total	11
Tratamientos	3
Error experimental	8

Nota. Elaboración propia.

El modelo estadístico empleado para este diseño de una vía es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Valor observado de la variable dependiente para la temperatura i y repetición j .
- μ : Media general.
- α_i : Efecto del nivel i del factor temperatura ($i = 1, 2, 3, 4$).
- ε_{ij} : Error experimental aleatorio $\sim N(0, \sigma^2)$.
- j : Número de repetición ($j = 1, 2, 3$).

Para la verificación de los supuestos del modelo se aplican las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de Levene sobre los residuos del ANOVA. En el caso de determinar diferencias significativas entre tratamientos, se aplicará la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.6. Variables

Variable independiente. La variable independiente consistió en la temperatura de secado en estufa, evaluada en cuatro niveles, los cuales fueron: 44°C, 60°C, 70°C y 80°C.

Variables dependientes. Las variables dependientes evaluadas fueron el rendimiento (%) de harina y el contenido proteico (%), seleccionadas por su relevancia para explicar el efecto de la temperatura de secado sobre la calidad del producto obtenido; además de la presencia o ausencia de *Salmonella spp.*, tanto en el huevo previo al secado como en la harina obtenida de cada tratamiento. A esto se suma un análisis bromatológico complementario para las variables de: materia seca (%), grasa (%), cenizas (%) y energía bruta (kcal/kg).

4.2.7. Manejo específico del experimento

El proceso de secado en hornos consistió en homogenizar el huevo y distribuirlo de manera uniforme en bandejas para hornear y colocarlo en una estufa de secado con control de temperatura según el tratamiento, de manera similar al procedimiento empleado por Abreha et al. (2021) y Gomes y Pelegrine (2012), quienes secaron huevo entero homogenizado en estufa de aire forzado para la obtención de harina. Cada unidad experimental fue sometida a la temperatura de secado correspondiente a su tratamiento manteniéndose en la estufa hasta que el producto alcanzó una consistencia sólida apta para su posterior molienda, el control de tiempo para determinar que el huevo estuvo completamente deshidratado fue mediante pruebas que consistían en sacar una muestra de la estufa y colocarla en la balanza desecadora hasta obtener un peso constante. Los tiempos de secado registrados para cada tratamiento fueron: 113 horas para T1 (44°C), 76 horas para T2 (60°C), 73 horas para T3 (70°C) y 51 horas para T4 (80°C), dando como resultado que existió una relación inversa entre la temperatura de secado y el tiempo requerido para la deshidratación completa del huevo, fenómeno que coincide con lo señalado por Onwude et al.

(2016), quienes indican que a mayor temperatura de secado se acelera la transferencia de calor y, como consecuencia, se reduce el tiempo necesario para alcanzar la deshidratación completa del producto.

Una vez concluido el proceso de secado, el producto deshidratado fue sometido a molienda para reducir el tamaño de partícula hasta obtener una harina uniforme, de manera similar a lo planteado por Fan et al. (2025), quienes señalan que la etapa de molienda permite obtener una granulometría homogénea que facilita el almacenamiento y posterior uso del producto. La harina resultante de cada unidad experimental fue pesada en una balanza analítica de precisión y almacenada en bolsas de plástico Ziploc herméticas, debidamente identificadas con el código del tratamiento y repetición correspondiente, así como con el peso final obtenido de rendimiento tras finalizar el proceso de secado.

4.2.8. Medición de las variables

Se realizaron análisis microbiológicos en el huevo (previo secado) y también en la harina obtenida de cada tratamiento, con el fin de verificar la presencia o ausencia de *Salmonella spp.* Los procedimientos se realizaron en el Laboratorio de Microbiología, para el huevo se realizaron 20 diluciones seriadas en los tubos de ensayo, los cuales contenían 9 mL de agua destilada, en la primera dilución (solución madre) se añadió 1 mL de huevo utilizando una micropipeta y se continuó a partir de dicha solución madre realizando las diluciones hasta llegar a la 10^{-20} , de cada dilución se sembró 1 mL en cajas Petri con SSA que luego fueron incubadas durante 36 a 48 horas para evidenciar el crecimiento completo de los microorganismos. De igual manera, se realizó el procedimiento con la harina obtenida de cada tratamiento de secado siguiendo los mismos pasos que con el huevo, con la diferencia de que se realizó diluciones hasta la 10^{-7} .

El rendimiento de la harina se determinó mediante el registro del peso de la materia prima (huevo), correspondiente a 500 g por unidad experimental antes del secado, y el peso de la harina obtenida tras finalizar el proceso de molienda, determinado mediante una balanza analítica de precisión; el rendimiento se registró en gramos de harina por gramos de huevo inicial (g/g) y se convirtió a porcentaje para el análisis estadístico, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso harina obtenida}}{\text{Peso huevo inicial}} \times 100$$

El contenido de proteína bruta fue determinado mediante el método de Kjeldahl, siguiendo el protocolo de Mamani et al. (2020), el protocolo se realizó de la siguiente manera: primera etapa en el digestor Kjeldahl, la cual consistía en colocar en los tubos de digestión alrededor de 2 g de muestra por tratamiento y repetición, 1 pastilla catalizadora Kjeldahl, 12 mL de H₂SO₄ al 98% y 3.3 mL de H₂O₂ al 35% durante 2 horas a máxima energía (100%, es decir, 420°C) hasta que la muestra se torne de color amarillo pálido o incoloro. La segunda y tercera etapa se realizaron en la unidad de destilación que consistía en colocar en los tubos de digestión usados previamente 50 mL de agua destilada y 50 mL de NaOH al 35% (es importante utilizar guantes de protección contra el calor para evitar quemaduras porque los tubos de digestión se calientan durante el proceso), por otra parte, en un matraz Erlenmeyer se colocó 50 mL de H₃BO₃ al 4% y 4 gotas del indicador rojo tashiro para la captación del amoníaco en el proceso de destilación, este proceso se realiza durante 9 minutos con rondas automáticas que tiene el equipo de 3 minutos (una señal de que la valoración está correcta es que el contenido del matraz Erlenmeyer cambie de tono violeta a verde azulado). Finalmente, la etapa de titulación consistía en colocar HCl al 0.2 N en la bureta sostenida en el soporte universal y bajo esta el matraz Erlenmeyer utilizado en el proceso de valoración, se titula la solución con el HCl (registrar volumen utilizado para reemplazar en la

fórmula de determinación de %N) hasta que el color verde azulado se torne como el color violeta inicial.

La fórmula para determinar el porcentaje de nitrógeno es la siguiente:

$$\%N = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times 0.014}{Pm} \times 100$$

Donde:

- V_{HCl} : Volumen utilizado del HCl en la titulación.
- N_{HCl} : Normalidad del HCl, en este caso 0.2.
- 0.014: El miliequivalente del nitrógeno (14.007g/mol convertido a gramos por miliequivalente), se utiliza como constante.
- Pm: Peso de la muestra, es importante registrar con los 4 decimales.

Una vez obtenido el %N, se realiza la fórmula para obtener el %PB, mediante la siguiente fórmula:

$$\%PB = \%N \times 6.25$$

Donde:

- 6.25: Factor de conversión utilizado generalmente basándose en que las proteínas contienen un 16% de nitrógeno, puede variar según la muestra evaluada.

4.2.9. Análisis bromatológico complementario

Para determinar el porcentaje de humedad y materia seca de cada harina se utilizó una muestra de 1g en la balanza desecadora, si bien este proceso se realizó mientras se deshidratava el huevo para determinar el tiempo de secado para cada tratamiento, fue necesario realizarlo nuevamente debido a que las harinas poseen propiedades higroscópicas, así se obtuvieron datos precisos.

La determinación del contenido de grasa se realizó mediante el método Soxhlet siguiendo la guía establecida por Getachew y Mosneh (2024), desarrollan de la siguiente manera: es necesario que en el proceso se utilicen guantes de nitrilo para evitar contaminar las muestras con residuos de grasa de las manos, los vasos de extracción se lavaron y secaron en la estufa a 105°C durante 1 hora y luego 30 minutos en el desecador, se pesaron y registraron para luego colocar 50 mL de éter de petróleo (solvente común) en cada vaso, en papel celulosa se colocó 3 g de cada tratamiento y repetición de harina, los cuales fueron insertados dentro de los cartuchos de extracción en el equipo de extracción de grasa. Dicho equipo cuenta con 3 etapas, cada una con sus tiempos: 30 minutos de inmersión para que el solvente entre en contacto directo con la muestra, 45 minutos de lavado para que se extraiga el contenido graso de la muestra y 15 minutos de evaporación y recuperación del solvente; una vez finalizado el proceso se llevaron los vasos de extracción con el contenido graso obtenido a la estufa a 105°C durante 30 minutos para eliminar por completo el residuo del solvente y luego en el desecador por 30 minutos, finalmente, se pesaron los vasos para calcular el porcentaje de grasa mediante la siguiente fórmula:

$$\%G = \frac{P2 - P1}{Pm} \times 100$$

Donde:

- P2: Peso del vaso + grasa extraída.
- P1: Peso del vaso de extracción vacío.
- Pm: Peso de la muestra registrada con 4 decimales.

Para la determinación de cenizas se siguió el protocolo establecido por Getachew y Mosneh (2024), en el cual se lavaron y secaron crisoles de porcelana en la estufa a 105°C por 1 hora y se pasaron con pinzas para crisoles al desecador durante 30 minutos, posteriormente se pesaron y registraron; se colocó alrededor de 2 g de muestra directamente en los crisoles y se registró el

nuevo peso. Los crisoles fueron llevados a la mufla durante 3 horas con una temperatura de 550°C para una calcinación completa, una vez finalizado el proceso se llevaron los crisoles al desecador durante 30 minutos para que se enfríen y posteriormente se registraron los nuevos pesos de los crisoles con las cenizas. La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de cenizas fue:

$$\%C = \frac{P3 - P1}{P2 - P1} \times 100$$

Donde:

- P3: Peso del crisol + contenido de cenizas.
- P2: Peso del crisol + muestra.
- P1: Peso del crisol vacío.

La determinación del contenido energético de la harina se basó en protocolo establecido por la Universidad, el cual consistió en realizar una pastilla de la muestra de harina que tenga un peso entre 0.5 a 1 g, se las colocó en los crisoles de platino y es importante que tengan contacto directo con el hilo de ignición para que pueda realizarse la combustión de la pastilla, se recargó la bomba calorimétrica con O₂ y se cerró muy bien para evitar fugas del O₂, también se colocó 2 L de agua destilada en el balde, que tiene el mismo equipo, donde va sumergida la bomba y se corrió el proceso automáticamente durante 15 minutos, al finalizar se visualizaron los resultados en la pantalla del equipo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados microbiológicos de *Salmonella spp.*

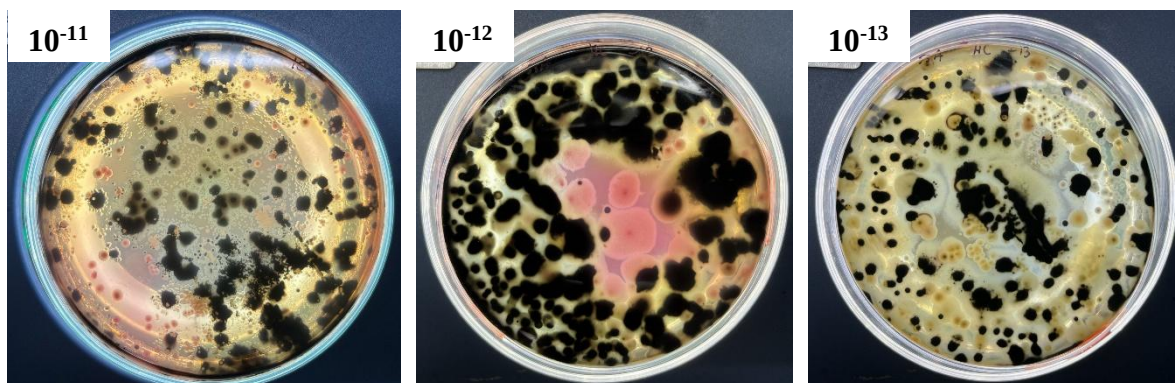
A continuación, se presentan los resultados microbiológicos obtenidos tras el cultivo de *Salmonella spp.* tanto para huevo como para harina resultante de los diferentes tratamientos evaluados.

5.1.1. Huevo

El huevo homogenizado fue cultivado en SSA durante 36 a 48 horas, para el análisis de los resultados se toma como referencia las diluciones: 10^{-11} , 10^{-12} y 10^{-13} .

Figura 3

Caja Petri con cultivo de Salmonella spp. proveniente del huevo



Nota. Los números en las figuras significan el número de dilución que se utilizó para el cultivo.

Como se puede observar en la figura 3, el cultivo de *Salmonella spp.* dio como resultado Muy Numeroso Para Contar (MNPC) en todas las diluciones realizadas, debido a la alta concentración de bacterias que existe en el huevo crudo.

El resultado obtenido se sustenta con lo reportado por Bermudez-Aguirre y Niemira (2023), quienes señalan que *Salmonella spp.* es uno de los principales patógenos asociados al huevo crudo y se clasifica como un riesgo zoonótico de distribución mundial, siendo el huevo uno de los

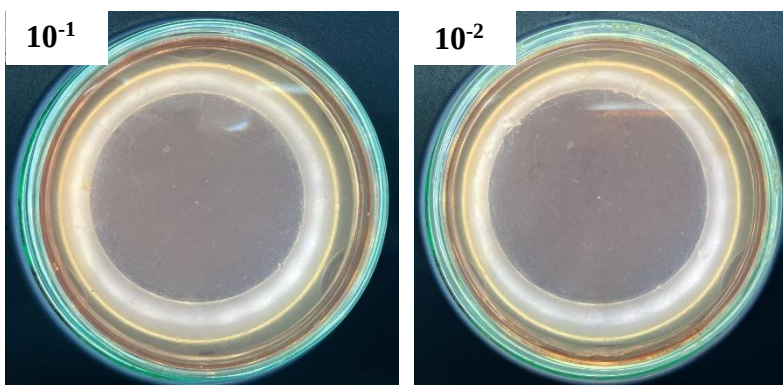
vectores más comunes de transmisión al ser humano. La presencia de esta elevada carga bacteriana en el huevo de desecho de incubadora se debe a que este subproducto no es sometido a ningún proceso de sanitización previo a su descarte, aumentando su potencial como contaminante si no se procesa de manera adecuada (Chávez et al., 2024).

5.1.2. Harina

La harina de huevo obtenida de cada tratamiento, es decir, con las diferentes temperaturas de secado, fue cultivada en SSA durante 36 a 48 horas, para el análisis de los resultados se toma como referencia las diluciones: 10^{-1} y 10^{-2} .

Figura 4

Caja Petri con cultivo de Salmonella spp. proveniente de la harina obtenida



Nota. Los números en las figuras significan el número de dilución que se utilizó para el cultivo.

Como se puede observar en la figura 4, a diferencia del cultivo de *Salmonella spp.* del huevo crudo, todas las temperaturas de secado (44°C, 60°C, 70°C y 80°C) influyeron en la eliminación de las bacterias.

Este resultado concuerda con lo establecido por Bermudez-Aguirre et al. (2024), quienes reportaron que el tratamiento térmico a temperaturas iguales o superiores a 60°C durante tiempos suficientes es capaz de conseguir la inactivación completa de *Salmonella spp.* en huevo líquido entero, yema y albúmina. Además, es destacable que incluso T1 (44°C) logró la eliminación del

patógeno, sugiriendo que la combinación de temperatura y tiempo durante el secado en estufa fue suficiente para eliminar las células bacterianas, aun en el tratamiento de menor temperatura.

Bermudez-Aguirre y Niemira (2023), establecen que la inactivación térmica de *Salmonella* spp. depende de la temperatura y del tiempo de exposición al calor, lo que explica que temperaturas moderadas como 44°C, aplicadas durante largos períodos, puedan garantizar la inocuidad del producto.

5.2. Normalidad (Shapiro-Wilk test) y Homogeneidad (Levene test)

A continuación, se presentan los resultados ejecutados en Excel con la función XLSTAT versión 2023.2.0.1411, para evaluar la normalidad y homogeneidad de las varianzas:

Tabla 3

Resultados de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para las variables en estudio

<i>Variables</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Shapiro test</i>	<i>p valor</i>	<i>Levene test</i>	<i>p valor</i>
% Rendimiento	12	32,718	2,830	0,883	0,095	0,141	0,932
% Proteína Bruta	12	46,547	0,865	0,970	0,916	0,357	0,786
% Materia Seca	12	96,006	2,124	0,979	0,980	0,865	0,498
% Grasa	12	38,161	1,164	0,970	0,913	0,555	0,659
% Cenizas	12	3,851	0,440	0,912	0,224	0,284	0,836
Energía Bruta (kcal/kg)	12	6880,698	121,656	0,932	0,400	0,806	0,525

Nota. El nivel de significancia utilizado para ambas pruebas fue $p \text{ valor} > 0,05$ para indicar cumplimiento del supuesto.

Como se observa en la tabla 3, la prueba de Shapiro-Wilk demostró una distribución normal en todas las variables, ya que todos los valores p fueron superiores al nivel de significancia $\alpha = 0,05$. De igual manera, la prueba de Levene confirmó el supuesto de homogeneidad de varianzas en todas las variables, siguiendo el mismo criterio de $p > 0,05$.

5.3. Análisis de Varianza (ANOVA) y Comparación Múltiple de Promedios (Tukey test)

A continuación, se presentan los resultados del ANOVA y Tukey test obtenidos en Excel con la función XLSTAT versión 2023.2.0.1411, para cada variable estudiada, así como la discusión con diferentes autores que sustentan dichos resultados.

5.3.1. Rendimiento (%)

Para la variable rendimiento (%), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4

Resultados del ANOVA para la variable Rendimiento (%)

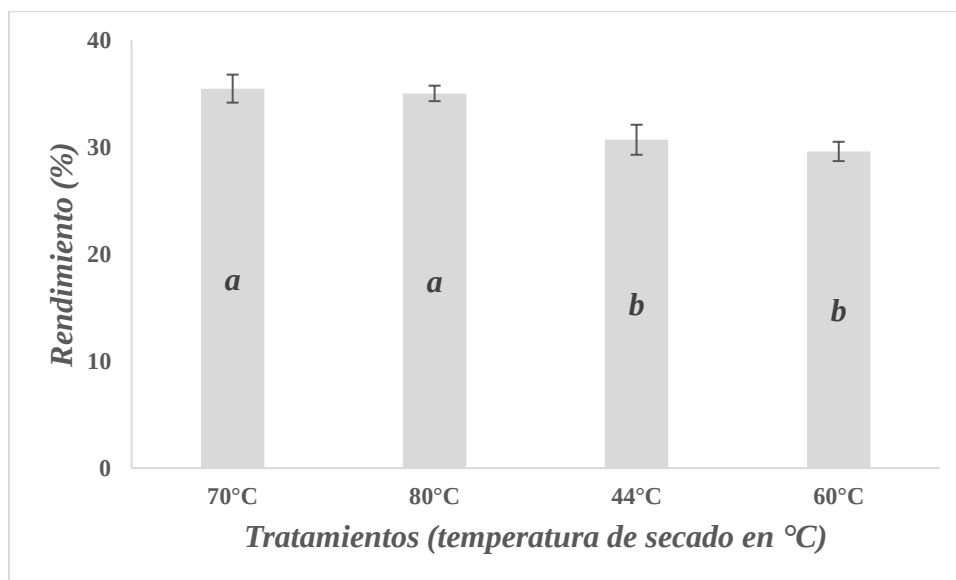
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	3	80,264	26,755	27,230	0,0001501	***
<i>Total corregido</i>	11	88,125				
<i>Tratamiento</i>	3	80,264	26,755	27,230	0,0001501	***
<i>Error</i>	8	7,860	0,983			

Nota. Los códigos de significancia son: *** = altamente significativo ($p < 0,001$); ** = muy significativo ($p < 0,01$); * = significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo ($p \geq 0,05$).

Como se observa en la tabla 4, el ANOVA para la variable rendimiento (%) determinó diferencias altamente significativas (***) entre las temperaturas de secado evaluadas, ya que $p < 0,05$. Asimismo, se calculó un promedio de 32,718% y un coeficiente de variación de 3,030%.

Figura 5

Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Rendimiento (%)



Nota. Las letras sobre las barras indican grupos estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0,05$); barras que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Al haber diferencias significativas (tabla 4) entre las temperaturas de secado evaluadas, se realizó la prueba Tukey para identificar entre qué tratamientos existían diferencias estadísticas. Como se observa en la figura 5, para la variable rendimiento (%) se identificó que los tratamientos T3 (70°C) y T4 (80°C) pertenecen al grupo estadístico superior (a), ya que alcanzaron los mayores promedios de rendimiento (%). Por el contrario, los tratamientos T1 (44°C) y T2 (60°C), se ubicaron en el grupo inferior. Esto indica que las temperaturas más altas de secado favorecen a un mayor rendimiento (%) de la harina de huevo.

Los resultados obtenidos de la harina indican que el mayor rendimiento (%) fue en los tratamientos de mayor temperatura, es decir, T3 (70°C) con 35,49% y T4 (80°C) con 35,05%, en comparación con T1 (44°C) con 30,71% y T2 (60°C) 29,62%. Los cuales coinciden con lo

mencionado por Abreha et al. (2021), quienes reportaron rendimientos de harina de huevo entero de entre 22% y 25% al secar en estufa a 44°C por 6 horas, asimismo señalaron que temperaturas más elevadas favorecen a una mayor tasa de evaporación del agua libre y, por lo tanto, una mayor concentración del producto seco. De la misma manera, Akyereko et al. (2025), confirmaron que el método de secado y la temperatura influyen de manera directa sobre el rendimiento de harina elaborada a partir de huevo entero.

Esto se explica por la relación entre la temperatura y la cinética de transferencia de masa, donde a mayor temperatura, aumenta la presión de vapor del agua en la superficie del producto, acelerando la evaporación y reduciendo el tiempo para alcanzar el contenido final de humedad (Fan et al., 2025).

Sin embargo, al no haber diferencias estadísticas entre T3 y T4, sugiere la existencia de un umbral crítico a partir del cual incrementos de temperatura no aportan mayor rendimiento, posiblemente porque la tasa de difusión interna del agua se convierte en el factor limitante del proceso, un fenómeno similar al presentado por Herawati et al. (2024), quienes mencionan que el manejo térmico genera propiedades fisicoquímicas distintas según la homogeneidad del secado.

Por otro lado, el rendimiento (%) significativamente más bajo de T1 (44°C) podría estar relacionado a factores cinéticos y bioquímicos, ya que, al ser una temperatura baja, la presión de vapor es insuficiente para superar la resistencia interna del producto con rapidez. Además, este nivel térmico apenas supera la zona de mayor actividad enzimática del huevo, lo que podría ralentizar la difusión del agua libre activando los procesos que interfieren con la eficiencia de la evaporación (Onwude et al., 2016).

De modo que los resultados demuestran que la temperatura de secado influye de manera directa sobre el rendimiento de la harina de huevo, lo cual se respalda con la bibliografía revisada

y permite afirmar que el incremento de temperatura representa una variable determinante en la eficiencia del proceso de deshidratación.

5.3.2. Proteína Bruta (%)

Para la variable proteína bruta (%), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5

Resultados del ANOVA para la variable Proteína Bruta (%)

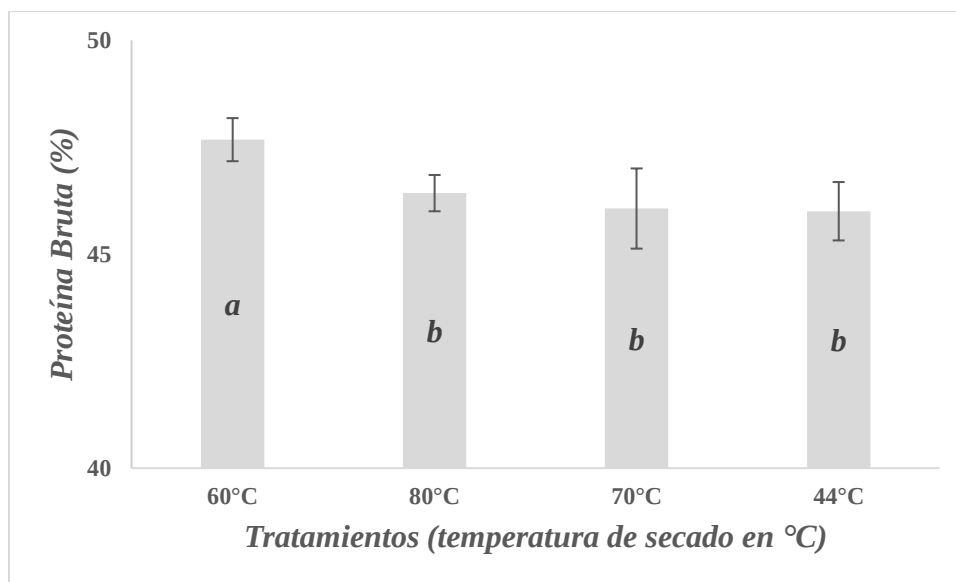
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	3	5,451	1,817	5,232	0,0272904	*
<i>Total corregido</i>	11	8,228				
<i>Tratamiento</i>	3	5,451	1,817	5,232	0,0272904	*
<i>Error</i>	8	2,778	0,347			

Nota. Los códigos de significancia son: *** = altamente significativo ($p < 0,001$); ** = muy significativo ($p < 0,01$); * = significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo ($p \geq 0,05$).

Como se observa en la tabla 5, el ANOVA para la variable proteína bruta (%) determinó diferencias significativas (*) entre las temperaturas de secado evaluadas, ya que $p < 0,05$. Asimismo, se calculó un promedio de 46,547% y un coeficiente de variación de 1,266%.

Figura 6

Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Proteína Bruta (%)



Nota. Las letras sobre las barras indican grupos estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0,05$); barras que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Al haber diferencias significativas (tabla 5) entre las temperaturas de secado evaluadas, se realizó la prueba Tukey para identificar entre qué tratamientos existían diferencias estadísticas. Como se observa en la figura 6, para la variable proteína bruta (%) se identificó que el tratamiento T2 (60°C) pertenece al grupo estadístico superior (a), ya que alcanzó los mayores promedios de proteína bruta (%). Por el contrario, los tratamientos T4 (80°C), T3 (70°C) y T1 (44°C), se ubicaron en el grupo inferior. Esto indica que al usar una temperatura de 60°C favorece la concentración de proteína bruta (%) en comparación con las demás temperaturas evaluadas.

El mayor contenido de proteína bruta se obtuvo en el tratamiento T2 (60°C) con 47,68%, el cual presenta diferencias significativas sobre los demás tratamientos, cuyos valores rondaban entre 46,01% y 46,43%. Estos resultados son coherentes con los rangos reportados por la FEDNA

(s.f.), que establece que la harina de huevo entero contiene generalmente entre 45% y 49% de proteína de alto valor biológico. Por su parte, el menor contenido proteico registrado en T1 (44°C) con 46,01% podría atribuirse a que temperaturas bajas no favorecen la concentración suficiente de los componentes sólidos, dado que la eliminación de humedad es más lenta e incompleta en comparación con temperaturas superiores (Abreha et al., 2021).

Esta tendencia al incremento de contenido proteico coincide con lo mencionado por Olayemi et al. (2016), quienes reportaron que, al elevar la temperatura de secado en estufa de 50°C a 60°C, se produce un aumento significativo en el contenido de proteína cruda, seguido de una disminución en el porcentaje de grasa en muestras de huevo deshidratado. Este comportamiento se relaciona de manera directa a un fenómeno de concentración relativa de los componentes estructurales del alimento debido a la rápida reducción de la parte acuosa.

Sin embargo, la reducción del porcentaje de contenido proteico observado en los tratamientos de temperaturas superiores (70°C y 80°C) sugiere la existencia de un límite térmico. Según Günişik y Tontul (2024), aumentar la temperatura de secado optimiza la concentración de nutrientes hasta cierto umbral, cuando este es superado, el proceso resulta contraproducente. De modo que, la reducción proteica a altas temperaturas se explica por la desnaturalización térmica y la consecuente agregación molecular de las proteínas del huevo, particularmente de la ovoalbúmina, cuya desnaturalización irreversible ocurre a partir de los 80°C (Katekhong y Charoenrein, 2016). Este fenómeno fisicoquímico suele conducir a un deterioro en las propiedades funcionales del producto final, afectando negativamente la actividad emulsificante y la capacidad de rehidratación del polvo (Fan et al., 2025).

En resumen, los resultados demuestran que la temperatura de secado influye de manera directa sobre el contenido proteico de la harina de huevo, evidenciando que los 60°C representan

el punto óptimo de concentración proteica, a partir del cual el incremento de temperatura resulta contraproducente debido a la desnaturalización térmica de las proteínas, lo cual se respalda con la bibliografía revisada.

5.3.3. Grasa (%)

Para la variable grasa (%), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6

Resultados del ANOVA para la variable Grasa (%)

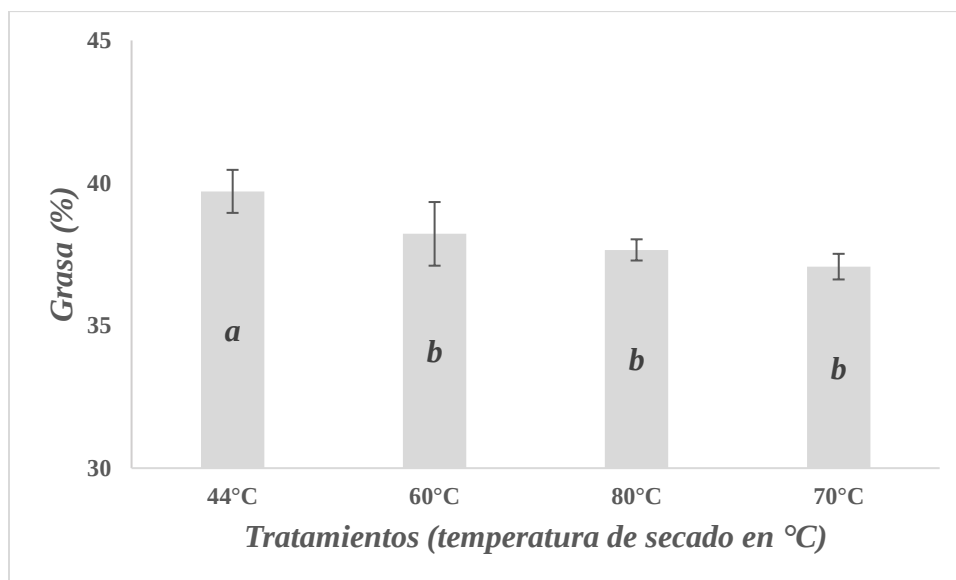
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	3	11,542	3,847	9,142	0,0057916	**
<i>Total corregido</i>	11	14,909				
<i>Tratamiento</i>	3	11,542	3,847	9,142	0,0057916	**
<i>Error</i>	8	3,367	0,421			

Nota. Los códigos de significancia son: *** = altamente significativo ($p < 0,001$); ** = muy significativo ($p < 0,01$); * = significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo ($p \geq 0,05$).

Como se observa en la tabla 6, el ANOVA para la variable grasa (%) determinó diferencias muy significativas (**) entre las temperaturas de secado evaluadas, ya que $p < 0,05$. Asimismo, se calculó un promedio de 38,161% y un coeficiente de variación de 1,700%.

Figura 7

Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Grasa (%)



Nota. Las letras sobre las barras indican grupos estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0,05$); barras que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Al haber diferencias significativas (tabla 6) entre las temperaturas de secado evaluadas, se realizó la prueba Tukey para identificar entre qué tratamientos existían diferencias estadísticas. Como se observa en la figura 7, para la variable grasa (%) se identificó que el tratamiento T1 (44°C) pertenece al grupo estadístico superior (a), ya que alcanzó los mayores promedios de grasa (%). Por el contrario, los tratamientos T2 (60°C), T4 (80°C) y T3 (70°C), se ubicaron en el grupo inferior con menor diferencia significativa. Esto indica que la menor temperatura de secado favorece a que se dé una menor volatilización de lípidos durante el proceso de secado.

El mayor contenido de grasa se registró en el tratamiento T1 (44°C) con 39,71%, disminuyendo de manera progresiva según aumentaba la temperatura hasta T3 (70°C) con 37,07%. Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por la FEDNA (s.f.), para la harina de

huevo entero, el cual establece valores entre 35% y 40% de grasa constituida principalmente por ácidos grasos mono y poliinsaturados, lo cual se relaciona con lo reportado por Olayemi et al. (2016), quienes también observaron una disminución en el contenido de grasa al incrementar la temperatura de secado en muestras de huevo deshidratado.

La tendencia decreciente en el contenido graso a medida que se eleva la temperatura de secado coincide con lo señalado por Javed et al. (2018), quienes mencionaron que la aplicación de tratamientos térmicos moderados o bajos favorece a la preservación de la fracción lipídica, mientras que el incremento de temperatura reduce el contenido total de grasa en los polvos de huevo. Desde una perspectiva bioquímica, este comportamiento se atribuye a fenómenos de degradación térmica y alteraciones estructurales de la base alimentaria; las temperaturas elevadas promueven activamente la oxidación lipídica y la hidrólisis de los triglicéridos (Luo et al., 2023).

Además, el calor excesivo induce la modificación de la estructura de las lipoproteínas propias del huevo, esta ruptura de la estructura lipoproteica es crítica a temperaturas superiores a los 60°C porque desestabiliza los lípidos y disminuye su resistencia oxidativa, provocando la pérdida de ácidos grasos poliinsaturados esenciales como los omega-3 y omega-6 (Javed et al., 2018). Asimismo, la liberación de estos lípidos estructurales facilita su volatilización durante el procesamiento, lo que reduce la fracción final de grasa libre que es factible para ser cuantificada mediante el método analítico de extracción Soxhlet (Abreha et al., 2021).

Cabe destacar que T4 (80°C) con 37,65% no continuó la tendencia decreciente respecto a T3 (70°C) con 37,07%, lo que sugiere que a partir de los 70°C el contenido de grasa tiende a estabilizarse, posiblemente porque la fracción lipídica restante corresponde a lípidos estructurales más resistentes a la degradación térmica (Luo et al., 2023).

En conclusión, los resultados demuestran que la temperatura de secado influye de manera inversa sobre el contenido de grasa de la harina de huevo, lo cual coincide con la bibliografía revisada confirmando que el incremento de temperatura favorece a la degradación y volatilización de los lípidos durante el proceso de deshidratación.

5.3.4. *Materia Seca (%)*

Para la variable materia seca (%), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7

Resultados del ANOVA para la variable Materia Seca (%)

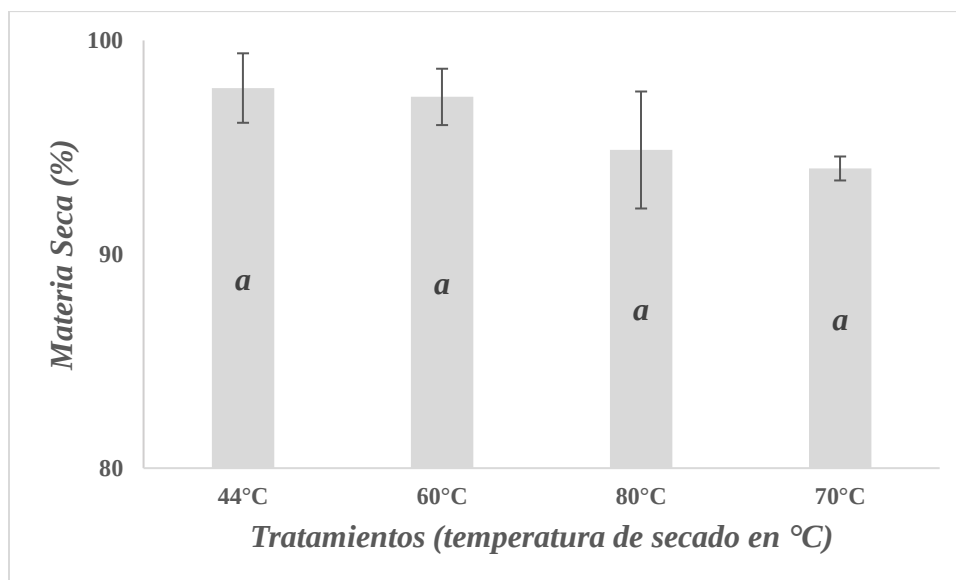
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	3	30,609	10,203	4,294	0,0440926	*
<i>Total corregido</i>	11	49,615				
<i>Tratamiento</i>	3	30,609	10,203	4,294	0,0440926	*
<i>Error</i>	8	19,007	2,376			

Nota. Los códigos de significancia son: *** = altamente significativo ($p < 0,001$); ** = muy significativo ($p < 0,01$); * = significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo ($p \geq 0,05$).

Como se observa en la tabla 7, el ANOVA para la variable materia seca (%) determinó diferencias significativas (*) entre las temperaturas de secado evaluadas, ya que $p < 0,05$. Asimismo, se calculó un promedio de 96,006% y un coeficiente de variación de 1,605%.

Figura 8

Resultados de prueba Tukey para comparación múltiple de promedios en Materia Seca (%)



Nota. Todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo estadístico (a) según la prueba de Tukey ($p < 0,05$), lo que indica que las diferencias determinadas por el ANOVA no son completamente evidentes para distinguir grupos mediante comparación múltiple.

A pesar de que el ANOVA (tabla 7) muestre diferencias significativas entre las temperaturas de secado evaluadas, la prueba Tukey (figura 8) al ser más exigente, no logró clasificar los tratamientos en diferentes grupos. De modo que, se asigna a todos los tratamientos en el mismo grupo, sin embargo, las menores temperaturas de secado T1 (44°C) y T2 (60°C) mostraron promedios ligeramente superiores de materia seca (%) en comparación con las temperaturas mayores de T4 (80°C) y T3 (70°C).

El contenido de materia seca fue influenciado significativamente por la temperatura de secado, los resultados evidenciaron una tendencia decreciente conforme aumentó la temperatura, registrándose el mayor promedio en T1 (44°C) con 97,77%, seguido de T2 (60°C) con 97,36%, T4 (80°C) con 94,88% y T3 (70°C) con 94,01%. Estos porcentajes muestran coherencia con los

rangos reportados por Akyereko et al. (2025), quienes obtuvieron contenidos de materia seca superiores al 90% en polvos de huevo entero procesados por deshidratación térmica, independientemente de la temperatura utilizada. Asimismo, los resultados de T1 y T2 son comparables con los valores de entre 95% y 97,67% reportados por Abreha et al. (2021), para polvo de huevo obtenido mediante secado en estufa y por aspersión.

La disminución progresiva de materia seca a temperaturas más elevadas (70°C y 80°C) se relaciona de manera directa con el fenómeno físico de encostramiento superficial (*case hardening*) como describen Javed et al. (2018), la exposición drástica al calor genera una deshidratación acelerada de la periferia del alimento, consolidando una barrera rígida que taponas los poros y atrapa el agua dentro del producto que está secándose, fenómeno que se relaciona con lo mencionado por Onwude et al. (2016), quienes señalan que la cinética de transferencia de calor a temperaturas elevadas puede generar gradientes de humedad internas que limitan la deshidratación completa del producto. Esta retención interna eleva la humedad residual y por consecuencia reduce el porcentaje final de materia seca.

En resumen, los resultados confirman que la temperatura de secado influye sobre el contenido de materia seca de la harina de huevo, siendo las temperaturas más bajas las que favorecen una mayor deshidratación, fenómeno sustentado con la bibliografía revisada.

5.3.5. Cenizas (%)

Para la variable cenizas (%), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8

Resultados del ANOVA para la variable Cenizas (%)

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	3	1,174	0,391	3,284	0,0793530	ns
<i>Total corregido</i>	11	2,127				
<i>Tratamiento</i>	3	1,174	0,391	3,284	0,0793530	ns
<i>Error</i>	8	0,953	0,119			

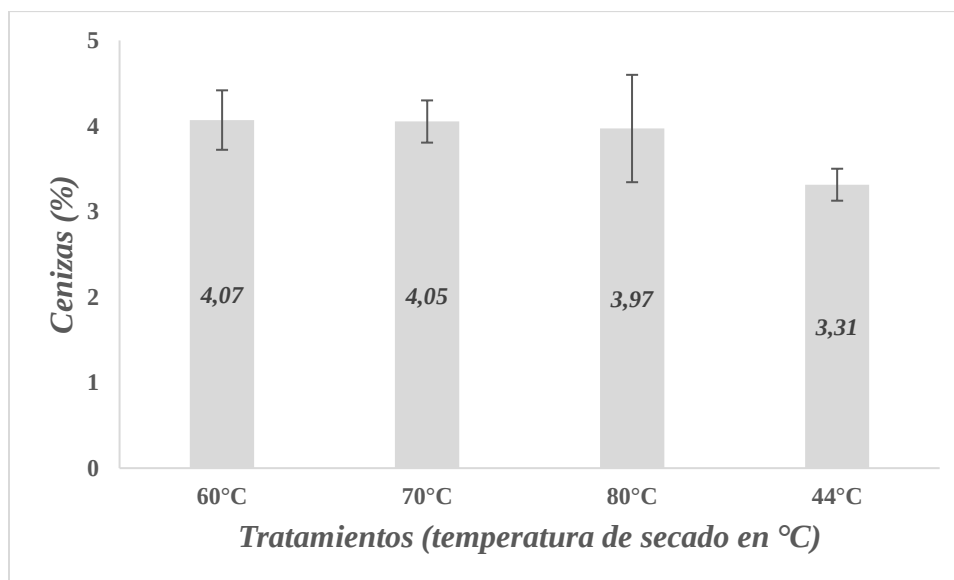
Nota. Los códigos de significancia son: *** = altamente significativo ($p < 0,001$); ** = muy significativo ($p < 0,01$); * = significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo ($p \geq 0,05$).

Como se observa en la tabla 8, el ANOVA para la variable cenizas (%) determinó que no existen diferencias significativas (ns) entre las temperaturas de secado evaluadas, ya que $p > 0,05$.

Asimismo, se calculó un promedio de 3,851% y un coeficiente de variación de 8,963%.

Figura 9

Ordenamiento decreciente de promedios en Cenizas (%)



Nota. No se presentan letras de agrupación dado que el ANOVA no detectó diferencias significativas (ns) entre tratamientos.

Al no haber diferencias significativas (tabla 8) entre las temperaturas de secado evaluadas, no fue necesario realizar la prueba Tukey, aun así, en la figura 9 se observa una ligera superioridad de los tratamientos T2 (60°C), T3 (70°C) y T4 (80°C), los cuales se mantienen en un rango homogéneo de promedios, en comparación con el tratamiento T1 (44°C) que muestra un promedio inferior. Esto indica que las diferentes temperaturas de secado no afectan al contenido mineral de la harina.

El contenido de cenizas no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se registraron medias experimentales entre 3,31% (T1) y 4,07% (T2). Es importante señalar que, si bien el huevo fue sometido a diferentes temperaturas de secado (44°C–80°C) durante la obtención de la harina, la determinación de cenizas se realizó mediante incineración en mufla a 550°C según Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2016), la temperatura

de la mufla provoca que los minerales se volatilicen de manera uniforme independientemente del tratamiento térmico previo, de modo que la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos era estadísticamente esperada, ya que el proceso de calcinación en mufla homogenizó cualquier efecto previo de la temperatura de secado.

Estos valores tienen consistencia con lo reportado por Akyereko et al. (2025), quienes exponen contenidos de ceniza entre 2,8% y 4,3% en polvos de huevo procesados por diferentes métodos, concluyendo que las variaciones no dependen exclusivamente de la temperatura utilizada durante el proceso de secado. Este mismo argumento fue documentado por Olayemi et al. (2016) y Abreha et al. (2021), quienes confirmaron que ni el incremento térmico en estufa ni la variación entre técnicas de deshidratación (horno frente a aspersion) afectan de forma significativa la concentración mineral total del producto deshidratado.

Por otra parte, el desacuerdo evidenciado con investigaciones como la de Herawati et al. (2024), quienes obtuvieron un contenido de cenizas de 7,04% mediante liofilización en harina de huevo de gallina de raza Árabe, no responde al factor térmico, sino a variables de origen. Esta diferencia se relaciona principalmente a la variabilidad en la composición mineral basal condicionada por el genotipo.

En conclusión, los resultados confirman que la temperatura de secado no representa un factor determinante en el contenido de cenizas de la harina de huevo, dado que los minerales son compuestos estables que no se ven afectados por el rango térmico evaluado, lo cual se valida con la bibliografía revisada.

5.3.6. Energía Bruta (kcal/kg)

Para la variable energía bruta (kcal/kg), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9

Resultados del ANOVA para la variable Energía Bruta (kcal/kg)

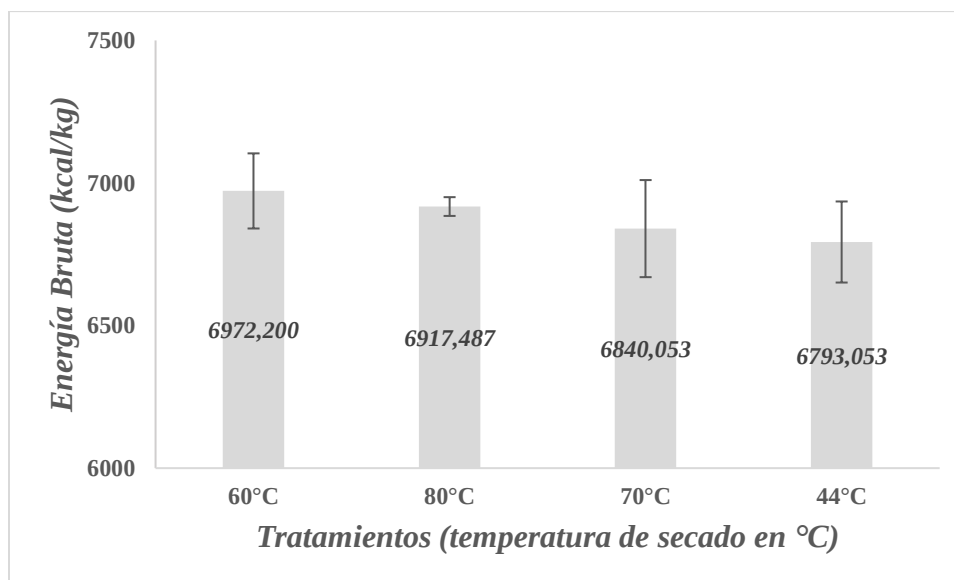
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Modelo</i>	3	57178,796	19059,599	1,444	0,3006852	ns
<i>Total corregido</i>	11	162802,133				
<i>Tratamiento</i>	3	57178,796	19059,599	1,444	0,3006852	ns
<i>Error</i>	8	105623,337	13202,917			

Nota. Los códigos de significancia son: *** = altamente significativo ($p < 0,001$); ** = muy significativo ($p < 0,01$); * = significativo ($p < 0,05$); ns = no significativo ($p \geq 0,05$).

Como se observa en la tabla 9, el ANOVA para la variable energía bruta (kcal/kg) determinó que no existen diferencias significativas (ns) entre las temperaturas de secado evaluadas, ya que $p > 0,05$. Asimismo, se calculó un promedio de 6880,698kcal/kg y un coeficiente de variación de 1,670%.

Figura 10

Ordenamiento decreciente de promedios en Energía Bruta (kcal/kg)



Nota. No se presentan letras de agrupación dado que el ANOVA no detectó diferencias significativas (ns) entre tratamientos.

Al no haber diferencias significativas (tabla 9) entre las temperaturas de secado evaluadas, no fue necesario realizar la prueba Tukey, ya que todos los tratamientos se mantienen en un rango homogéneo de promedios. Esto indica que las diferentes temperaturas de secado no modifican el contenido energético de la harina.

El contenido de energía bruta no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, dando como resultado valores entre 6793 y 6972 kcal/kg. Esta estabilidad coincide con lo reportado por Abreha et al. (2021), quienes determinaron que el valor energético de los polvos de huevo entero se mantiene similar entre distintos métodos de secado.

De igual manera, los valores obtenidos superan los estándares de referencia para el huevo en polvo que concuerdan con los valores reportados por Younas et al. (2025), quienes señalan que los subproductos del huevo concentran elevadas proporciones de proteínas de alto valor biológico

y lípidos totales tras el procesamiento térmico. Esta diferencia respecto al huevo fresco se explica por la deshidratación ocurrida durante el secado, la cual concentra la fracción nutritiva en la harina (Fan et al., 2025), sumado a que trabajar con una masa homogénea maximiza la densidad de nutrientes al excluir subproductos como la cáscara.

De modo que los resultados confirman que la temperatura de secado no modifica el contenido energético de la harina de huevo, lo cual se sustenta con la bibliografía revisada y sugiere que la energía bruta del producto depende principalmente de su composición en macronutrientes y no del tratamiento térmico aplicado durante el secado.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista microbiológico, los cuatro tratamientos de secado evaluados eliminaron en su totalidad la *Salmonella spp.* en la harina obtenida. Este resultado confirma la inocuidad microbiológica del producto obtenido bajo todas las temperaturas evaluadas, lo que apoya su potencial uso como ingrediente en la formulación de alimentos balanceados para animales.

Con respecto al rendimiento de la harina, la temperatura de secado tuvo un efecto altamente significativo sobre esta variable ($p < 0,001$). Los tratamientos T3 (70°C) y T4 (80°C) registraron los valores más elevados, con 35,49% y 35,05% respectivamente, sin diferencias estadísticas entre estos, lo que indica que 70°C representa una temperatura óptima para maximizar el rendimiento por unidad de materia prima, sin necesidad de incrementar la temperatura para un resultado más elevado.

En relación con el contenido de proteína bruta, la temperatura de secado influyó significativamente sobre esta variable ($p < 0,05$). El tratamiento T2 (60°C) generó el mayor contenido proteico con 47,68%, superando estadísticamente a los demás tratamientos, lo que sugiere que esta temperatura preserva de mejor manera la integridad de la fracción proteica al evitar procesos de desnaturalización que se intensifican a temperaturas superiores, y a su vez garantiza una deshidratación completa del producto.

En el contenido de grasa se observó una disminución progresiva y significativa conforme aumentó la temperatura de secado ($p < 0,01$), relacionado a fenómenos de oxidación lipídica y volatilización de ácidos grasos libres durante el procesamiento. A pesar de eso, los valores

obtenidos en todos los tratamientos se mantuvieron dentro de rangos de referencia establecidos por la FEDNA (s.f.) para harina de huevo entero, confirmando la calidad grasa del producto.

El contenido de cenizas y la energía bruta no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, demostrando una estabilidad térmica de la fracción mineral y el valor energético de la harina obtenida frente a los rangos de temperatura evaluados.

Considerando el equilibrio entre las variables evaluadas, se establece que las temperaturas de 60°C y 70°C representan las condiciones óptimas de procesamiento para obtener tanto la eficiencia en el rendimiento como la preservación de la calidad nutricional, especialmente del contenido proteico. Los resultados obtenidos apoyan la utilización de los huevos de desecho de incubadora como un ingrediente proteico de alta calidad para la formulación de alimentos balanceados para animales, relacionándose con los principios de la economía circular aplicada a los sistemas de producción pecuarios.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en la investigación realizada, se recomienda evaluar el efecto del tiempo de secado como variable independiente adicional mediante un diseño factorial que combine temperatura y tiempo, con el fin de identificar la combinación idónea que maximice el rendimiento sin afectar a la calidad nutricional, considerando las temperaturas de 60°C y 70°C identificadas como las óptimas en esta investigación.

Con respecto al contenido de proteína bruta, se recomienda ampliar el análisis hacia la determinación del perfil de aminoácidos esenciales y la digestibilidad proteica *in vitro* de la harina, con el objetivo de establecer su valor nutricional real y validar su inclusión como ingrediente en dietas para animales o como suplemento proteico de origen avícola.

En relación con la inocuidad microbiológica, si bien se confirmó la ausencia de *Salmonella spp.* en todos los tratamientos, se recomienda ampliar el análisis microbiológico incluyendo recuento de enterobacterias (*E. coli* y *Shigella spp.*) y hongos, con el objetivo de establecer un perfil microbiológico completo que asegure la inocuidad del producto bajo cada temperatura de secado evaluada.

Finalmente, desde una perspectiva de viabilidad productiva, se recomienda realizar un análisis de costos del proceso de secado a las temperaturas estudiadas, incluyendo el consumo energético por kilogramo de harina producida para determinar cuál es el tratamiento económicamente más eficiente para su implementación a escala industrial.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanikannda, O. T. F., Olutogun, O., Leigh, A. O., y Ajayi, L. A. (2007). Statistical modeling of egg weight and egg dimensions in commercial layers. *International Journal of Poultry Science*, 6(1), 59–63. <https://doi.org/10.3923/ijps.2007.59.63>
- Abeyrathne, E. D. N. S., Lee, H. Y., y Ahn, D. U. (2013). Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry Science*, 92(12), 3292–3299. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03391>
- Abreha, E., Getachew, P., Laillou, A., Chitekwe, S., y Baye, K. (2021). Physico-chemical and functionality of air and spray dried egg powder: implications to improving diets. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 152–162. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1867569>
- Akpınar, E. K. (2006). Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 864–870. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.014>
- Akyereko, Y. G., Edusei, V. O., Adu, M., Anim, S. O., Yeboah, G. B. y Wireko-Manu, F. D. (2025). Nutritional and physico-chemical properties of egg powder are affected by different drying methods. *Food Agricultural Sciences and Technology (FAST)*, 11(1), 17–34. <https://www.researchgate.net/publication/392710641>
- Anton, M. (2007). *Composition and structure of hen egg yolk*. Springer Berlin Heidelberg.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official methods of analysis of AOAC International* (20.a ed.). AOAC International.

- Baş, D., y Boyacı, İ. H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 836-845. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024>
- Bermudez-Aguirre, D., y Niemira, B. A. (2023). A review on egg pasteurization and disinfection: Traditional and novel processing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 23–63. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13088>
- Bermudez-Aguirre, D., Boyd, G., Uknalis, J., y Niemira, B. A. (2024). Thermal resistance of avirulent *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in albumen, yolk, and liquid whole egg. *ACS Food Science & Technology*, 4, 2047–2057. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00108>
- Bourdoux, S., Li, D., Rajkovic, A., Devlieghere, F., y Uyttendaele, M. (2016). Performance of drying technologies to ensure microbial safety of dried fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12224>
- Boye, J., Wijesinha-Bettoni, R., y Burlingame, B. (2012). Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S183-S211. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002309>
- Cabanillas, L. M., Silva, M. A. da, Marinsaldi, A., y Bernardi, M. E. (2023). Interferencia de heparina en la determinación de proteínas totales por el método de Bradford. *Revista Científica ANMAT*, 4, e40-e40. <https://doi.org/10.62035/rca.4.40>
- Castro-Alvarado, H., Davidovich-Young, G., & Wong-González, E. (2023). Quality, during storage, of chicken eggs (*Gallus gallus domesticus*) coated with oil. *UNED Research Journal*, 15(2), e4685. <https://doi.org/10.22458/urj.v15i2.4685>

- Castro Fuentes, D. A., Molina Estrella, M. I., Guamán Guevara, M. D., y Vizuite Muñoz, J. M. (2025). Desarrollo sostenible impulsado por la economía circular: Una mirada al sector avícola. *UTC Prospectivas: Revista de Ciencias Administrativas y Económicas*, 8(2), 1–12. <https://doi.org/10.61236/utcprospectivas.v8i2.1119>
- Chávez, M. C., Rodríguez, E. P., y Armas, G. G. (2024). Causas de desvíos normales del proceso de incubación: Principales patologías. *Revista Ciencia Universitaria*, 22, e10. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/cu/article/view/2005>
- Csurka, T., Varga-Tóth, A., Kühn, D., Hitka, G., Badak-Kerti, K., Alpár, B., Surányi, J., Friedrich, L. F., y Pásztor-Huszár, K. (2022). Comparison of techno-functional and sensory properties of sponge cakes made with egg powder and different quality of powdered blood products for substituting egg allergen and developing functional food. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.979594>
- Doymaz, İ. (2012). Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.). *Energy Conversion and Management*, 56, 199-205. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.027>
- Enciso Martínez, Y. E., Ballesteros Monrreal, M. G., Díaz Murrieta, B., y Méndez Pfeiffer, P. A. (2025). Enemigos ocultos en los alimentos: *Escherichia coli* y *Salmonella*. *INVURNUS*, 20(1). <https://doi.org/10.46588/invurnus.v20i1.128>
- Erbay, Z., y Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441-464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>

- Ertekin, C., y Firat, M. Z. (2017). A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 701-717. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493>
- Esri. (2023). *ArcGIS Pro* (versión 3.1.0) [Software]. Esri Inc. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- Fan, X., Salama, M., Zhang, Y., Ali, S., Sun, Y., Song, Y., Sun, Y., Shan, Y., Jin, H., y Sheng, L. (2025). Egg powder: Constraints, methods of enhancing functional properties and innovative applications. *Trends in Food Science & Technology*, 163, 105083. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105115>
- Fellows, P. J. (2022). *Food processing technology: Principles and practice* (5.a ed.). Woodhead Publishing.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (s.f.). *Harina de huevo*. Recuperado el 12 de abril de 2026, de https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-huevo
- Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- Getachew, M., y Mosneh, A. (2024). Basic laboratory manual: Analysis of animal feed and physical evaluation. *International Journal of Bioorganic Chemistry*, 9(2), 33-44. <https://doi.org/10.11648/j.ijbc.20240902.14>
- Gomes, M. y Pelegrine, D. (2012). Solubility of egg white proteins: Effect of pH and temperature. *International Journal of Food Engineering*, 8(3). <https://doi.org/10.1515/1556-3758.2847>

- Gómez-Alvarez, L. M., y Zapata Montoya, J. E. (2024). Effect of fortification with CaCO₃ nanoparticles obtained from eggshell on the physical and sensory characteristics of three food matrices. *Heliyon*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24442>
- Günişik, A., y Tontul, I. (2024). Effect of foaming and drying temperature on the physical, chemical, and functional properties of egg white powders produced using refractance window drying. *Drying Technology*, 42(11), 1698–1708. <https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2385808>
- Herawati, E. R. N., Febrisiantosa, A., Ningrum, A., y Santoso, U. (2024). Physicochemical and functional characteristics of egg white powder as affected by pre-treatment and drying methods. *Food Research*, 8(5), 114–124. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(5\).178](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(5).178)
- Herrera, B. Y., y Jabib, R. L. (2015). Salmonelosis, zoonosis de las aves y una patogenia muy particular. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(1), 1–19. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63638739002.pdf>
- Hunton, P. (2005). Research on eggshell structure and quality: An historical overview. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 7, 67-71. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2005000200001>
- Ikusika, O. O., Dwakasa, H., Luphuzi, S., Akinmoladun, O. F., & Mpendulo, C. T. (2025). Assessment of egg quality across seasons, storage durations, and temperatures in commercial laying hens. *Applied Sciences*, 15(19), 10344. <https://doi.org/10.3390/app151910344>
- Javed, A., Imran, M., Ahmad, N., y Hussain, A. I. (2018). Fatty acids characterization and oxidative stability of spray dried designer egg powder. *Lipids in Health and Disease*, 17(1), 282. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0931-1>

- Katekhong, W., y Charoenrein, S. (2016). Color and gelling properties of dried egg white: Effect of drying methods and storage conditions. *International Journal of Food Properties*, 20(9). <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1233429>
- Krokida, M. K., y Maroulis, Z. B. (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15(10), 2441-2458. <https://doi.org/10.1080/07373939708917369>
- Lanza, J. G., Churión, P. C., y Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *Saber*, 28(2), 245–249. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000200007
- Lumivero. (2023). *XLSTAT statistical software* (versión 2023.2.0.1411, edición gratuita) [Software]. <https://www.xlstat.com>
- Luo, W., Liu, X., Wang, B., Wu, D., Wang, J., y Geng, F. (2023). Quantitative lipidomics analysis of changes in egg yolk lipids during spray-drying and subsequent accelerated storage. *Current Research in Food Science*, 6, 100503. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100503>
- Madrigal-Portilla, J., Salas-Durán, C., y Macaya-Quirós, S. (2023). Effect of temperature and storage time on hen egg quality. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), 51223. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51223>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., y Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Mamani, M., Miranda, R., López, M. A., Yujra, E., López, M., & Chuquimia, A. (2020). Validación del método Kjeldahl en la determinación del Nitrógeno Mineral, mediante el

- uso de Cloruro Potasio. *Apthapi*, 6(2), 1917-1925. Recuperado a partir de <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/60>
- Mariotti, F., Tomé, D., y Mirand, P. P. (2008). Converting nitrogen into protein—beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2), 177-184. <https://doi.org/10.1080/10408390701279749>
- Mayor, L., y Sereno, A. M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00144-4)
- Microsoft Corporation. (2023). *Microsoft Excel* (Microsoft 365, compilación 16.0.19127) [Software]. <https://www.microsoft.com/microsoft-365/excel>
- Mirabella, N., Castellani, V., y Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- Morillo Robles, C., Briones García, J. I., Segovia Cáceres, S., y Toledo Castillo, N. del R. (2023). Degradación de los componentes químicos presentes en los alimentos por influencia de la temperatura. *Polo del Conocimiento*, 8(8), 1736–1753. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9152379.pdf>
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2014). *Handbook of Industrial Drying* (4.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17208>
- National Research Council [NRC]. (1994). *Nutrient requirements of poultry* (9.^a ed.). National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/2114>
- Olayemi, F., Ade, A., Abel, G., Adetunji, C., Ogunjirin, O., y Omopariola, F. (2016). Effect of drying temperatures on the proximate composition and sensory attributes of chicken

- egg. *Journal of Agricultural Research and Development*, 14(2), 47–55.
<https://doi.org/10.4314/jard.v14i2.5>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., y Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). *Producción y sanidad animal*. <https://www.fao.org/animal-production/es>
- Pirkwieser, P., Grosshagauer, S., Dunkel, A., Pignitter, M., Schneppe, B., Kraemer, K., y Somoza, V. (2022). Evaluation of spray-dried eggs as a micronutrient-rich nutritional supplement. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.984715>
- Rahman, M. S. (Ed.). (2007). *Handbook of food preservation* (2.^a ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781420017373>
- Ramírez-Crespo, L. M., Cortés-Rodríguez, M., y Micanquer-Carlosama, A. (2022). El huevo de gallina y su procesamiento industrial: una revisión. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 221–239.
<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1438>
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering, Drying*, 49(4), 311-319. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)
- Razi, S. M., Fahim, H., Amirabadi, S., y Rashidinejad, A. (2023). An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 135, 108183. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108183>
- Ruano Uscategui, D. C., Ciro Velásquez, H. J., & Sepulveda Valencia, J. U. (2018). Estudio cinético de algunas características de calidad de un producto en polvo obtenido mediante

- secado por aspersión a partir de jugo de caña panelera y concentrado proteico de lactosuero dulce. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 127–140. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018012>
- Sagar, V. R., y Suresh Kumar, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15-26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>
- Solanilla Duque, J. F., Bravo Gómez, J. E., y Roa Acosta, D. F. (2022). *Fundamentos de interacciones intermoleculares de proteínas de interés industrial*. Editorial Universidad del Cauca.
- Tian, Y., Lv, X., Oh, D.-H., Kassem, J. M., Salama, M., y Fu, X. (2024). Emulsifying properties of egg proteins: Influencing factors, modification techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), e70004. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70004>
- Van Zanten, H. H. E., Herrero, M., Van Hal, O., Rööß, E., Muller, A., Garnett, T., Gerber, P. J., Schader, C., y De Boer, I. J. M. (2018). Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Global Change Biology*, 24(9), 4185-4194. <https://doi.org/10.1111/gcb.14321>
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., y Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>

- Vivas Saltos, H. T., y Vélez Velazco, A. J. (2023). Huella de carbono generada por la producción de huevos. Caso: granja avícola Velasco, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*, 17(1), 427-432. <https://doi.org/10.53591/cna.v17i1.2151>
- Wang, B., Wang, P., Xu, X., y Zhou, G. (2022). Structural transformation of egg white protein particles modified by preheating combined with pH-shifting: Mechanism of enhancing heat stability. *LWT*, 170, 114114. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114114>
- Wu, G. (2016). Dietary protein intake and human health. *Food & Function*, 7(3), 1251-1265. <https://doi.org/10.1039/C5FO01530H>
- Younas, K., Afzaal, M., Saeed, F., Shankar, A., Kumar Bishoyi, A., Khare, N., Imran, A., Mahmood, K., Amhed, A., Asghar, A., Samar, N., Rasheed, M., y Islam, F. (2025). A mini-review on egg waste valorization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(5), 2748-2754. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13953>

ANEXOS

Anexo 1. Recolección y colado de la materia prima.



Anexo 2. Proceso de secado en estufa y posterior molienda.



Anexo 3. Proceso de determinación de contenido proteico.



Anexo 4. Proceso de determinación de contenido graso.



Anexo 5. Proceso de determinación de contenido de cenizas.

Anexo 6. Tabla de entrada de datos para el desarrollo del modelo estadístico.

Tratamiento	Repetición	% Rendimiento	% Materia Seca	% Proteína Bruta	% Grasa	% Cenizas	Energía Bruta (kcal/kg)
1	1	31,630	96,220	45,490	39,070	3,130	6658,130
1	2	30,310	99,050	46,670	40,400	3,450	6906,620
1	3	30,190	98,050	45,860	39,650	3,360	6814,410
2	1	29,300	97,940	48,120	39,320	4,313	6978,840
2	2	28,570	96,020	47,230	37,910	3,724	6852,600
2	3	30,990	98,120	47,690	37,420	4,170	7085,160
3	1	34,850	93,890	46,800	37,200	4,114	6842,840
3	2	36,830	91,660	46,240	36,620	4,233	6688,240
3	3	34,800	96,490	45,170	37,380	3,810	6989,080
4	1	35,180	94,390	46,800	37,290	4,611	6895,000
4	2	35,610	95,380	46,440	37,740	3,661	6950,350
4	3	34,350	94,860	46,050	37,930	3,640	6907,110