

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



TESIS

Evaluación de la densidad nutricional en el rendimiento productivo y la calidad de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown, Abancay-Apurímac, 2023

Presentado por:

Eyner Eduardo Torres Aquino

Para optar el Título de Médico Veterinario y Zootecnista

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



TESIS

“Evaluación de la densidad nutricional en el rendimiento productivo y la calidad de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown, Abancay-Apurímac, 2023”

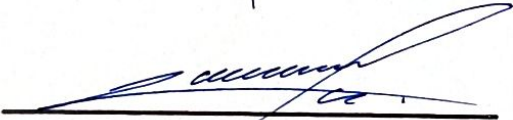
Presentado por **Eyner Eduardo Torres Aquino**, para optar el Título de:
Médico Veterinario y Zootecnista

Sustentado y aprobado el 08 de febrero del 2024 ante el jurado evaluador:

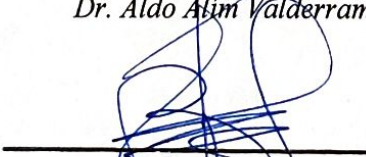
Presidente:


Dr. Víctor Alberto Ramos De la Riva

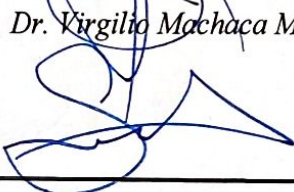
Primer Miembro:


Dr. Aldo Alim Valderrama Pomé

Segundo Miembro:


Dr. Virgilio Machaca Machaca

Asesor:


Mg. Sc. Jhonatan Steve Inca Moreano



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA
BASTIDAS DE APURÍMAC

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD **Nº 016-2024**

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia declara que, la Tesis intitulada **“Evaluación de la densidad nutricional en el rendimiento productivo y la calidad de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown”**, presentado por el **Bach. Eyner Eduardo, TORRES AQUINO**, para optar el Título de **Médico Veterinario y Zootecnista**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software COMPILATIO (MAGISTER), siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 06 de febrero del 2024

Atentamente,

Dr. Virgilio Machaca Machaca
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

C. c:
Archivo
REG. Nº 16
Archivo



Agradecimiento

A la Universidad Micaela Bastidas de Apurímac, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, a todos los docentes quienes con sus enseñanzas impartidas lograron mi formación profesional.

A mi asesor Ing. Mg. Sc. Jhonatan Steve Inca Moreano y así como también a mi familia que me apoyo, haciendo posible la conclusión de mis objetivos.



Dedicatoria

A Dios y a la Virgen María por acompañarme e iluminarme en cada momento de mi vida.

A mis padres Edwin Torres Valenzuela y Sonia Aquino Abarca por su apoyo incondicional y la confianza que depositaron en mí para la culminación de este trabajo.



“Evaluación de la densidad nutricional en el rendimiento productivo y la calidad de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown”

Línea de investigación: Ciencias Veterinarias

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.2.3 Justificación de la investigación	6
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.2.1 Objetivo general	7
2.2.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.3 Hipótesis general	7
2.2.4 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes	9
3.2. Marco teórico	14
3.2.1. Gallina ponedora	14
3.2.2. Densidad nutricional	16
3.2.3. Energía	17
3.2.4. Proteína y aminoácidos	17
3.3. Marco conceptual	18
CAPÍTULO IV	20
METODOLOGÍA	20
4.1 Tipo y nivel de investigación	20



4.2	Diseño de la investigación	20
4.3	Población y muestra	20
4.3.1.	Población	20
4.3.2.	Muestra	21
4.4	Tratamientos	21
4.5.	Técnicas e instrumentos	23
4.5.1.	Técnicas	23
4.5.2.	Instrumentos	26
4.6.	Análisis estadístico	26
CAPÍTULO V		27
RESULTADOS Y DISCUSIONES		27
5.1	Análisis de resultados	27
5.1.1	Estadística descriptiva de los datos	27
5.1.2	Prueba de normalidad y homocedasticidad de los resultados	29
5.1.3	Rendimiento productivo	31
5.1.4	Calidad de huevo	31
5.2	Discusión	35
5.2.1.	Rendimiento productivo	35
5.2.2.	Calidad de huevo	36
CAPÍTULO VI		39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		39
6.1	Conclusiones	39
6.2	Recomendaciones	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		40
ANEXOS		46

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Operacionalización de variables.....	8
Tabla 2.	Fases en la producción de gallinas ponedoras.....	16
Tabla 3.	Dietas experimentales para gallinas ponedoras de 45 semanas de edad.....	22
Tabla 4.	Composición nutricional de las dietas experimentales para gallinas ponedoras de 45 semanas de edad.....	23
Tabla 5.	Estadística descriptiva de las variables en estudio.....	28
Tabla 6.	Análisis de normalidad y homogeneidad de varianza de las variables evaluadas.....	30
Tabla 7.	Efecto de la densidad nutricional sobre el rendimiento productivo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.....	32
Tabla 8.	Efecto de la densidad nutricional sobre la calidad externa de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.....	33
Tabla 9.	Datos obtenidos en motilidad total por concentración de tris yema de huevo, Efecto de la densidad nutricional sobre la calidad interna de huevo (clara) de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.....	34
Tabla 10.	Efecto de la densidad nutricional sobre la calidad interna de huevo (yema) de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Producción de huevo de gallina para consumo – Perú	15
Figura 2. Pesado de los ingredientes para la preparación de dietas experimentales ...	47
Figura 3. Mezclado de ingredientes para la preparación de dietas experimentales siguiendo el protocolo de mezclado según la guía de procesamiento de alimentos balanceados.....	47
Figura 4. Galpón donde se construyó las jaulas para la crianza de las aves.....	48
Figura 5. Elaboración de jaulas para la crianza de las aves.....	48
Figura 6. Pesado de las aves seleccionadas que participaran en el estudio realizado...	49
Figura 7. Adaptación de las aves en las jaulas.....	49
Figura 8. Limpieza de los comederos y bebederos.....	50
Figura 9. Las dietas experimentales y su tratamiento.....	50
Figura 10. Toma de muestras para análisis de la calidad de huevo.....	51
Figura 11. Determinación del peso de huevo en la prueba de calidad de huevo.....	51
Figura 12. Determinación de la calidad de huevo.....	52

INTRODUCCIÓN

La avicultura nacional presenta un considerable desarrollo durante la última década, este desarrollo se refleja en el incremento del consumo per cápita de los principales productos derivados de la producción de aves (carne de pollo y huevo de gallina). El huevo de gallina es considerado como el alimento más completo, debido a la composición nutricional (energía, proteínas, minerales y vitaminas). Además, el huevo de gallina tiene un precio relativamente bajo en comparación a otras fuentes de proteína para el consumo humano, razón por la que es la principal fuente proteica de las sociedades en vías de desarrollo económico ¹.

La densidad nutricional indica la concentración de los nutrientes en los alimentos, los alimentos son clasificados mediante su composición nutricional para promover la salud, evitar las enfermedades carenciales ² y mantener una producción eficiente en los animales. En la formulación de raciones para aves se deben considerar conjuntamente los cambios en las concentraciones de energía y aminoácidos (proteína total), debido a que pueden generarse alteraciones en la deposición de nutrientes en el tejido (por ejemplo, almacenamiento de energía), ocasionando complicaciones metabólicas que compromete la salud y eficiencia productiva del ave ³. En dietas para aves, cuando se realizan modificaciones (incrementos) en la proporción de aminoácidos de forma independiente, puede incrementar la utilización de las fuentes de energía ^{4,5} que se asocia directamente con problemas en la productividad del ave.

Estudios previos encontraron que alimentar gallinas ponedoras que tienen bajo consumo de alimento con dietas de alta densidad nutricional puede mejorar el consumo de nutrientes ⁶. Por su parte, las dietas con baja densidad nutricional, por lo general, tienen un precio reducido en comparación a dietas con alta densidad nutricional ⁷, favoreciendo los indicadores productivos en gallinas de postura. Por lo tanto, es necesario revisar la densidad nutricional para mantener la eficiencia productiva y seguridad alimentaria de gallinas ponedoras.

En razón a lo mencionado previamente, la presente investigación evaluará diferentes densidades nutricionales en la alimentación de gallinas ponedoras con el objeto de evaluar el rendimiento productivo y la calidad de huevo, permitiendo obtener las proporciones adecuadas para la formulación de raciones en gallinas ponedoras.



RESUMEN

Se evaluaron dietas con diferentes densidades nutricionales sobre el rendimiento productivo y la calidad de huevo de gallinas ponedoras durante la fase intermedia de postura. Se asignaron 60 gallinas ponedoras de la línea Hy-Line Brown de 45 semanas de edad a 3 tratamientos, cada tratamiento tenía 4 repeticiones y cada repetición contaba con 5 aves. Los tratamientos consistían en dietas con diferente densidad nutricional: densidad nutricional baja (DNB), densidad nutricional media (DNM o dieta control) y densidad nutricional alta (DNA). Las gallinas fueron alimentadas durante 4 semanas, primera semana fue la fase pre-experimental (fase de adaptación de las aves a las dietas) y de la segunda a cuarta semana fue la etapa experimental (fase de evaluación). Se evaluó el rendimiento productivo (consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia) y calidad de huevo (características externas e internas de 49 huevos). Se determinó la estadística descriptiva de los datos y utilizó el diseño completamente aleatorizado. Se evaluó la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos con Anderson Darling y Levene, respectivamente. La estadística paramétrica se evaluó utilizando la prueba de ANOVA, mientras que las pruebas no paramétricas fueron analizadas mediante la prueba de Kruskal-Wallis. No se encontraron diferencias significativas entre dietas con diferente densidad nutricional para consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia ($P > 0.05$). Los tratamientos (DNB, DNM y DNA) no presentaron efectos ($P > 0.05$) sobre las características de calidad externa de huevo (peso de huevo, largo de huevo, ancho de huevo, área superficial de huevo e índice de forma de huevo). El peso de cáscara, grosor de cáscara y peso de cáscara por unidad superficial fueron superiores con las dietas DNB y DNM en comparación a la dieta DNA ($P = 0.003$, $P = 0.017$ y $P = 0.031$, respectivamente). Casi todas las características de calidad de clara no fueron afectadas por la densidad nutricional de las dietas ($P > 0.05$); sin embargo, el largo de clara densa fue mayor con la dieta control (DNM) en relación a las dietas DNB y DNA ($P = 0.049$). No se reportaron diferencias significativas entre tratamientos para las características de calidad de yema ($P > 0.05$). Gallinas ponedoras alimentadas con dietas de densidades nutricionales baja (DNB) y media (DNM) mejoran la integridad de la cáscara (mayor peso y grosor de cáscara) durante la fase intermedia de postura (45 semanas de edad).

Palabras clave: Gallinas ponedoras, densidad nutricional, rendimiento productivo, calidad de huevo.



ABSTRACT

Different nutrient density diets were evaluated on productive performance and egg quality of laying hens during mid-lay phase. Sixty Hy-Line Brown laying hens of 45 weeks of age were assigned to three treatments, each treatment had four repetitions, and each repetition had five birds. Treatments consisted in different nutrient density diets: low nutrient density (LND), medium nutrient density (MND or control diet), and high nutrient density (HND). Hens were fed for four weeks, first week was pre-experimental phase (adaptation phase of birds to diets) and from second to fourth week was experimental phase (evaluation phase). Productive performance (feed intake, egg production, egg mass, and feed conversion ratio) and egg quality (external and internal characteristics of forty-nine eggs) were assessed. Descriptive statistic of the data was determined and a completely randomized design was used. Normality and homogeneity of variance of the data was assessed with Anderson Darling test and Levene test, respectively. Parametric statistic was evaluated with ANOVA test; meanwhile, nonparametric statistic was analyzed with Kruskal-Wallis. Not significant differences were found between diets with distinct nutrient density on feed intake, egg production, egg mass, and feed conversion ratio ($P > 0.05$). Treatments (LND, MND, and HND) not presented effects ($P > 0.05$) on external egg quality characteristics (egg weight, egg length, egg width, egg superficial area, and egg shape index). Eggshell weight, shell thickness, and eggshell weight superficial unit were superior with LND and MND diets in comparison HND diet ($P = 0.003$, $P = 0.017$, and $P = 0.031$, respectively). Almost all albumen quality characteristics were not affected because of nutrient density diets ($P > 0.05$); however, dense albumen length were higher with control diet (MND) related to LND and HND diets ($P = 0.049$). Significant differences were not reported between treatments for yolk quality characteristics ($P > 0.05$). Laying hens fed with low nutrient density (LND) and medium nutrient density (MND) diets improved integrity of the eggshell (higher eggshell weight and eggshell thickness) during mid-lay phase (45 weeks of age).

Keywords: Laying hens, nutrient density, productive performance, egg quality.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La suplementación de alimento para gallinas de postura representa el costo más significativo en la producción de huevo, por lo que las dietas deben estar formuladas exactamente para alcanzar los requerimientos nutricionales ⁸; además, estas dietas deben ser formuladas para asegurar la máxima postura de huevo ⁹. Los desbalances nutricionales son uno de los principales problemas cuando se quiere alcanzar la máxima eficiencia productiva y la correcta salud de las especies de interés zootécnico ¹⁰. Una nutrición inadecuada conlleva a una disminución en el rendimiento productivo, afectando los indicadores productivos como ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia ¹¹. Por otra parte, existe una gran cantidad de estudios que reportaron las implicancias sobre los animales que no reciben una dieta adecuada (según los requerimientos nutricionales del animal), dichos animales presentaron enfermedades carenciales y alteraciones metabólicas ¹⁰.

A medida que cambian las condiciones de producción, etapa de producción y estación del año la cantidad de cada nutriente requerido se modifica, generando desequilibrios en la dieta que afectarán la productividad, comprometerán el bienestar de la gallina ⁹. Así mismo, investigaciones realizadas en gallinas ponedoras mencionan los efectos de desbalances nutricionales sobre la postura de huevo, indicando pérdidas importantes en términos de porcentaje de postura y calidad de huevo ^{1, 12}.

Las gallinas ponedoras requieren energía para el mantenimiento y la producción, lo cual está determinado por el nivel productivo ¹³. Debido a que los requerimientos de energía para producción son principalmente destinados a la deposición diaria de huevo e incremento de la masa corporal de la gallina ¹⁴, es que se requiere brindar al ave una dieta que contenga las cantidades de energía suficientes para cubrir dichas demandas. Gallinas alimentadas con dietas sin la proporción adecuada de energía pueden comprometer la producción de huevo esperada ^{15, 19}. Cuando las dietas son altas en energía las gallinas reducen el consumo de alimento; por el contrario, cuando las dietas contienen



concentraciones bajas de energía es poco probable que las ponedoras aumenten el consumo de alimento ¹³.

Dietas de gallinas ponedoras tienen como componente crítico a la proteína, por lo tanto, es de vital importancia un balance de aminoácidos esenciales durante la formulación de raciones ¹³. La utilización del concepto de proteína ideal ha permitido definir el requerimiento de los aminoácidos esenciales de las aves para el mantenimiento y deposición de proteína ^{9, 20}. La lisina es el aminoácido de referencia para aplicar el concepto de proteína ideal ²¹, los demás aminoácidos esenciales son expresados como porcentaje de la lisina, indicando la importancia de revisar su contenido en las dietas de gallinas ponedoras. Por otro lado, los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína, también esenciales) son considerados como los primeros aminoácidos limitantes en las dietas para gallinas ponedoras comerciales ⁹. Desajustes en las dietas con respecto a los aminoácidos azufrados tienen un impacto negativo sobre la salud y bienestar de la gallina ^{22, 23}; además, afectando el rendimiento productivo ^{24, 25}.

Debido a lo mencionado anteriormente, se debe analizar la densidad nutricional en dietas para gallinas ponedoras con el objeto de evitar los problemas relacionados a desbalances en los principales nutrientes que pueden comprometer el rendimiento productivo y la calidad de huevo.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿El rendimiento productivo y calidad de huevo de gallinas ponedoras se modificará según la densidad nutricional de las dietas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué densidad nutricional presentará las mejores respuestas en consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia?
- ¿Qué densidad nutricional reportará las mejores respuestas sobre la calidad externa de huevo?
- ¿Qué densidad nutricional mostrará las mejores respuestas sobre la calidad interna de huevo?



1.2.3 Justificación de la investigación

En la actualidad no existen investigaciones que reporten la densidad nutricional adecuada para gallinas ponedoras en la región de Apurímac. Por lo tanto, las dietas pueden estar generando ineficiencias productivas y afectando las características de calidad de huevo. Entonces, es importante identificar la densidad nutricional en dietas de gallinas ponedoras que maximicen la respuesta en la producción de huevo; debido a que el huevo es una de las principales fuentes proteicas de la población nacional. Entonces, determinar la densidad nutricional apropiada de la dieta en gallinas ponedoras puede ayudar a mejorar la producción de huevo en términos cuantitativos y cualitativos.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Evaluar la densidad nutricional en el rendimiento productivo y calidad de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

2.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto de la densidad nutricional en el consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.
- Determinar el impacto de la densidad nutricional sobre la calidad externa de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.
- Establecer la respuesta de la densidad nutricional sobre la calidad interna de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

La dieta con baja densidad nutricional incrementará el rendimiento productivo y la calidad de huevo de gallinas ponedoras.

2.2.4 Hipótesis específicas

- La dieta con baja densidad nutricional presentará una respuesta favorable en consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia de gallinas ponedoras.



- La dieta con baja densidad nutricional impactará negativamente en las características de calidad externa de huevo.
- La dieta con baja densidad nutricional afectará negativamente características de calidad interna de huevo.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Indicadores	Índices
Dependiente	Rendimiento productivo	Consumo de alimento	g/d*
		Porcentaje de postura	%
		Masa de huevo	g*
		Conversión alimenticia	g/g
	Calidad de huevo	Peso de huevo	g
		Largo de huevo	mm*
		Ancho de huevo	mm
		Peso de cáscara	g
		Grosor de cáscara	mm
		Porcentaje de cáscara	%*
		Índice de forma de huevo	%
		Área superficial de huevo	cm ² *
		PCUS**	mg/cm ²
		Peso de clara	g
		Largo de clara total	mm
		Ancho de clara total	mm
		Largo de clara densa	mm
		Ancho de clara densa	mm
		Altura de clara	mm
		Unidad Haugh	Sin unidad
		Porcentaje de clara	%
		Índice de clara	%
		Peso de yema	g
		Diámetro de yema	mm
		Altura de yema	mm
		Porcentaje de yema	%
		Índice de yema	%
		Relación yema:clara	%
Independiente	Densidad nutricional	Distintos niveles de nutrientes en la dieta	Energía metabolizable
			Proteína cruda
			Aminoácidos
			Calcio total
			Fósforo disponible

* g: gramos, d: día, mm: milímetros, %: porcentaje, cm²: centímetros cuadrados.

**Peso de cáscara por unidad superficial de huevo

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Ismail et al ²⁷, evaluaron 5 dietas con diferentes densidades nutricionales: 2 con densidad nutricional alta (H1 y H2), 2 con densidad nutricional baja (L1 y L2) y una dieta control (C) en pollos de engorde de la línea Arbor acres sobre el rendimiento productivo y parámetros sanguíneos. Las dietas fueron formuladas siguiendo las recomendaciones del NRC (National Research Council), teniendo las principales variaciones en los niveles de energía metabolizable (C: 3199, H1: 3340, H2: 3496, L1: 3052 y L2: 2901 EM, kcal/kg), proteína cruda C: 23.00, H1: 24.08, H2: 25.02, L1: 21.93 y L2: 20.85 PC, %) y aminoácidos (C: 0.52, H1: 0.55, H2: 0.59, L1: 0.49 y L2: 0.46 metionina, %; C: 1.1, H1: 1.15, H2: 1.19, L1: 1.06 y L2: 1.03 lisina; %). Se reportó que las aves alimentadas con dietas con densidad nutricional baja presentaban diferencias significativas ($P<0.05$) entre tratamientos, evidenciando una disminución del consumo de alimento y un incremento del peso vivo promedio, ganancia de peso y conversión alimenticia en comparación a los otros tratamientos (dietas con densidad nutricional y dieta control).
- b) Hadaeghi et al ²⁸, realizaron un experimento con niveles crecientes de nutrientes dietarios sobre el rendimiento productivo y la respuesta inmunitaria en pollos de engorde que tuvieron una restricción alimenticia. Las dietas de finalización contenían las siguientes concentraciones de energía metabolizable (MJ/kg): 0 (control): 13.1, +2.5%: 13.4, +5%: 13.8, +7.5%: 14.1 y +10%: 14.4; proteína cruda (%): 0 (control): 18.3, +2.5%: 18.7, +5%: 19.2, +7.5%: 19.7 y +10%: 20.3; metionina (%): 0 (control): 0.66, +2.5%: 0.68, +5%: 0.72, +7.5%: 0.72 y +10%: 0.73 y lisina (%): 0 (control): 0.94, +2.5%: 0.96, +5%: 0.97, +7.5%: 1.01 y +10%: 1.01. Los resultados obtenidos indicaron que un aumento de la densidad de nutrientes se correspondía con una respuesta mayoritariamente cuadrática ($P<0.001$) en la ganancia de peso y consumo de alimento; mientras que la conversión alimenticia la respuesta era lineal ($P<0.001$). Las dietas con



densidad nutricional elevada presentaron los mejores resultados en rendimiento productivo cuando se realiza una restricción alimenticia ligera.

- c) Sinurat et al ²⁹, evaluaron diferentes densidades nutricionales en pollos KUB (línea comercial) de 1 a 28 días de edad. Las dietas fueron: 70.7 g de proteína cruda/Mcal o alta (16% PC, 2700 kcal EM/kg, 0.739% lisina, 0.355% metionina), 66.1 g de proteína cruda/Mcal o media (18.5 PC, 2800 kcal EM/kg, 0.900% lisina, 0.428% metionina) y 59.3 g de proteína cruda/Mcal o baja (20.5 PC, 2900 kcal EM/kg, 1.000% lisina, 0.500% metionina), con y sin la suplementación de enzimas. No hubo diferencias significativas ($P>0.05$) para el rendimiento productivo, pero el tamaño de algunos órganos del pollo incrementó significativamente ($P<0.05$) con dietas de baja densidad nutricional en comparación con dietas con alta densidad nutricional, favoreciendo la digestión y absorción de nutrientes.
- d) Barekatin et al ³⁰, realizaron un experimento utilizando criterios de formulación de raciones con diferentes concentraciones de nutrientes en energía metabolizable (EM) y aminoácidos digestibles sobre el rendimiento productivo. El estudio fue realizado en pollos de engorde machos de la línea Ross 308 de un día de edad (durante 42 días), los cuales fueron alimentados con dietas de densidad nutricional baja y alta (LD y HD, respectivamente). Las LD tenían 2876 y 3023 kcal EM/kg para inicio y acabado, respectivamente; mientras que las dietas HD presentaban 3169 y 3315 kcal EM/kg para inicio y acabado, respectivamente. No se observaron diferencias significativas para el consumo de alimento ($P=0.185$) entre densidades nutricionales; mientras que la ganancia de peso y conversión alimenticia indicaron diferencias significativas ($P<0.001$) entre LD y HD.
- e) Abdollahi et al ³¹, analizaron la interacción entre la densidad nutricional y la forma del alimento sobre el rendimiento productivo y coeficiente de digestibilidad aparente en pollos de engorde (Ross 308) de 21 días de edad. El experimento tuvo 5 dietas con diferentes densidades nutricionales: muy bajo (VL: 11.71 MJ EM/kg; 21.5% PC; 13.44% lisina total; 10.08% metionina + cisteína total), bajo (L: 12.13 MJ EM/kg; 22.25% PC; 13.92% lisina total; 10.44% metionina + cisteína total), medio (M: 12.55 MJ EM/kg; 23.00% PC; 14.40% lisina total; 10.80% metionina + cisteína total), alto (H: 12.97 MJ EM/kg; 23.75% PC; 14.88% lisina total; 11.16% metionina + cisteína total) y muy alto (VH: 13.39 MJ EM/kg; 24.50% PC; 15.36% lisina total; 11.52% metionina +



cisteína total). Los resultados reportaron que el incremento de la densidad nutricional de las dietas mejoró significativamente ($P < 0.001$) la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. El estudio remarca que la densidad nutricional de la dieta debe ser tomada en consideración cuando se formulan raciones para aves y resalta su importancia cuando se alimenta con paletizado.

- f) Ivanovich et al ³², investigaron el efecto de diferentes niveles de aminoácidos digestibles y energía metabolizable en dietas de pre-inicio (1 a 10 días de edad) sobre el rendimiento productivo, actividad enzimática, morfología intestinal y metabolitos séricos en pollos de engorde. Se evaluaron 6 dietas con diferentes concentraciones de nutrientes (I: 3000 kcal EM/kg, 21.40% PC, 1.19% lisina digestible, 0.88% metionina + cisteína digestible; II: 3000 kcal EM/kg, 23.00% PC, 1.28% lisina digestible, 0.95% metionina + cisteína digestible; III: 3000 kcal EM/kg, 24.60% PC, 1.37% lisina digestible, 1.02% metionina + cisteína digestible; IV: 2900 kcal EM/kg, 21.40% PC, 1.19% lisina digestible, 0.88% metionina + cisteína digestible; V: 2900 kcal EM/kg, 23.00% PC, 1.28% lisina digestible, 0.95% metionina + cisteína digestible; VI: 2900 kcal EM/kg, 24.60% PC, 1.37% lisina digestible, 1.02% metionina + cisteína digestible). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Por otra parte, no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre dietas con diferentes niveles de energía, pero si hubo una mayor ganancia de peso ($P < 0.05$) en la dieta con mayor nivel de aminoácidos digestibles. Los investigadores indican que en dietas de pre-inicio para pollos de engorde es necesario incrementar la concentración de proteína cruda y aminoácidos digestibles.
- g) Mirshekar et al ³³, evaluaron el efecto de dietas con alta y baja densidad nutricional y diferentes regímenes de retiro de premix de minerales sobre el rendimiento productivo y calidad carne en pollos reproductores. Se utilizaron pollos machos de 480 días de edad durante 42 días de evaluación, los cuales fueron alimentados con dos dietas: alta densidad (3150 kcal EM/kg; 19.69% PC) y baja densidad (2950 kcal EM/kg; 18.43% PC). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre dietas con alta y baja densidad nutricional para la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, las dietas con alta densidad nutricional presentaron los mejores valores en el rendimiento productivo. En contraposición, los investigadores mencionan que una reducción de la densidad nutricional dietaria es efectiva mejorando las características de calidad de carne de pollos reproductores.



- h) Nabizadeh et al ³⁴, investigaron el efecto de densidad nutricional dietaria y la inclusión de aditivos alimenticios en dietas de inicio sobre el rendimiento productivo, microflora intestinal, morfología intestinal y respuesta inmunitaria de pollos de engorde. Las 3 dietas fueron formuladas teniendo en cuenta el porcentaje de recomendación de Aviagen de la línea Ross 308 (100%: 12.55 MJ EM/kg, 22.93% PC, 1.29% lisina, 0.65% metionina; 103.75%: 13.05 MJ EM/kg, 23.85% PC, 1.34% lisina, 0.67% metionina; 107.50%: 13.49 MJ EM/kg, 24.87% PC, 1.39% lisina, 0.70% metionina). La dieta con la más alta densidad nutricional (107.50%) presentó una mayor ganancia de peso ($P<0.05$), mientras que el consumo de alimento fue menor ($P<0.05$), independientemente de si tiene o no aditivos alimenticios. El estudio concluyó que una densidad nutricional elevada puede mejorar el rendimiento productivo, morfología intestinal y respuesta inmunitaria en dietas de inicio para pollos de engorde.
- i) Kim et al ³⁵, investigaron el impacto de dietas con diferentes densidades nutricionales y aceites esenciales sobre el rendimiento productivo, peso relativo de los órganos, microflora cecal, respuesta inmune y parámetros sanguíneos de pollos de engorde. Se formularon 4 dietas para las fases de inicio (HND: 3100 kcal EM/kg, 21.50% PC, 1.13% lisina, 0.90% metionina + cisteína; LND: 3045 kcal EM/kg, 20.50% PC, 1.07% lisina, 0.86% metionina + cisteína) y acabado (HND: 3150 kcal EM/kg, 20.00% PC, 1.02% lisina, 0.73% metionina + cisteína; LND: 3100 kcal EM/kg, 19.00% PC, 0.97% lisina, 0.70% metionina + cisteína). La ganancia de peso diaria y consumo de alimento durante el inicio (1 a 21 días de edad) y acabado (1 a 35 días) presentaban diferencias significativas ($P<0.05$) entre la densidad nutricional dietaria.
- j) Delezie et al ³⁶, reportó los resultados de la investigación sobre el efecto de la composición dietaria en el rendimiento productivo, rendimiento al sacrificio y metabolitos plasmáticos en pollos de engorde. Los pollos eran de 2 líneas comerciales y de diferentes sexos, alimentados con 3 dietas diferentes en niveles de energía y proteína cruda, de 29 a 42 días de edad. Las dietas tenían la siguiente composición: Control: 12.70 MJ EM/kg, 20.00% PC, 1.05% lisina digestible, 0.74 aminoácidos azufrados (metionina + cisteína). LM/LP: 11.60 MJ EM/kg, 18.20% PC, 0.95% lisina digestible, 0.67 aminoácidos azufrados (metionina + cisteína). LP: 12.70 MJ EM/kg, 18.20% PC, 0.95% lisina digestible, 0.67 aminoácidos azufrados (metionina + cisteína). Las dietas que tenían baja energía y baja proteína (LM/LP) se caracterizaron por



presentar una disminución significativa ($P < 0.05$) en el peso corporal y consumo de alimento en comparación con la dieta LP y control. Se reportó que pollos, independientemente de la línea comercial, que recibieron la dieta control fueron más eficientes en convertir la energía en peso corporal. No se encontraron diferencias significativas en metabolitos plasmáticos debido a la composición de la dieta o la línea del ave. El porcentaje de mortalidad fue menor con la dieta LM/LP, pollos de la línea mejorada (Cobb) parecen ser más sensibles a los desordenes metabólicos debido a las variaciones en la densidad nutricional. Los investigadores recomiendan que se debe tener mucha precaución a la hora de formular una dieta, debido a que se pueden presentar resultados variables en diferentes líneas avícolas si no se ajustan los requerimientos nutricionales.

- k) Muir et al ⁷, evaluaron el efecto de la densidad nutricional y tamaño de la gallina durante la postura temprana sobre la producción de huevo a las 24 y 69 semanas de edad y la calidad de huevo durante la puesta tardía. Se alimentaron a las gallinas con dietas de postura temprana con dos niveles de nutrientes (HND: densidad nutricional alta y LND: densidad nutricional baja) entre la semana 18 y 24. La HND contenía: 2901.32 kcal EM/kg, 17.63% PC, 0.893% lisina y 0.492% metionina; mientras que la LND tenía: 2726.31 kcal EM/kg, 16.38% PC, 0.804% lisina y 0.406% metionina. La dieta HND disminuyó el consumo de alimento y la conversión alimenticia a las 24 semanas de edad en comparación a la LND; sin embargo, el peso de huevo y masa de huevo fue significativamente mayor ($P < 0.01$) a la dieta LND. Los investigadores mencionan que la densidad nutricional de la dieta y el tamaño de la gallina no tuvieron efecto sobre la producción de huevo a las 69 semanas de edad. El tamaño de la gallina y la densidad nutricional de la dieta no modificaron la calidad interna de huevo, pero la dieta HND presentó un mayor grosor de cáscara y una mayor resistencia a la rotura de la cáscara ($P < 0.05$) durante las 66 a 70 semanas de edad. En vista a estos resultados los investigadores mencionan que dietas con densidad nutricional alta se puede mejorar la integridad de la cáscara durante la última fase de postura en comparación a dietas con densidad nutricional baja.
- l) Khatibi et al ³⁷, estudiaron la densidad nutricional de las dietas sobre el rendimiento productivo y calidad de huevo en gallinas ponedoras después del pico de producción durante el primer ciclo de postura en clima sub tropical. Para el experimento se utilizaron gallinas Hy-Line-W36 de 49 semanas de edad alimentadas con 6 tratamientos



(dietas formuladas según la recomendación de la guía Hy-Line-W36). Las dietas presentaron las siguientes características: 92%: 2700 kcal EM/kg, 14.20% PC, 0.67% lisina digestible, 0.35% metionina digestible; 94%: 2750 kcal EM/kg, 14.46% PC, 0.68% lisina digestible, 0.36% metionina digestible; 96%: 2801 kcal EM/kg, 14.72% PC, 0.69% lisina digestible, 0.37% metionina digestible; 98%: 2851 kcal EM/kg, 14.98% PC, 0.70% lisina digestible, 0.37% metionina digestible; 100%: 2901 kcal EM/kg, 15.25% PC, 0.71% lisina digestible, 0.38% metionina digestible; 102%: 2951 kcal EM/kg, 15.51% PC, 0.72% lisina digestible, 0.39% metionina digestible. Debido al incremento de la densidad nutricional dietaria se mejoró significativamente ($P < 0.001$) la producción de huevo, peso de huevo, masa de huevo y la conversión de alimento. Además, la proteína cruda del huevo y extracto etéreo de la yema, gravedad específica del huevo y peso relativo de la cáscara incrementaron según aumentaba la densidad nutricional dietaria. Por otro lado, el consumo de alimento, grosor de cáscara y unidad Haugh no fueron afectados por la densidad nutricional de las dietas. Se reportó que gallinas ponedoras durante la fase post producción de huevo en el primer ciclo de postura y bajo un clima subtropical no fueron capaces de regular el consumo de alimento con la dilución de nutrientes de la dieta y que la dieta con 97.6-100% (según recomendación de la guía Hy-Line-W36) mejoran la producción de huevo, masa de huevo, conversión alimenticia y peso de huevo.

3.2. Marco teórico

3.2.1. Gallina ponedora

La gallina se domesticó hace 6000 - 8000 años de manera ornamental o con fines de lidia; posteriormente (de 1000 a 2000 años) fueron utilizados para la postura de huevos y producción de carne. Los índices productivos de la gallina ponedora han sido mejorados debido a la intensificación en la producción comercial de huevo (de 60 a 300 huevos, anualmente), este incremento se ha realizado principalmente con híbridos comerciales ³⁷.

Actualmente, la producción de gallinas ponedoras viene presentando un crecimiento considerable en el país, hasta julio de 2021 la producción de gallinas era de 3.7 millones de toneladas de gallinas en pie y en julio del 2022 se registró 3.8 millones de toneladas de gallinas en pie, estimando una variación de crecimiento de 3.2%. Asimismo, según la participación de los principales productos avícolas se indica que el huevo de gallina es de 15%, solo siendo superada por la producción de pollo en pie (79%). Adicionalmente, la producción de huevo ha incrementado de 41,733 a



41,929 toneladas, indicando un crecimiento de 0.5%, tal como se puede verificar en la figura 1 ³⁸.

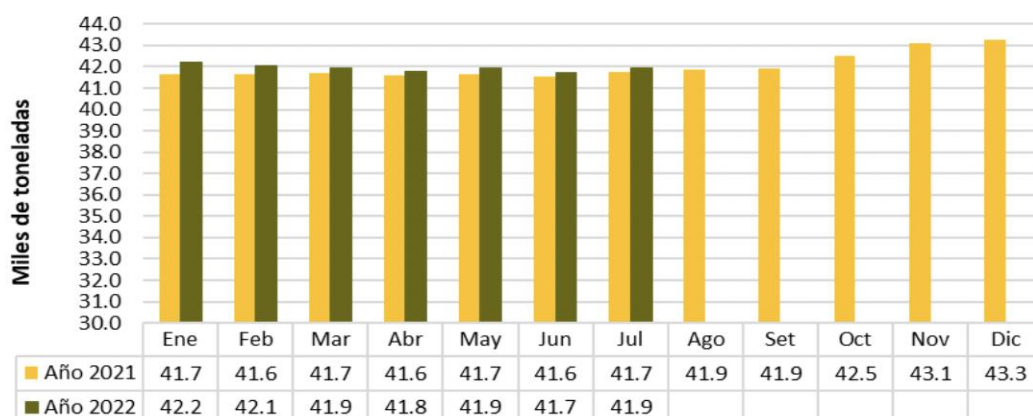


Figura 1. Producción de huevo de gallina para consumo – Perú (38).

Por otra parte, según la colocación de reproductoras BB a nivel nacional se reporta que hubo un incremento, para el mes de julio, de 7,200 a 173,640 unidades entre el 2021 y 2022, respectivamente. Sin embargo, la colocación de reproductoras BB de postura (sólo hembras) en la región de Apurímac es uno de los más bajos a nivel nacional ³⁸; planteando un gran reto para los profesionales de las áreas pecuarias (como es el caso del Médico veterinario y zootecnista).

La edad de la gallina de postura es uno de los factores más determinantes, debido a que según la edad de la gallina se deben realizar adecuaciones en la nutrición y alimentación, aspectos sanitarios, densidad de aves, adecuación de instalaciones, manejo y actividades complementarias ¹. Las gallinas ponedoras comúnmente son categorizadas, por los productores comerciales, según la edad en semanas: 1) inicio, 2) crecimiento, 3) desarrollo, 4) pre-postura y 5) postura (Tabla 1).

Los híbridos comerciales (como es el caso de la línea Hy-Line Brown W36) han permitido alcanzar niveles productivos importantes a nivel nacional e internacional ¹. El porcentaje de postura alcanzado por la línea Hy-Line Brown es superior al 95% (desde la semana 24 a 35), manteniendo niveles elevados de postura por mucho más tiempo (semana 50) en comparación a otras líneas comerciales ³⁹.

Tabla 2. Fases en la producción de gallinas ponedoras.

Fase	Edad (semanas)
Inicio	1 a 6
Crecimiento	6 a 12
Desarrollo	12 a 15
Pre-postura	15 a 17
Postura	17 a 100

Adaptado de la Guía de manejo de la Hy-Line Brown ³⁹.

Los híbridos comerciales (como es el caso de la línea Hy-Line Brown W36) han permitido alcanzar niveles productivos importantes a nivel nacional e internacional (1). El porcentaje de postura alcanzado por la línea Hy-Line Brown es superior al 95% (desde la semana 24 a 35), manteniendo niveles elevados de postura por mucho más tiempo (semana 50) en comparación a otras líneas comerciales ³⁹.

Se han desarrollado dietas con diferentes densidades nutricionales para evaluar el impacto de los alimentos sobre la respuesta animal, de este modo los alimentos pueden ser correctamente codificados según el contenido nutricional ⁴², teniendo en cuenta el requerimiento nutricional según la edad, sexo y estado fisiológico del animal. Actualmente, el concepto de densidad nutricional se ha expandido con el objetivo de generar un valor de densidad nutricional referencial, actualizando el concepto a “densidad nutricional crítica”, dicho valor referencial recomienda consumos diarios de un nutriente en específico (como numerador) y requerimientos de energía (como denominador) ⁴¹.

3.2.2. Densidad nutricional

La densidad nutricional indica el contenido de nutrientes presentes en un determinado alimento sobre una cantidad referencial, típicamente es expresado en 100 kcal (desde el punto de vista energético), 100 g o por porción de alimento ⁴⁰. Por otra parte, investigadores sostienen que la densidad nutricional se define como la relación existente entre nutrientes y el nivel energético de la dieta, dicha afirmación deviene de la evaluación de la cantidad de nutrientes de la dieta, en la que se compara el consumo de nutrientes estimado con los requerimientos nutricionales promedios establecidos ⁴¹.

Las nodrizas de aptitud cárnica son buenas productoras de leche en cantidad y calidad, permitiendo al ternero desarrollar todo su potencial cárnico con rápidos



crecimientos y buenos índices de conversión (2000 g/G.M.D y 5, respectivamente). Las canales son tipo-U (muy buena conformación) con rendimientos medios del 60%. La calidad de la carne, por sus características organolépticas, de color, terneza y jugosidad, propias de carnes provistas de cierta infiltración grasa en el tejido muscular (marmoreo), es muy apreciada por los consumidores ¹⁸.

3.2.3. Energía

Es la capacidad de realizar un trabajo y es medida en términos de calor, producida mediante la oxidación de algunos nutrientes (carbohidratos, lípidos y proteínas) y se expresa como calorías ¹⁰. Los animales requieren de energía para realizar funciones de mantenimiento y producción (producción de leche, carne, huevos, etc.). La característica que conjuga estas diversas funciones es que todas implican una transferencia de energía, transformando energía química en energía mecánica o térmica. Al oxidarse los nutrientes, la energía química se convierte de una forma a otra; por ejemplo: a partir de carbohidratos no estructurales de la dieta se sintetiza grasa corporal ¹¹.

La obtención de energía a partir de los alimentos tiene una gran importancia, debido a que permite determinar su valor nutritivo, determinar el valor nutritivo permite asegurar las funciones de mantenimiento y producción en el animal. Los requerimientos de energía para el mantenimiento deben ser satisfechos para evitar el catabolismo de tejidos corporales (adiposo y muscular). Cuando la energía suplementada por el alimento está en exceso, el animal lo utiliza para producir o almacenar como grasa ¹¹. Adicionalmente, la energía de la dieta es el factor más importante para regular el consumo de alimento en las aves, en razón a esto se debe suministrar la cantidad de energía para mantener un consumo adecuado. En aves, la energía esta expresada como energía metabolizable, que es la parte de la energía disponible para la utilización por el animal y se calcula como la energía digestible menos la energía perdida en orina y gases ¹⁰.

3.2.4. Proteína y aminoácidos

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos de elevado peso molecular, que similar a los carbohidratos y lípidos contienen carbono, hidrogeno y oxígeno, pero adicionalmente contienen nitrógeno y azufre en algunos casos (aminoácidos azufrados). En nutrición animal, las proteínas están directamente relacionadas a la producción de carne, leche, lana y huevos, debido a esto es muy importante asegurar



la inclusión en dietas animales. Además, se debe recordar que en especies monogástricas (como es el caso de las aves) el precio de las fuentes de proteínas (como insumos alimenticios) son los más costosos ¹¹. Actualmente se emplea el concepto de proteína ideal en la nutrición de aves, manifestando que los aminoácidos esenciales deben encontrarse en la cantidad adecuada, sin deficiencias ni excesos, en la dieta con el objetivo de maximizar la producción y reducir la cantidad de inclusión de insumos proteicos ¹⁰.

Por otra parte, los aminoácidos se obtienen cuando las proteínas son hidrolizadas por enzimas. Las investigaciones señalan que se han aislado más de 200 aminoácidos de materiales biológicos, pero sólo 20 aminoácidos se encuentran comúnmente como componentes de proteínas. De estos 20, 10 son considerados como aminoácidos esenciales y 10 como aminoácidos no esenciales ¹⁰. Asimismo, de los aminoácidos esenciales se considera a la metionina como el aminoácido limitante para aves, debido a que la metionina es el aminoácido relacionado con la formación de plumas y tejido tegumentario ⁴³. Según el concepto de proteína ideal, la lisina se toma como el aminoácido de referencia para realizar la formulación de dietas, indicando que la lisina se toma como el 100% y los demás aminoácidos esenciales deben ajustarse al nivel de la lisina ¹⁰. En la actualidad, las dietas para aves utilizan aminoácidos sintetizados (tal como el DL-Metionina, Lisina HCL, L-Treonina, etc.). La inclusión de los aminoácidos sintéticos ha permitido reducir los costos en la preparación de alimentos, reducir el gasto energético por efecto del metabolismo de la parte nitrogenada de las proteínas y maximizar la eficiencia productiva en aves ⁴³.

3.3. Marco conceptual

- a) **Gallina Hy-Line Brown:** Es una línea comercial de gallina especializada en la producción de huevo, producida por la empresa internacional Hy-Line.
- b) **Aminoácidos sintéticos:** Aminoácidos sintetizados por diferentes empresas para ser utilizadas en las dietas animales y permite incrementar la productividad animal.
- c) **National Research Council:** Organización sin fines de lucro que realiza investigaciones científicas en el campo de ingeniería y medicina. Provee los requerimientos nutricionales de diferentes especies animales.



- d) **Energía metabolizable:** Es la energía que queda después de la pérdida de energía fecal y urinaria, y representa la energía disponible para el crecimiento o la reproducción y para realizar procesos metabólicos como el trabajo (locomoción) y respiración (termorregulación, metabolismo de mantenimiento, etc.).
- e) **Aminoácidos digestibles:** Son los aminoácidos disponibles absorbidos en el tracto gastrointestinal en una forma adecuada para la síntesis de proteínas corporales. Los aminoácidos digeribles se determinan en función de la diferencia entre la ingesta de aminoácidos de la dieta y los aminoácidos de la dieta no absorbidos en la parte final del íleon. La precisión en las estimaciones de aminoácidos digestibles en el íleon permite predecir el contenido de aminoácidos disponibles, dependiendo de varios factores, incluida la precisión del procedimiento de análisis de aminoácidos.
- f) **Metionina más cisteína:** Son los aminoácidos que en su composición contienen al azufre, por lo que toman el nombre de aminoácidos azufrados. La cisteína se sintetiza a partir de la metionina, representando aproximadamente la mitad del requerimiento de metionina de la dieta. Aunque la metionina, pero no la cisteína, se considera como aminoácido esencial, la adición de cisteína disminuye el requerimiento metabólico de metionina en las dietas animales.
- g) **Kilocaloría:** Término utilizado para representar la cantidad de energía necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un litro de agua a nivel del mar. En nutrición, la palabra caloría se usa comúnmente para referirse a una unidad de energía alimentaria, pero técnicamente se utiliza más como unidad de medida a la kilocaloría como energía alimentaria (1000 calorías verdaderas de energía).
- h) **Megajoule:** Es una unidad de trabajo o energía igual a un millón de joules. En nutrición, expresada como energía bruta, se obtiene por la combustión total en un calorímetro (normalmente adiabático), expresada en megajoules por kilogramo, siendo la equivalencia: $1 \text{ MJ} = 238,92 \text{ kcal}$.
- i) **Premix:** Se refiere a las premezclas de minerales y vitaminas, es un aditivo comúnmente utilizado en la dieta de los animales. La utilización del premix ha permitido a los productores pecuarios minimizar la preocupación por los micronutrientes que se incluyen en las dietas animales.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente estudio es experimental, debido a que se evaluaron los efectos de las densidades nutricionales sobre el rendimiento productivo y calidad de huevo, presentando una prueba control. El nivel de investigación es explicativo ⁴⁵.

4.2 Diseño de la investigación

La investigación se realizó en una granja de aves ponedoras, las aves fueron proporcionadas por los propietarios, las gallinas eran de una misma edad (semanas de edad). Además, mediante coordinaciones preliminares se plantearon las condiciones de estudio, especificando sobre manejo de instalaciones, cuidado de los animales y alimentación de las gallinas, en las cuales se realizó tres tratamientos y cuatro repeticiones, cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones, un total de doce repeticiones. Seguidamente, las aves tuvieron un periodo pre-experimental para que las gallinas asimilen el nuevo alimento y las condiciones de estudio, siendo asignadas aleatoriamente a uno de los tratamientos. Las gallinas fueron alojadas en doce jaulas, cada jaula contaba con un comedero, bebedero y nidol, cada jaula alojaba 5 gallinas (cada jaula era una repetición). La recopilación de datos fue realizada tanto en la fase pre-experimental como en la fase experimental, los datos sobre rendimiento productivo fueron recopilados en el galpón de gallinas ponedoras y los datos sobre calidad de huevo fueron obtenidos en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

4.3 Población y muestra

4.3.1. Población

La población del experimento fueron las gallinas ponedoras del Fundo Agropecuario Ecológico Villa Imponeda Baja, ubicado en el desvío de la carretera de la Asociación Pro-viviendas Belén Bajo a 8.7 kilómetros de la ciudad de Abancay, del distrito de Abancay, provincia de Abancay, Departamento de Apurímac. El fundo está ubicado a una altitud de 2300 m.s.n.m. (aproximación teniendo en cuenta la ciudad de Abancay) y una latitud de -13.642, -72.932. La ciudad de Abancay registra una



temperatura mensual promedio mínima y máxima de 8.7 °C y 12.2 °C, respectivamente; mientras que la precipitación pluvial mensual promedio mínima y máxima es de 7.3 mm/mes y 179.9 mm/mes, correspondientemente. Las gallinas ponedoras estaban bajo el sistema de producción de semi-intensiva ³⁸, alimentadas principalmente con alimento comercial.

4.3.2. Muestra

Se utilizaron 60 aves seleccionadas aleatoriamente de un galpón de 2000 gallinas ponedoras de 49 semanas de edad, las cuales presentaban pesos homogéneos y que estaban en plena deposición de huevos previo al inicio del experimento, siendo una condición fundamental para la selección la buena salud del ave. Además, se utilizaron todos los huevos depositados en el día 21 de la fase experimental (día final del experimento) para la evaluación de calidad de huevo.

4.4 Tratamientos

Las dietas fueron formuladas siguiendo las recomendaciones de las tablas brasileñas para aves y cerdos ⁴⁵, teniendo en cuenta la edad (semanas) de las gallinas y nivel productivo (gallinas Hy-Line Brown). Los tratamientos fueron los siguientes (Tabla 3).



Tabla 3. Dietas experimentales para gallinas ponedoras de 45 semanas de edad

Ingredientes	Tratamientos ¹		
	T1 (DNB)	T2 (DNM)	T3 (DNA)
Maíz (molido)	54.540	47.974	41.687
Torta de soya	22.327	25.773	29.306
Afrecho de trigo	7.000	7.536	7.795
Aceite de soya	3.938	6.455	8.922
Fosfato dicálcico	1.449	1.667	2.389
Sal común	0.370	0.419	0.385
DL-Metionina	0.161	0.229	0.244
L-Lisina HCL	0.050	0.050	0.150
Premezcla de vitaminas y minerales ²	0.150	0.150	0.150
Cloruro de colina 60	0.050	0.100	0.050
Antioxidante	0.050	0.050	0.050
Zinc bacitracina	0.050	0.050	0.050
Secuestrante de micotoxinas	0.050	0.050	0.050
L-treonina	0.056	0.179	0.190
Carbonato de calcio	9.608	9.119	8.331
Bicarbonato de sodio	0.150	0.200	0.250
TOTAL, Kilogramos	100	100	100

¹DNB: densidad nutricional baja, DNM: densidad nutricional media (prueba control), DNA: densidad nutricional alta.

²Proapak® Postura: Vitamina A (10 000 000 UI), Vitamina D₃ (3 000 000 UI), Vitamina E (15 000 UI), Vitamina K (2.5 g), Vitamina B₁ (2 g), Vitamina B₂ (6 g), Vitamina B₃ (20 g), Vitamina B₅ (6 g), Vitamina B₇ (0.15 g), Vitamina B₉ (0.5 g), Vitamina B₁₂ (0.0012 g), Manganeseo (60 g), Zinc (60 g), Hierro (40 g), Cobre (6 g), Yodo (1 g), Selenio (0.3 g), Cobalto (0.15 g) y Excipientes c.s.p. (1 kg).



Tabla 4. Composición nutricional de las dietas experimentales para gallinas ponedoras de 45 semanas de edad.

Composición nutricional			
Nutrientes	T1 (DNB)¹	T2 (DNM)	T3 (DNA)
Energía metabolizable, Kcal/Kg	2750	2850	2950
Proteína cruda, %	15.40	16.70	18.00
Lisina, %	0.822	0.907	1.071
Metionina, %	0.400	0.481	0.510
Treonina, %	0.626	0.793	0.852
Triptófano, %	0.182	0.2	0.218
Metionina + Cisteína, %	0.653	0.747	0.789
Arginina, %	0.999	1.099	1.199
Glicina + Serina, %	1.485	1.598	1.713
Valina, %	0.736	0.793	0.851
Isoleucina, %	0.646	0.705	0.766
Leucina, %	1.366	1.430	1.496
Histidina, %	0.427	0.455	0.483
Fenilalanina, %	0.766	0.826	0.887
Fenilalanina + Tirosina, %	1.320	1.421	1.524
Calcio, %	4.200	4.080	3.981
Fósforo disponible, %	0.300	0.337	0.446
Sodio, %	0.170	0.190	0.178
Cloro, %	0.287	0.323	0.316
Potasio, %	0.667	0.715	0.761

¹DNB: densidad nutricional baja, DNM: densidad nutricional media (prueba control), DNA: densidad nutricional alta.

4.5. Técnicas e instrumentos

4.5.1. Técnicas

a) Material biológico

Las gallinas fueron revisadas previamente para evaluar el estado de salud de las mismas, identificando que todas las aves presentaban algún problema de salud. Las gallinas fueron criadas en pozas de madera recubiertas con malla galvanizada de 1 m x 1.2 m, teniendo un área 0.24 m² por ave. Cada poza contaba con un



comedero, bebedero y nidal de madera. Además, se utilizaron los huevos depositados por lo gallinas para la evaluación de calidad de huevo.

b) Obtención de muestra

Las muestras de huevo fueron obtenidas de la última semana de evaluación (49 semanas de edad, fase de postura media). Todos los huevos fueron etiquetados según tratamiento y repetición para facilitar la identificación de las muestras. Posteriormente, los huevos fueron empaquetados en jvas de cartón para ser llevados al Laboratorio de Nutrición y Alimentación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAMBA para el análisis de calidad correspondiente.

c) Análisis de rendimiento productivo

Las ecuaciones utilizadas para la estimación de las variables de rendimiento productivo serán:

- **Consumo de alimento (kg/ave)**

$$\text{Consumo de alimento} = \text{Alimento ofrecido} - \text{Alimento residual}$$

- **Porcentaje de postura (%)**

$$\text{Porcentaje de postura} = \frac{\text{Número de huevos}}{\text{Número total de aves}} \times 100$$

- **Masa de huevos (kg)**

$$\text{Masa de huevos} = \text{Número de huevos} \times \text{Peso promedio de huevo}$$

- **Conversión alimenticia**

$$\text{Conversión alimenticia} = \frac{\text{Consumo de alimento}}{\text{Masa de huevo}}$$

d) Análisis de calidad de huevo

Para evaluar la calidad de huevo se siguió los procedimientos descritos por Inca (1, 12), analizando las siguientes características de calidad por medición directa:

- Peso de huevo (g)
- Largo de huevo (mm)
- Ancho de huevo (mm)
- Peso de cáscara (g)
- Grosor de cáscara (mm)
- Peso de clara (g)
- Grosor de clara (g)
- Largo de clara total (mm)



- Ancho de clara total (mm)
- Largo de clara densa (mm)
- Ancho de clara densa (mm)
- Altura de clara (mm)
- Peso de yema (g)
- Diámetro de yema (mm)Altura de yema (mm)

Para calcular los indicadores de calidad externa e interna se utilizaron las siguientes ecuaciones reportadas por Inca (1, 12):

- **Índice de forma de huevo (IFH, %)**

$$IFH = \frac{\text{Ancho de huevo}}{\text{Largo de huevo}} \times 100$$

- **Área superficial del huevo (ASH)**

$$ASH = 3.9782 \times (\text{Peso de huevo})^{0.75056}$$

- **Peso de cáscara por unidad superficial (PCUS)**

$$PCUS = \frac{\text{Peso de cáscara}}{ASH}$$

- **Porcentaje de cáscara (%)**

$$\text{Porcentaje de cáscara} = \frac{\text{Peso de cáscara}}{\text{Peso de huevo}} \times 100$$

- **Índice de clara (%)**

$$\text{Índice de clara} = \frac{\text{Altura de clara}}{\text{Larga de clara densa}} \times 100$$

- **Porcentaje de clara (%)**

$$\text{Porcentaje de clara} = \frac{\text{Peso de clara}}{\text{Peso de huevo}} \times 100$$

- **Unidad Haugh (UH)**

$$UH = 100 \times \log(\text{Altura de clara} - 1.7 \times (\text{peso de huevo})^{0.37} + 7.6)$$

- **Índice de yema (%)**

$$\text{Índice de yema} = \frac{\text{Altura de yema}}{\text{Diámetro de yema}} \times 100$$

- **Porcentaje de yema (%)**

$$\text{Porcentaje de yema} = \frac{\text{Peso de yema}}{\text{Peso de huevo}} \times 100$$

- **Relación de yema:clara (%)**

$$\text{Relación de yema: clara} = \frac{\text{Peso de yema}}{\text{Peso de clara}} \times 100$$

4.5.2. Instrumentos

Para el análisis del rendimiento productivo y calidad de huevo se utilizaron los siguientes materiales:

- Balanza analítica
- Vernier electrónico o micrómetro digital (150 mm)
- Plataforma de plástico
- Nivel de burbuja
- Envases de plástico
- Papel toalla
- Botella de plástico (500 ml)
- Bandeja separadora para 20 huevos
- Recipiente metálico

4.6. Análisis estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con 3 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento. Se obtuvo la estadística descriptiva de todas las variables de estudio y mediante las pruebas de Anderson-Darling y Levene se verificó la normalidad y homogeneidad de varianza de los residuales de las variables, respectivamente. Las variables que presentaron normalidad y homogeneidad de varianza se analizaron mediante estadística paramétrica (ANOVA y Tukey) y las que no mediante estadística no paramétrica (Kruskal-Wallis y Mann-Whitney). Todos los procedimientos estadísticos fueron analizados utilizando el programa RStudio ⁴⁶. El modelo aditivo lineal general que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable respuesta

U: Media general

T_i : i-ésimo tratamiento ($i = 1, 2, 3$)

E_{ij} : Error experimental



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Estadística descriptiva de los datos

La estadística descriptiva de las variables evaluadas se puede observar en el Tabla 5. En las variables de rendimiento productivo (consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia) la variabilidad de los datos de las variables fue inferior al 8% (según coeficiente de variabilidad). La calidad externa de huevo indica que las variables presentaron un coeficiente de variabilidad menor a 9 %, indicando que la variabilidad de las variables es baja y aceptable para analizar los datos con estadística inferencial. Así mismo, la calidad interna de huevo (clara y yema) evidencia que la mayoría de las variables presentan un coeficiente de variabilidad menor al 14%, señalando que los datos evaluados de la calidad interna de huevo presentaron poca dispersión. Sin embargo, las variables de índice de clara y relación yema: clara obtuvieron valores por encima del 15 % (17.61 y 24.33%, respectivamente), indicando una amplia dispersión en ambas variables; esta dispersión se debería a que las dos variables no fueron obtenidas mediante medición directa, sino que fueron obtenidas mediante la utilización de ecuaciones que combinarían las variabilidades de los factores.



Tabla 5. Estadística descriptiva de las variables en estudio.

Características	Promedio	DS ¹	Mínimo	Máximo	CV ²
Rendimiento productivo					
Consumo de alimento, g	4662.50	68.36	4503	4733	1.47
Porcentaje de postura, %	91.00	7.26	80	104	7.98
Masa de huevo, g	5905.90	471.26	5192	6749.6	7.98
Conversión alimenticia	0.79	0.057	0.701	0.867	7.22
Calidad externa de huevo					
Peso de huevo, g	64.90	4.39	56.30	78.12	6.76
Largo de huevo, mm	57.82	1.96	54.12	63.09	3.39
Ancho de huevo, mm	44.62	1.11	41.96	47.31	2.49
Peso de cáscara, g	6.36	0.52	5.21	7.11	8.18
Grosor de cáscara, mm	0.36	0.03	0.29	0.42	8.33
Porcentaje de cáscara, %	9.82	0.67	8.30	11.20	6.82
Índice de forma de huevo, %	77.23	2.66	70.64	82.94	3.44
Área superficial del huevo, cm ²	91.14	4.62	81.95	104.79	5.07
Peso de cáscara por unidad superficial, mg/cm ²	68.84	4.59	58.62	78.84	6.67
Calidad interna de huevo					
Peso de clara, g	36.90	3.84	25.36	45.72	10.41
Largo de clara total, mm	126.08	14.78	101.37	170.91	11.72
Ancho de clara total, mm	102.38	10.56	83.97	128.86	10.31
Largo de clara densa, mm	84.26	6.36	73.50	103.46	7.55
Ancho de clara densa, mm	71.91	4.73	65.30	86.56	6.58
Altura de clara, mm	8.19	1.09	5.10	9.72	13.31
Unidad Haugh	88.93	6.53	67.18	96.75	7.34
Porcentaje de clara, %	56.81	3.97	40.00	61.95	6.99
Índice de clara, %	6.87	1.21	3.50	8.82	17.61
Peso de yema, g	19.35	2.70	16.28	29.58	13.95
Diámetro de yema, mm	42.31	1.61	39.88	46.51	3.81
Altura de yema, mm	15.59	1.07	10.59	17.60	6.86
Porcentaje de yema, %	29.85	3.99	25.37	44.54	13.37
Índice de yema, %	36.89	2.78	24.57	41.14	7.54
Relación yema:clara, %	53.38	12.99	41.66	111.37	24.33

¹DS: desviación estándar.²CV: coeficiente de variabilidad (%).

5.1.2 Prueba de normalidad y homocedasticidad de los resultados

El análisis de normalidad y homogeneidad de varianza de las variables evaluadas pueden observarse en la tabla 6. Todas las variables de rendimiento productivo presentaron normalidad y homogeneidad de varianzas ($P > 0.05$), indicando que las variables tienen que ser evaluadas mediante estadística paramétrica. La totalidad de variables de calidad externa de huevo presentaron homogeneidad de varianza ($P > 0.05$); sin embargo, hubo respuestas diversas para el supuesto de normalidad. Peso de huevo, ancho de huevo, peso de cáscara, grosor de cáscara, porcentaje de cáscara, índice de forma de huevo, área superficial del huevo y peso de cáscara por unidad superficial reportaron normalidad ($P > 0.05$), por lo que fueron evaluadas por estadística paramétrica. Únicamente el largo de huevo no reportó normalidad ($P < 0.05$), debido a eso fue analizada por estadística no paramétrica. Por su parte, la calidad interna de huevo presentó homogeneidad de varianza ($P > 0.05$) para todas las variables, pero diferentes respuestas en el supuesto de normalidad. Peso de clara, largo de clara total, ancho de clara total, índice de clara y diámetro de yema presentaron normalidad ($P > 0.05$), indicando que dichas variables se analizaron con estadística paramétrica. Mientras que largo de clara densa, ancho de clara densa, altura de clara, Unidad Haugh, porcentaje de clara, peso de yema, altura de yema, porcentaje de yema, índice de yema y relación yema:clara no presentaron normalidad ($P < 0.05$), señalando que todas esas variables serán analizadas con estadísticos no paramétricos.



Tabla 6. Análisis de normalidad y homogeneidad de varianza de las variables evaluadas.

Características	Normalidad ¹		Homogeneidad de varianza ²		
	AD ³	Valor de P	GL ⁴	F-valor	P-valor
Rendimiento productivo					
Consumo de alimento, g	0.4019	0.3026	2	0.5258	0.6082
Porcentaje de postura, %	0.5478	0.1236	2	0.1268	0.8825
Masa de huevo, g	0.5478	0.1236	2	0.1268	0.8825
Conversión alimenticia	0.4278	0.2593	2	0.0177	0.9825
Calidad externa de huevo					
Peso de huevo, g	0.3756	0.3983	2	0.6447	0.5301
Largo de huevo, mm	0.9583	0.0141	2	0.6523	0.5262
Ancho de huevo, mm	0.1438	0.9674	2	2.0967	0.1358
Peso de cáscara, g	0.6701	0.0748	2	0.1865	0.8306
Grosor de cáscara, mm	0.3848	0.3789	2	2.7219	0.0776
Porcentaje de cáscara, %	0.1520	0.9568	2	0.0034	0.9966
Índice de forma de huevo, %	0.4439	0.2729	2	0.0647	0.9374
Área superficial del huevo, cm ²	0.3561	0.4425	2	0.6201	0.5429
Peso de cáscara por unidad superficial, mg/cm ²	0.3109	0.5402	2	0.0245	0.9758
Calidad interna de huevo					
Peso de clara, g	0.6110	0.1053	2	1.3965	0.2590
Largo de clara total, mm	0.3199	0.5217	2	0.8185	0.4482
Ancho de clara total, mm	0.6366	0.0908	2	0.7090	0.4981
Largo de clara densa, mm	0.7940	0.0365	2	0.1966	0.8223
Ancho de clara densa, mm	1.4525	0.0008	2	0.2556	0.7757
Altura de clara, mm	0.9442	0.0153	2	0.5761	0.5666
Unidad Haugh	1.2741	0.0023	2	0.2248	0.7997
Porcentaje de clara, %	2.5695	0.0000	2	1.8284	0.1735
Índice de clara, %	0.6410	0.0885	2	0.3576	0.7015
Peso de yema, g	2.2766	0.0000	2	0.7252	0.4903
Diámetro de yema, mm	0.2319	0.7887	2	2.7400	0.0764
Altura de yema, mm	1.1594	0.0044	2	0.6826	0.5110
Porcentaje de yema, %	2.4641	0.0000	2	0.9981	0.3773
Índice de yema, %	1.0857	0.0068	2	0.4199	0.6599
Relación yema:clara, %	3.6657	0.0000	2	1.4744	0.2408

¹Análisis de normalidad: Prueba de Anderson Darling.²Análisis de homogeneidad de varianza: Prueba de Levene.³AD: Anderson Darling⁴GL: Grados de libertad.

5.1.3 Rendimiento productivo

El efecto de la densidad nutricional sobre el rendimiento productivo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown se puede observar en la tabla 05. La prueba de ANOVA indicó que no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos con diferentes densidades nutricionales (DNB, DNM y DNA) para el consumo de alimento, porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia. Las gallinas alimentadas con la dieta con menor densidad nutricional (DNB) presentan el menor consumo de alimento en comparación a las otras dietas, pero el porcentaje de postura y masa de huevo es igual (90 % y 5841 g, respectivamente) a la dieta con la densidad nutricional más alta (DNA). La dieta con la densidad nutricional media (DNM o tratamiento control) presenta un porcentaje de postura, masa de huevo y conversión alimenticia superior numéricamente pero no estadísticamente.

5.1.4 Calidad de huevo

a) Calidad externa del huevo

En la tabla 06 se observa el efecto de la densidad nutricional sobre la calidad externa de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown. No se reportaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las mediciones externas del huevo (peso de huevo, largo de huevo y ancho de huevo); sin embargo, se evidenció que la densidad nutricional media (DNM o tratamiento control) presentó valores superiores en relación a dietas con densidad nutricional baja y alta. El peso de cáscara y grosor de cáscara presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), indicando que las dietas con media y baja densidad nutricional fueron superiores a la dieta con densidad nutricional alta. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P > 0.05$) para las características externas de calidad de huevo calculadas; o sea, obtenidas mediante ecuaciones matemáticas (porcentaje de cáscara, índice de forma de huevo y área superficial de huevo). No obstante, el peso de cáscara por unidad superficial (característica externa de calidad de huevo calculada) presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, siendo la dieta con densidad nutricional alta menor a las otras dietas (DNM y DNB).

b) Calidad de la clara

El efecto que tiene sobre la calidad interna del huevo (clara) de gallinas ponedoras Hy-Line Brown las dietas con diferente densidad nutricional se reporta en la tabla 7. El peso de clara, largo de clara total, ancho de clara total, ancho de clara densa



y altura de clara no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos. No obstante, el largo de clara densa reportó diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.049$) entre dietas con diferentes densidades nutricionales, siendo la dieta con densidad nutricional media la que tenía un largo de clara densa más grande. Así mismo, se puede indicar que las características de calidad de clara calculadas (obtenidas mediante ecuaciones matemáticas) como la Unidad Haugh, porcentaje de clara e índice de clara no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$).

Tabla 7. Efecto de la densidad nutricional sobre el rendimiento productivo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

Variables de rendimiento productivo	Tratamientos ¹			P-valor
	DNB	DNM	DNA	
Consumo de alimento, g	4640.25 ^a ± 97.54	4645.25 ^a ± 47.89	4702.00 ^a ± 54.52	0.403
Porcentaje de postura, %	90 ^a ± 10.07	93 ^a ± 6.00	90 ^a ± 8.33	0.827
Masa de huevo, g	5841.00 ^a ± 653.31	6035.70 ^a ± 389.40	5841.00 ^a ± 540.40	0.827
Conversión alimenticia	0.800 ^a ± 0.07	0.772 ^a ± 0.05	0.808 ^a ± 0.07	0.687

¹ Los tratamientos difieren en densidad nutricional: DNB (densidad nutricional baja), DNM (densidad nutricional media [control]) y DNA (densidad nutricional alta).

^{a-c} Las medias de los tratamientos que comparten el superíndice no difieren ($P \leq 0.05$).



Tabla 8. Efecto de la densidad nutricional sobre la calidad externa de huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

Variables de calidad externa de huevo	Tratamientos ¹			P- valor
	DNB	DNM	DNA	
Peso de huevo, g	65.17 ^a ± 3.51	66.76 ^a ± 5.33	63.27 ^a ± 3.86	0.092
Largo de huevo ² , mm	56.86 ^a ± 2.01	58.03 ^a ± 2.38	56.97 ^a ± 1.55	0.411
Ancho de huevo, mm	44.81 ^a ± 0.73	45.03 ^a ± 1.31	44.14 ^a ± 1.10	0.067
Peso de cáscara, g	6.56 ^a ± 0.48	6.57 ^a ± 0.45	6.05 ^b ± 0.45	0.003
Grosor de cáscara, mm	0.38 ^a ± 0.037	0.37 ^a ± 0.034	0.35 ^b ± 0.016	0.017
Porcentaje de cáscara, %	10.07 ^a ± 0.65	9.87 ^a ± 0.63	9.57 ^a ± 0.67	0.108
Índice de forma de huevo, %	77.92 ^a ± 2.65	77.14 ^a ± 2.75	76.73 ^a ± 2.64	0.467
Área superficial del huevo, cm ²	91.43 ^a ± 3.69	93.08 ^a ± 5.58	89.42 ^a ± 4.07	0.093
Peso de cáscara por unidad superficial, mg/cm ²	71.75 ^a ± 4.50	70.64 ^a ± 3.91	67.65 ^b ± 4.46	0.031

¹ Los tratamientos difieren en densidad nutricional: DNB (densidad nutricional baja), DNM (densidad nutricional media [control]) y DNA (densidad nutricional alta).

² Se evaluó estadística no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis, medianas).

^{a-c} Las medias de los tratamientos que comparten el superíndice no difieren ($P \leq 0.05$).



Tabla 9. Efecto de la densidad nutricional sobre la calidad interna de huevo (clara) de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

Variables de calidad de clara	Tratamientos ¹			P-valor
	DNB	DNM	DNA	
Peso de clara, g	37.30 ^a ± 2.23	38.37 ^a ± 3.81	35.43 ^a ± 4.53	0.101
Largo de clara total, mm	123.67 ^a ± 12.16	128.40 ^a ± 14.03	126.29 ^a ± 17.60	0.716
Ancho de clara total, mm	101.54 ^a ± 12.87	101.03 ^a ± 10.06	104.12 ^a ± 9.17	0.693
Largo de clara densa ² , mm	82.84 ^b ± 6.66	88.99 ^a ± 6.18	81.90 ^b ± 5.77	0.049
Ancho de clara densa ² , mm	70.47 ^a ± 5.24	70.73 ^a ± 5.17	71.78 ^a ± 4.17	0.828
Altura de clara ² , mm	8.35 ^a ± 1.07	8.37 ^a ± 1.19	8.41 ^a ± 1.08	0.769
Unidad Haugh ²	91.19 ^a ± 7.13	89.80 ^a ± 6.48	90.50 ^a ± 6.42	0.767
Porcentaje de clara ² , %	57.20 ^a ± 2.23	58.20 ^a ± 1.80	56.84 ^a ± 5.90	0.882
Índice de clara, %	7.11 ^a ± 1.21	6.65 ^a ± 1.29	6.86 ^a ± 1.19	0.616

¹ Los tratamientos difieren en densidad nutricional: DNB (densidad nutricional baja), DNM (densidad nutricional media [control]) y DNA (densidad nutricional alta).

² Se evaluó estadística no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis, medianas).

^{a-c} Las medias de los tratamientos que comparten el superíndice no difieren ($P \leq 0.05$).

Tabla 10. Efecto de la densidad nutricional sobre la calidad interna de huevo (yema) de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

Variables de calidad de yema	Tratamientos ¹			P-valor
	DNB	DNM	DNA	
Peso de yema ² , g	19.38 ^a ± 1.82	18.99 ^a ± 1.78	18.22 ^a ± 3.80	0.431
Diámetro de yema, mm	42.48 ^a ± 1.79	42.46 ^a ± 1.90	41.68 ^a ± 0.91	0.085
Altura de yema ² , mm	15.41 ^a ± 0.70	15.67 ^a ± 0.81	15.50 ^a ± 1.40	0.274
Porcentaje de yema ² , %	29.70 ^a ± 2.97	28.35 ^a ± 2.29	28.67 ^a ± 5.47	0.551
Índice de yema ² , %	37.19 ^a ± 2.24	37.91 ^a ± 1.93	37.71 ^a ± 3.70	0.859
Relación yema: clara ² , %	51.54 ^a ± 5.63	49.30 ^a ± 5.62	50.07 ^a ± 19.58	0.556

¹ Los tratamientos difieren en densidad nutricional: DNB (densidad nutricional baja), DNM (densidad nutricional media [control]) y DNA (densidad nutricional alta).

² Se evaluó estadística no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis, medianas).

^{a-c} Las medias de los tratamientos que comparten el superíndice no difieren ($P \leq 0.05$).



c) Calidad de yema

En la tabla 8 se puede observar el efecto de la densidad nutricional sobre la calidad interna de huevo (yema) en gallinas ponedoras Hy-Line Brown. El peso de yema y altura de yema no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$). Así mismo, las características de calidad de la yema calculadas (obtenidas mediante ecuaciones matemáticas) como el diámetro de yema, porcentaje de yema, índice de yema y relación yema:clara no reportaron diferencias significativas entre dietas con diferentes densidades nutricionales ($P > 0.05$). A pesar de que los resultados no evidenciaron diferencias estadísticas, se puede mencionar que en la mayoría de las características de calidad interna (yema) la densidad nutricional baja presentó una superioridad numérica en relación a los otros tratamientos (DNM y DNA).

5.2 Discusión

5.2.1. Rendimiento productivo

La investigación sobre la densidad nutricional se ha utilizado para realizar la clasificación de los alimentos de acuerdo a su composición nutricional ⁴⁷, con el propósito de elegir alimentos de calidad, mejorar la eficiencia productiva y evitar la presencia de enfermedades en los animales ⁴². En especies aviares de producción, se han utilizado dietas con diferentes densidades nutricionales para optimizar el rendimiento productivo ²⁹. Sin embargo, modificaciones en las concentraciones de energía, proteína (aminoácidos) y minerales deben considerarse al unísono y proporcionalmente ⁵, para evitar alteraciones en la deposición de energía y proteína en los productos animales ⁴⁸. Una inadecuada densidad nutricional en las aves puede conllevar a disminución de eficiencia productiva e incrementar el costo de alimentación ⁴.

En el presente estudio, evaluando el rendimiento productivo de las gallinas ponedoras se encontraron diferencias significativas entre las diferentes densidades nutricionales (DNB, DNM o control y DNA). Classen ⁴⁹, Abdollahi et al ³⁰ y Barekatain et al ³ encontraron respuestas similares para consumo de alimento entre tratamiento con densidad nutricional alta y baja en todas las fases de crecimiento (inicio, crecimiento y acabado) de pollos de engorde, señalando que las variaciones en la densidad nutricional no repercuten en un menor consumo de alimento. En relación a la mejor conversión alimenticia, las investigaciones preliminares determinaron una menor conversión alimenticia con niveles mayores de energía y proteína (aumento de la



densidad nutricional) en pollos de engorde ^{3, 50, 51}. Estas discrepancias se pueden atribuir a que la estimación de la conversión alimenticia en aves de postura es diferente a aves de carne. Por su parte, Muir et al ⁷, reportan que la conversión alimenticia es menor en gallinas ponedoras ISA Brown alimentadas con una dieta con una alta densidad nutricional (2901.32 EM kcal/Kg, 17.63 % PC, 0.893 Lisina, 0.492 Metionina, 3.981 % Calcio y 0.446 Fósforo disponible), indicando respuestas distintas con la investigación actual.

5.2.2. Calidad de huevo

a) Calidad externa de huevo

La calidad externa de huevo, evaluada como peso de huevo, largo de huevo, ancho de huevo, índice de forma de huevo y área superficial de huevo, presentaron resultados similares con todas las densidades nutricionales (DNB, DNM y DNA). Los resultados indicarían que se puede utilizar la densidad nutricional más baja que según la formulación es la dieta más económica, disminuyendo los costos de alimentación sin afectar la calidad externa de huevo; principalmente, el peso de huevo que es la característica de calidad de huevo de mayor importancia ^{36, 52, 53}. Además, las dimensiones del huevo (largo de huevo, ancho de huevo y área superficial de huevo) se ven afectadas si utilizamos cualquier dieta, pero con la DNB se puede mantener un menor tamaño que no perjudica su empaque, según los rangos reportados por Inca ^{1, 12}. Los resultados de peso de cáscara, grosor de cáscara y peso de cáscara por unidad superficial indicaron un efecto negativo cuando las gallinas reciben una dieta con una densidad nutricional alta. Así mismo, las dietas DNB y DNM presentaron un mayor peso de cáscara y grosor de cáscara, señalando que incluso con una dieta con densidad nutricional baja (2750 EM kcal/Kg, 15.40 % PC, 0.822 Lisina, 0.400 Metionina, 4.200 % Calcio y 0.300 Fósforo disponible) se puede obtener una adecuada calidad de cáscara que evitará la fácil ruptura de la cáscara para el transporte e incubación. Muir et al ⁷, concuerdan con los resultados encontrados en el presente estudio, indicando que el grosor de cáscara en gallinas ponedoras ISA-Brown incrementa según disminuye la densidad nutricional de la dieta. Por el contrario, Panda et al ⁵² y Zhang y Kim ⁵³, reportaron respuestas contradictorias, señalando que no existe diferencias significativas en la comparación de densidades nutricionales para el grosor de cáscara, esta discrepancia puede deberse a que la dieta con densidad nutricional baja que tenían fueron inferiores a los utilizados en la investigación



actual (calcio y fósforo disponible, principalmente). Es importante mencionar que los estudios mencionados anteriormente no evaluaron el peso de cáscara como peso (gramos), sino que lo evaluaron como porcentaje de cáscara (%) y tampoco evaluaron el peso de cáscara por unidad superficial (mg/cm^2). El porcentaje de cáscara no tuvo ningún efecto a la variación en la densidad nutricional de las dietas, coincidiendo con lo reportado por Panda et al ⁵², Khatibi et al ³⁶ y Muir et al ⁷.

b) Calidad de clara

Las dietas con diferente densidad nutricional no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre casi la totalidad de las características de calidad de clara de huevo. Sin embargo, la DNB presentó los mejores resultados numéricos en largo de clara total, índice de clara y Unidad Haugh (principal característica de calidad interna de huevo). Este resultado indicaría que se puede utilizar una dieta con baja densidad nutricional sin alterar la calidad de la clara. Panda et al ⁵², Zhang y Kim ⁵³, Ribeiro et al ⁵⁴, Khatibi et al ³⁶, Scappaticcio et al ⁵⁵ y Muir et al ⁷, encontraron respuestas similares, indicando que la densidad nutricional no tiene un efecto sobre la Unidad Haugh. Estos resultados permiten indicar que utilizando una dieta con densidad nutricional baja (2750 EM kcal/Kg, 15.40 % PC, 0.822 Lisina, 0.400 Metionina, 4.200 % Calcio y 0.300 Fósforo disponible) en gallinas ponedoras se puede obtener una buena calidad de clara, siendo importante porque la clara es el principal componente del huevo por su composición nutricional ¹. Es necesario mencionar que los estudios de Panda et al ⁵², Zhang y Kim ⁵³, Khatibi et al ³⁶ y Muir et al ⁷, no analizaron todas las características de calidad de huevo como si se realizó en la presente investigación. El presente estudio sugiere que deben evaluarse características de calidad como las dimensiones de clara total y clara densa, porcentaje de clara e índice de clara, debido a que puede mejorar la evaluación de la calidad de clara y no reducirlo solo a la Unidad Haugh. El largo de la clara densa reportó diferencias significativas entre tratamientos, señalando que la DNM (dieta control) mejora la calidad de la clara debido a que la clara densa tiene mayor tamaño.

c) Calidad de yema

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede indicar que no existe efecto de la densidad nutricional sobre la calidad de yema. El peso de yema, diámetro de yema y altura de yema no fueron afectados por la densidad nutricional, indicando que utilizando una dieta con DNB se puede mantener valores bajos de estas



características de calidad de yema, teniendo en cuenta que actualmente se pretende reducir las dimensiones de la yema ^{36, 56, 58}, reportaron resultados contradictorios a los encontrados en el presente estudio, señalando que a mayor densidad nutricional el peso de la yema incrementa. Estas diferencias se pueden deber a que el contenido de proteína cruda utilizados en dichos estudios fue más bajo (menores a 15.5% PC) a los utilizados en la presente investigación (DNB: 15.40%, DNM: 16.70% y DNA: 18%), siendo que mayores niveles de proteína puede incrementar el peso de clara, pero no el peso de yema ⁵⁹. Además, cabe recalcar que los estudios mencionados anteriormente presentan limitado análisis en las características de calidad de yema, no evaluaron el diámetro de yema y altura de yema. Por otra parte, el porcentaje de yema, índice de yema y relación yema:clara tampoco señalaron diferencias significativas para gallinas Hy-Line Brown alimentadas con dietas de distintas densidades nutricionales. Los resultados indican que se puede utilizar una dieta con baja densidad nutricional (dieta de bajo precio según formulación) para mantener dimensiones adecuadas de yema, 30 a 35% porcentaje de yema (1) siendo que en el presente estudio la DNB presenta un porcentaje de cáscara de 29.7 %. Estudios anteriores reportaron que la densidad nutricional no afecta el porcentaje de yema ^{7, 52, 55, 58, 60}, coincidiendo con los encontrado en la presente investigación.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las dietas con distintas densidades nutricionales (DNB, DNM o control y DNA) no afectaron el rendimiento productivo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

Las dietas con menor densidad nutricional (DNB y DNM o control) mejoraron las características de calidad de cáscara (peso de cáscara, grosor de cáscara y peso de cáscara por unidad superficial) en gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

La mayoría de características de calidad interna de huevo (clara y yema) no fueron afectadas por la densidad nutricional en dietas de gallinas ponedoras Hy-Line Brown, solo el largo de clara densa fue mayor con la DNM.

6.2 Recomendaciones

Evaluar dietas con densidades nutricionales más bajas que en el presente estudio para observar hasta cuanto se puede reducir los nutrientes sin afectar el rendimiento productivo y la calidad de huevo.

Evitar formular y usar dietas con elevada densidad nutricional debido a que encarece la alimentación y afecta la eficiencia productiva de gallinas ponedoras.

Realizar estudios similares en diferentes especies ponedoras, en diferentes líneas de gallinas de postura y en diferentes fases (inicio, crecimiento, pre-postura, pico de postura y última postura).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Inca JS. Validación de ecuaciones de predicción de las características de la calidad de huevo en gallinas de última fase de producción [Tesis posgrado]. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina; 2016. Recuperado a partir de: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2816>
2. World Health Organization. Nutrient profiling: report of a WHO/IASO technical meeting, London, United Kingdom 4-6 October. 2010.
3. Barekattain R, Romero LF, Sorbara JO, Cowieson AJ. Balanced nutrient density for broiler chickens using a range of digestible lysine to metabolizable energy ratios and nutrient density: Growth performance, nutrient utilization and apparent metabolizable energy. *Animal Nutrition*. 2021; 7(2): 430-439.
4. Richards MP, Proszkowiec-Weglarz M. Mechanisms Regulating Feed Intake, Energy Expenditure, and Body Weight in Poultry. *Poultry Science*. 2007; 86(7): 1478-1490.
5. Gous RM, Faulkner AS, Swatson HK. The effect of dietary energy:protein ratio, protein quality and food allocation on the efficiency of utilisation of protein by broiler chickens. *British Poultry Science*. 2018; 59(1): 100-109.
6. Harms RH, Russell GB, Sloan DR. Performance of four strains of commercial layers with major changes in dietary energy. *J. App. Poult. Res*. 2000; 9(4):535-541.
7. Muir WI, Akter Y, Bruerton K, Groves PJ. The influence of hen size and diet nutrient density in early lay on hen performance, egg quality, and hen health in late lay. *Poultry science*. 2022; 101(10): 1020-1041.
8. Underwood G, Andrews D, Phung T. Advances in genetic selection and breeder practice improve commercial layer hen welfare. *Animal Production Science*. 2021; 61(10): 865-866.
9. Bryden WL, Li X, Ruhnke I, Zhang D, Shini S. Nutrition, feeding and laying hen welfare. *Animal Production Science*. (2021); 61(10): 893-914.
10. Church DC, Pond WG, Pond KR. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de animales. 2th. Ed. Limusa SA. Mexico; 2003.
11. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA, Wilkinson RG. *Animal Nutrition*. 7th. Ed. Prentice Hall Pearson; 2010.
12. Inca J, Martinez D, Vilchez C. Phenotypic correlation between external and internal egg quality characteristics in 85-week-old laying hens. *International Journal of Poultry Science*. 2020; 19(8): 346-355.



13. Leeson S, Summers JD. Commercial poultry nutrition. 3rd Ed. Nottingham: University Press. Nottingham UK; 2009.
14. Tauson R, Svensson SA. Influence of plumage condition on the hen's feed requirement. Swedish Journal of Agricultural Research. 1980; 10: 35-39.
15. Tiller H. Nutrition and animal welfare in egg production systems. In 13th European symposium poultry nutrition. 2001; 13: 226-232.
16. Aerni V, Brinkhof MWG, Wechsler B, Oester H, Fröhlich E. Productivity and mortality of laying hens in aviaries: a systematic review, World's Poultry Science Journal. 2005; 61(1): 130-142.
17. Leenstra F, Maurer V, Bestman M, van Sambeek F, Zeltner E, Reuvekamp B, Galea F, van Niekerk T. Performance of commercial laying hen genotypes on free range and organic farms in Switzerland, France and the Netherlands British Poultry Science. 2012; 53(3): 282-290.
18. Leinonen I, Williams AG, Wiseman J, Guy J, Kyriazakis I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: egg production systems, Poultry Science. 2012; 91(1): 26-40.
19. MacLeod M. Nutrition-related Opportunities and Challenges of Alternative Poultry Production Systems, Lohmann Information. 2013; 48(2): 23-28.
20. Scott ML, Nesheim MC, Young RJ. Nutrition of the Chicken. New York, EE.UU. 1969.
21. National Research Council, NRC. Nutrient Requirements of Poultry. 9th Ed. The National Academies Press, Washington, EE.UU. 1994.
22. Burley HK, Anderson KE, Patterson PH, Tillman PB. Formulation challenges of organic poultry diets with readily available ingredients and limited synthetic methionine. Journal of Applied Poultry Research. 2016; 25(3): 443-454.
23. Van Krimpen MM, Leenstra F, Maurer V, Bestman M. How to fulfill EU requirements to feed organic laying hens 100% organic ingredients. Journal of Applied Poultry Research. 2016; 25(1): 129-138.
24. Leenstra F, Maurer V, Galea F, Bestman M, Amsler-Kepalaite Z, Visscher J, Vermeij I, van Krimpen M. Laying hen performance in different production systems; why do they differ and how to close the gap? Results of discussions with groups of farmers in the Netherlands, Switzerland and France, benchmarking and model calculations. Archiv für Geflügelkunde. 2014; 78: 1-10.
25. de Almeida Brainer MM, Bôa-Viagem Rabello C, Batista dos Santos MJ, Ludkec JV, da Costa Lopes C, de Medeiros WRL, Costa FGP. Crude protein requirements of free-range laying hens. Animal Production Science. 2016; 56(10): 1622-1628.



26. Ismail FSA, El-Sherif KH, El-Gogary MR, Tuama SA. Effect of nutrient density and feed form on productive performance and blood parameters of broilers chickens. *Journal of Animal and Poultry Prodction*. 2016; 7(3): 121-128.
27. Hadaeghi M, Avilés-Ramírez C, Seidavi A, Asadpour L, Núñez-Sánchez N, Martínez-Marín AL. Improvement in broiler performance by feeding a nutrient-dense diet after a mild feed restriction. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*. 2021; 34(3): 189-199.
28. Sinurat AP, Haryati T, Herliatika A, Pratiwi A. Performances of KUB chickens fed diets with different nutrient densities and BS4 enzyme supplementation. *Tropical Animal Science Journal*. 2022; 45(1): 73-83.
29. Barekatain R, Romero LF, Sorbara JOB, Cowieson AJ. Balanced nutrient density for broiler chickens using a range of digestible lysine-to-metabolizable energy ratios and nutrient density: Growth performance, nutrient utilization and apparent metabolizable energy. *Animal Nutrition*. 2021; 7(2): 430-439.
30. Abdollahi MR, Zaefarian F, Ravindran V, Selle PH. The interactive influence of dietary nutrient density and feed form on the performance of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2018. 239: 33-43.
31. Ivanovich FV, Karlovich OA, Mahdavi R, Afanasyevich EI. Nutrient density of prestarter diets from 1 to 10 days of age affects intestinal morphometry, enzyme activity, serum indices and performance of broiler chickens. *Animal Nutrition*. 2017; 3(3): 258-265.
32. Mirshekar R, Dastar B, Shabanpour B, Hassani S. Effect of dietary nutrient density and vitamin premix withdrawal on performance and meat quality of broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013; 93(12): 2979-2985.
33. Nabizadeh A, Golian A, Hassanabadi A, Zerehdaran S. Effects of nutrient density and exogenous enzymes in starter diet on performance, intestinal microflora, gut morphology and immune response of broiler chickens. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. 2017; 19(3): 509-518.
34. Kim SJ, Lee KW, Kang CW, An BK. Growth performance, relative meat and organ weights, cecal microflora, and blood characteristics in broiler chickens fed diets containing different nutrient density with or without essential oils. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2016; 29(4): 549-554.
35. Delezie E, Bruggeman V, Swennen Q, Decuypere E, Huyghebaert G. The impact of nutrient density in terms of energy and/or protein on live performance, metabolism and carcass composition of female and male broiler chickens of two commercial broiler strains. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2010; 94(4): 509-518.



36. Khatibi SMR, Zarghi H, Golian A. Effect of diet nutrients density on performance and egg quality of laying hens during the post-peak production phase of the first laying cycle under subtropical climate. *Italian Journal of Animal Science*. 2021; 20(1): 559-570.
37. García C, Cordero R. *Ganadería Ecológica y Razas Autóctonas*. Ed. Agrícola Española; 2006.
38. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. *Producción y Comercialización de Productos Avícolas*. 7th Ed. Sistema Integrado de Estadística Agraria. Boletín Estadístico Mensual; 2022. 21p.
39. Hy-Line. Guía de manejo: Ponedoras Comerciales Hy-Line Brown. [consultado 28 de diciembre de 2018]. Disponible en: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product>.
40. Lister C. Nutrient density and food quality in the context of regenerative agriculture. Contract Report for Our Land and Water National Science Challenge & The NEXT Foundation. 2021.
41. Vossenaar M, Solomons NW, Muslimatun S, Faber M, García OP, Monterrosa E, van Zutphen KG, Kraemer K. Nutrient density as a dimension of dietary quality: Findings of the Nutrient Density Approach in a multi-center evaluation. *Nutrients*. 2021; 13(11): 4016-4030.
42. Drewnowski A, Fulgoni VL. Nutrient density: principles and evaluation tools. *The American journal of clinical nutrition*. 2014; 99(5): 1223-1228.
43. D'Mello I, Felix JP. *Amino Acids in Animal Nutrition*. CAB International. 2th Edition; 2003.
44. Alvarez-Risco A. *Clasificación de las investigaciones*. Lima. Universidad de Lima. 2020: 5 p.
45. Rostagno HS, Teixeira LF, Hannas MI, Lopes J, Kazue N, Guilherme F, Saraiva A, Texeira ML, Borges P, de Oliveira RF, de Toledo SL, de Oliveira C. *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos - Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*. Ed. Departamento de Zootecnia, Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 2017; 403-404.
46. RStudio Team. *RStudio: Integrated Development for R*. Boston, USA. 2022.
47. World Health Organization. *Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation*. World Health Organization. 2003; 916. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=S6YsDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=48.%09World+Health+Organization.+Diet,+Nutrition+and+the+Prevention+of+Chronic+Diseases.+Report+of+a+Joint+WHO/FAO+Expert+Consultation.WHO+Technical+Re>



[port+Series,+no.+916.+Geneva,+Switzerland:+WHO.+2023.+http://www.Who.Int/nutrition/publications/obesity/&ots=taTOoqNHCh&sig=WS4lgTZqtjO3a5GzmgvgWKgCa1k#v=onepage&q&f=false](http://www.Who.Int/nutrition/publications/obesity/&ots=taTOoqNHCh&sig=WS4lgTZqtjO3a5GzmgvgWKgCa1k#v=onepage&q&f=false)

48. Sharma NK, Choct M, Toghyani M, Laurenson YC, Girish C, Swick, RA. Dietary energy, digestible lysine, and available phosphorus levels affect growth performance, carcass traits, and amino acid digestibility of broilers. *Poultry Sci* 2018; 97(4): 1189-1198.
49. Classen HL. Diet energy and feed intake in chickens. *Anim Feed Sci Technol.* 2017; 233:13-21.
50. Gous RM. Nutritional limitations on growth and development in poultry. *Livestock Science.* 2010; 130(1-3):25-32.
51. Hirai R, Mejia L, Coto C, Caldas J, McDaniel C, Wamsley K. Impact of feeding varying grower digestible lysine and energy levels to female Cobb MV x Cobb 500 broilers from 14-28 d on 42-day growth performance, processing, and economic return. *J Appl Poultry Res.* 2020; 29(3): 600-621.
52. Panda AK, Rama-Rao SV, Raju MVLN, Niranjana M, Reddy MR. Effect of nutrient density on production performance, egg quality and humoral immune response of brown laying (Dahlem Red) hens in the tropics. *Tropical Animal Health and Production.* 2012; 44(2): 293-299.
53. Zhang ZF, Kim IH. Effects of probiotic supplementation in different energy and nutrient density diets on performance, egg quality, excreta microflora, excreta noxious gas emission, and serum cholesterol concentrations in laying hens. *Journal of animal science.* 2013; 91(10): 4781-4787.
54. Ribeiro PAP, Matos Jr JB, Lara LJC, Araujo LF, Albuquerque R, Baião NC. Effect of dietary energy concentration on performance parameters and egg quality of White Leghorn laying hens. *Brazilian Journal of poultry science.* 2014; 16: 381-388.
55. Scappaticcio R, García J, Fondevila G, de Juan AF, Cámara L, Mateos GG. Influence of the energy and digestible lysine contents of the diet on performance and egg quality traits of brown-egg laying hens from 19 to 59 weeks of age. *Poultry Science.* 2021; 100(7): 101-211.
56. Inca JS, Martinez D, Vilchez C. Validation of prediction equations of the egg characteristics in laying hens. *Poultry Science Journal.* 2022; 10(1): 71-82.
57. Sell J, Angel CR, Escribano F. Influence of supplemental fat on weights of eggs and yolks during early egg production. *Poult Sci.* 1987; 66(11):1807-1812.



58. Wu G, Bryant MM, Voitle RA, Roland DA. Effect of dietary energy on performance and egg composition of Bovans White and Dekalb White hens during phase I. *Poult Sci.* 2005; 84(10):1610-1615.
59. Almeida TW, Silva AL, Saccomani AP, Muñoz JA, Silva RT, Franca NV, Faria DE, Faria-Filho DE. Performance and egg quality of commercial laying hens fed diets formulated using non-linear programming. *Brazilian Journal of Poultry Science.* 2019; 21(3):1-10.
60. Pérez-Bonilla A, Novoa S, García J, Mohiti-Asli M, Frikha M, Mateos GG. Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poultry science.* 2012; 91(12), 3156-3166.



ANEXOS





Figura 2. Pesado de los ingredientes para la preparación de dietas experimentales



Figura 3. Mezclado de ingredientes para la preparación de dietas experimentales siguiendo el protocolo de mezclado según la guía de procesamiento de alimentos balanceados



Figura 4. Galpón donde se construyó las jaulas para la crianza de las aves



Figura 5. Elaboración de jaulas para la crianza de las aves



Figura 6. Selección al azar de las aves que participaran en el experimento



Figura 7. Adaptación de las aves en las jaulas



Figura 8. Limpieza de los comederos y bebederos



Figura 9. Las dietas experimentales y su tratamiento



Figura 10. Toma de muestras para análisis de la calidad de huevo

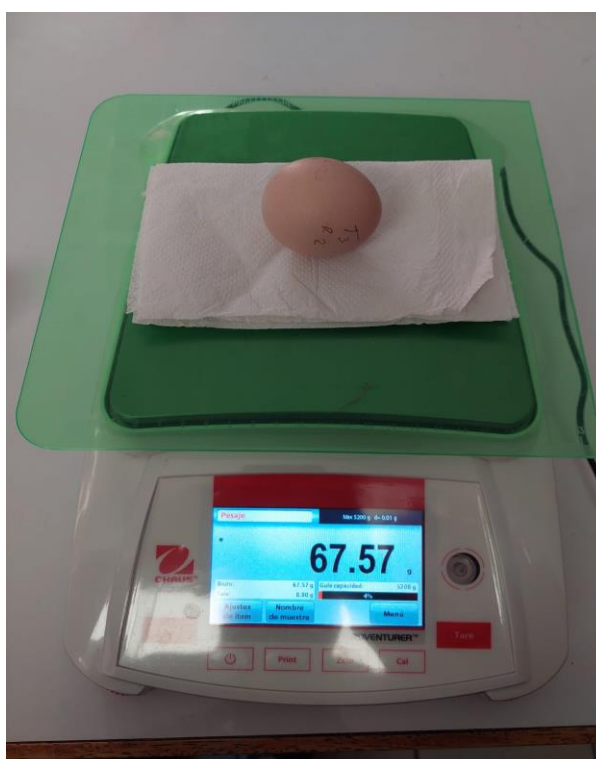


Figura 11. Determinación del peso de huevo en la prueba de calidad de huevo



Figura 12. Determinación de la calidad de huevo