

NÚMERO

42

DOCUMENTOS AVÍCOLAS

DICIEMBRE 2025



ANÁLISIS
TÉCNICO Y
ECONÓMICO DE
**PRÁCTICAS
ALTERNATIVAS
DE ALIMENTACIÓN
AVIAR Y SU EFECTO
EN LA RENTABILIDAD**

Fernando Ávila Cortes
Director de Estudios Económicos

Fonav
Fondo Nacional Avícola

 **fenavi**



ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE **PRÁCTICAS ALTERNATIVAS DE ALIMENTACIÓN AVIAR Y SU EFECTO EN LA RENTABILIDAD**

DOCUMENTOS AVICOLAS
NO. 42

**PROGRAMA DE ESTUDIOS
ECONÓMICOS**

Fernando A. Ávila Cortés
Director Programa Económico
Fenavi - FONAV

Con el apoyo de
Anderson Prieto Torres
MVZ, Especialista en Nutrición Animal

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Vector Creativo

Fonav
Fondo Nacional Avícola



www.fenavi.org
©2026



Contenido

Presentación	6
1. Requerimientos nutricionales por fase productiva de las aves	8
1.1 Pollo de engorde	9
1.2 Gallinas ponedoras	13
1.2.1 Requerimientos nutricionales en etapa de levante	14
1.2.2 Requerimientos nutricionales en etapa de producción de huevo	15
2. Composición de los alimentos en la industria avícola	18
2.1 Proteína	19
2.1.1 Fuentes de proteína	20
2.2 Energía	21
2.2.1 Fuentes de energía	21
2.3 Fibra	23
2.3.1 Fuentes de fibra	23
2.4 Minerales	24
2.5 Vitaminas	25
2.6 Aditivos naturales	26
2.7 Factores antinutricionales	26
3. Materias primas alternativas en la industria avícola	30
3.1 Fuentes de materias primas alternativas en la alimentación avícola	31
3.2 Modelos de uso de materias primas alternativas en la avicultura	32
3.3 Tendencias actuales en la inclusión de materias primas alternativas	32
3.4 Estado del arte de materias primas alternativas utilizadas en avicultura	33
3.4.1 Resultados productivos y zootécnicos en pollos de engorde y gallinas ponedoras	33

4. Caracterización bromatológica de forrajes como alternativos al alimento balanceado en la nutrición avícola	38
4.1 Análisis comparativo del modelo de sustitución del alimento balanceado con ingredientes alternativos	40
4.1.1 Consecuencias metabólicas del desbalance nutricional en dietas para broilers	43
4.1.2 Consecuencias metabólicas del desbalance nutricional en dietas para gallinas de postura.	46
5. Evaluación económica de la sustitución de ingredientes alternativos en la nutrición avícola	48
5.1 Costo establecimiento de materias primas alternativas	49
5.2 Costo de alimentación de pollos de engorde y gallinas ponedoras bajo la inclusión de dietas alternativas	51
Conclusiones	56
Bibliografía	58
Anexo	62

Tablas

Tabla 1.	Características etapas pollo engorde	9
Tabla 2.	Requerimientos nutricionales Ross 308	10
Tabla 3.	Proporciones para un perfil proteico óptimamente equilibrado	12
Tabla 4.	Requerimientos nutricionales Cobb 500	12
Tabla 5.	Características productivas pollitas de levante	14
Tabla 6.	Características productivas gallinas en postura	14
Tabla 7.	Requerimientos proteína y minerales pollitas en levante	14
Tabla 8.	Requerimientos aminoácidos pollitas en levante	15
Tabla 9.	Requerimientos energéticos pollitas en levante	15
Tabla 10.	Requerimientos proteína y minerales en producción	15
Tabla 11.	Requerimientos aminoácidos en producción	16
Tabla 12.	Requerimientos energéticos en producción	16
Tabla 13.	Requerimientos calcio y fosforo en producción	16
Tabla 14.	Importancia de los aminoácidos en avicultura	20
Tabla 15.	Materias primas fuentes de energía en avicultura	22
Tabla 16.	Importancia de los minerales en avicultura	24
Tabla 17.	Importancia de las vitaminas en aviculturat	25
Tabla 18.	Factores antinutricionales en alimentos para aves: efectos y estrategias de control	28
Tabla 19.	Estudios realizados en materias primas alternativas en producción de huevo	34
Tabla 20.	Estudios realizados en materias primas alternativas en producción de pollo	36
Tabla 21.	Composición bromatológica materias primas forrajeras analizadas	39
Tabla 22.	Resultados comparativos del modelo de sustitución en pollito preiniciación	41
Tabla 23.	Resultados comparativos del modelo de sustitución en pollito iniciación	42
Tabla 24.	Resultados comparativos del modelo de sustitución en fase de engorde	43
Tabla 25.	Resultados comparativos del modelo de sustitución en levante de pollitas.	45
Tabla 26.	Resultados comparativos del modelo de sustitución en gallina en postura	46
Tabla 27.	Costos de producción materias primas alternativas kg DM	51
Tabla 28.	Estimación costo de alimento por sustitución de 20% por ingrediente alternativo (moringa y ramio) en alimentación y nutrición de pollo de engorde	52
Tabla 29.	Comparativo costo de alimentación pollo de engorde bajo dieta convencional vs. dieta sustituida con materia prima alternativa	53
Tabla 30.	Estimación costo de alimento por sustitución de 20% por ingrediente alternativo (moringa) en alimentación y nutrición de gallina ponedora	53
Tabla 31.	Comparativo costo de alimentación de gallina ponedora bajo dieta convencional vs. dieta sustituida con materia prima alternativa	54

Presentación



La nutrición aviar constituye uno de los pilares fundamentales en los sistemas de producción animal. Su adecuada formulación determina la productividad, la salud de las aves y la calidad del producto final, ya sea carne o huevo. Una dieta balanceada, diseñada según los requerimientos fisiológicos de cada fase, optimiza el rendimiento zootécnico, reduce los costos de producción y contribuye a la sostenibilidad ambiental (FAO, 2012).

Este crecimiento plantea desafíos relacionados con la dependencia de materias primas convencionales como maíz y soya, cuyo abastecimiento está sujeto a la volatilidad de los mercados internacionales. En consecuencia, el uso de insumos alternativos como subproductos agroindustriales, harinas de insectos y granos no tradicionales emerge como una estrategia para diversificar fuentes nutricionales y promover sistemas más sostenibles (Makkar et al., 2014).

En los últimos años ha aumentado el interés por implementar prácticas alternativas de alimentación en la avicultura, especialmente entre pequeños y medianos productores que buscan reducir los costos asociados al suministro de alimento balanceado comercial. Diversos estudios realizados en Colombia y otros países latinoamericanos han reportado el potencial de ciertos forrajes y materias primas de alto contenido proteico como leguminosas, arbustivas y subproductos agroindustriales para sustituir parcialmente el alimento balanceado, con la promesa de disminuir los costos de producción.

La inclusión de tales materias primas, realizada sin un conocimiento técnico adecuado, sin asesoría de un nutricionista, sin análisis proximal de las materias primas y, en muchos casos, bajo criterios empíricos que desconocen el aporte real de proteína, energía, fibra, aminoácidos, minerales y de compuestos funcionales, sin programas de balanceo de raciones y sin valoraciones

microbiológicas ni otros análisis de calidad de la mezcla final, puede desbalancear significativamente los requerimientos establecidos para las aves en sus diferentes fases de crecimiento. Este desajuste afecta la eficiencia alimenticia, el desarrollo corporal, los parámetros productivos y, en algunos casos, el estado sanitario de los lotes.

No obstante, su uso enfrenta retos importantes: la variabilidad en su composición nutricional, la presencia de factores antinutricionales, las dificultades logísticas de acopio y procesamiento, y la necesidad de asegurar inocuidad y aceptación del mercado.

Pese a que ciertos estudios han evaluado niveles de sustitución de 10% y 15% como alternativas viables, la implementación práctica requiere validación a partir de análisis bromatológicos confiables y de ejercicios económicos que consideren no solo el costo del insumo, sino también los gastos asociados a su cultivo, transformación, procesamiento y manejo.

Este documento presenta un análisis técnico y económico comparativo entre las prácticas convencionales de alimentación balanceada y las propuestas alternativas basadas en materias primas forrajeras reportadas en literatura científica. A partir de análisis bromatológicos y ejercicios de sustitución del alimento balanceado en los niveles de 15%, se demuestra cómo estas prácticas pueden desajustar la ración, aumentar los costos de producción y generar impactos negativos en la productividad y salud de las aves.

Los resultados permiten visualizar que, para productores con más de 500 aves y para cualquier sistema que dependa de la rentabilidad del negocio la implementación de estas alternativas carece de viabilidad técnica y económica, especialmente cuando el objetivo es optimizar los costos de alimentación, un factor determinante en la sostenibilidad del sistema avícola.

1



Requerimientos nutricionales por fase productiva de las aves

La formulación de dietas para aves comerciales debe basarse en las necesidades específicas de cada etapa de desarrollo, considerando factores como la especie (pollo de engorde o ave ponedora), la genética, las condiciones ambientales y el sistema de manejo. Un suministro inadecuado de nutrientes puede afectar el crecimiento, la conversión alimenticia, la salud intestinal, la resistencia a enfermedades y, en el caso de las ponedoras, la calidad y cantidad del huevo.

1.1 Pollo de engorde

Los pollos de engorde se caracterizan por un ciclo productivo corto (30-45 días) y un rápido incremento de peso corporal, lo que exige una dieta de alta densidad nutricional en las primeras semanas, con un ajuste progresivo hacia menor proteína y mayor energía digestible en las fases finales.

Dado que el alimento representa gran parte de los costos de producción, las dietas deben aportar el equilibrio adecuado de energía, aminoácidos, ácidos grasos esenciales, minerales y vitaminas para lograr un rendimiento óptimo.

La estrategia nutricional dependerá de los objetivos del productor, considerando factores como:

- Tipo de producto final (ave viva o producto en porciones).
- Disponibilidad y costo de los ingredientes.
- Logística y capacidad operativa.
- Manejo por lotes mixtos o sexos separados.
- Edad y peso al sacrificio.
- Rendimiento y calidad de la canal.
- Exigencias del mercado (color de piel, vida útil, etc.).

Tabla 1. Características etapas pollo engorde

Cantidad de alimento ave	Inicio	Crecimiento	Finalizador 1	Finalizador 2
Periodo de alimentación (días)	0 - 10	11-22	23-42	43-55
Cantidad de alimento en kg por etapa	0.298	1.309	4.786	8.070
Peso objetivo	0.283 kg	1.023 kg	2.857 kg	4.111 kg
Tipo de alimento	Crombilizado	Pellet	Pellet	Pellet

Tabla 2. Requerimientos nutricionales Ross 308

		Cría	Crecimiento	Finalización 1	Finalización 2
Edad	días	0 - 10	11-24	25-39	40-mercado
Energía por kg	kcal	2975	3050	3100	3125
	MJ	12,4	12,8	13,0	13,1
Energía por lb	kcal	1349	1383	1406	1417
AMINOÁCIDOS DIGESTIBLES¹					
Lisina	%	1,32	1,18	1,08	1,02
Metionina + Cistina	%	1,00	0,92	0,86	0,82
Metionina	%	0,55	0,51	0,48	0,45
Treonina	%	0,88	0,79	0,72	0,68
Valina	%	1,00	0,91	0,84	0,80
Isoleucina	%	0,88	0,80	0,75	0,70
Arginina	%	1,40	1,27	1,17	1,12
Triptófano	%	0,21	0,19	0,17	0,16
Leucina		1,45	1,30	1,19	1,12
Proteína Bruta²	%	23	21,5	19,5	18,0
MINERALES					
Calcio	%	0,95	0,75	0,65	0,60
Fósforo Disponible	%	0,50	0,42	0,36	0,34
Magnesio	%	0,05-0,30	0,05-0,30	0,05-0,30	0,05-0,30
Sodio	%	0,18-0,23	0,18-0,23	0,18-0,23	0,18-0,23
Cloro	%	0,18-0,23	0,18-0,23	0,18-0,23	0,18-0,23
Potasio	%	0,60-0,90	0,60-0,90	0,60-0,90	0,60-0,90

Tabla 2. Requerimientos nutricionales Ross 308

		Cría	Crecimiento	Finalización 1	Finalización 2
MINERALES TRAZA AÑADIDOS POR KG					
Cobre	mg	16	16	16	16
Yodo	mg	1,25	1,25	1,25	1,25
Hierro	mg	20	20	20	20
Manganeso	mg	120	120	120	120
Selenio	mg	0,30	0,30	0,30	0,30
Zinc	mg	120	120	120	120
VITAMINAS AÑADIDAS POR KG					
Vitamina A	UI	13000	11000	10000	10000
Vitamina D ₃	UI	5000	4500	4000	4000
Vitamina E	UI	80	65	55	55
Vitamina K (Menadiona)	mg	4,0	3,6	3,2	3,2
Tiamina (B ₁)	mg	5	4	3	3
Riboflavina (B ₂)	mg	9	8	7	7
Niacina	mg	70	65	50	50
Ácido Pantoténico	mg	25	20	15	15
Piridoxina (B ₆)	mg	5	4	3	3
Biotina	mg	0,35	0,28	0,22	0,22
Ácido Fólico	mg	2,5	2,0	1,8	1,8
Vitamina B ₁₂	mg	0,02	0,018	0,016	0,016
ESPECIFICACIÓN MÍNIMA					
Colina por kg	mg	1700	1600	1500	1450
Ácido Linoleico	%	1,25	1,20	1,00	1,00

Fuente: Manual Pollo de Engorde Ross (2022): Especificaciones nutricionales

Tabla 3. Proporciones para un perfil proteico óptimamente equilibrado

		Edad de alimentación - días				
		0 - 10	11 - 24	25 - 39	40 - 51	>52
Lisina	%	100	100	100	100	100
Metionina + Cistina	%	76	78	80	80	80
Metionina	%	42	43	44	44	44
Treonina	%	67	67	67	67	67
Valina	%	76	77	78	78	80
Isoleucina	%	67	68	69	69	70
Arginina	%	106	108	108	110	112
Triptófano	%	16	16	16	16	16
Leucina	%	110	110	110	110	110

Tabla 4. Requerimientos nutricionales Cobb 500

Nutriente	Inicio	Crecimiento	Finalizador 1	Finalizador 2
Proteína cruda %	21-22	19-20	18-19	17-18
Energía metabolizable (MJ/kg)	12.45	12.66	12.97	13.18
Energía metabolizable (Kcal/kg)	2.975	3.025	3.100	3.150
Energía metabolizable (Kcal/lb)	1.349	1.372	1.406	1.429
Lisina digestible %	1.22	1.12	1.02	0.97
Metionina digestible %	0.46	0.45	0.42	0.40
Met + Cis digestible %	0.91	0.85	0.80	0.76
Triptófano digestible %	0.20	0.18	0.18	0.17
Treonina digestible %	0.83	0.73	0.70	0.67
Arginina digestible %	1.28	1.08	1.07	1.02

Tabla 4. Requerimientos nutricionales Cobb 500

Nutriente	Inicio	Crecimiento	Finalizador 1	Finalizador 2
Valina digestible %	0,89	0,85	0,76	0,73
Isoleucina digestible %	0.77	0.72	0.67	0.64
Calcio %	0.90	0.84	0.76	0.76
Fósforo disponible %	0.46	0.42	0.38	0.36
Sodio %	0.16 – 0,23	0.16 – 0,23	0.16 – 0,23	0.16 – 0,23
Cloro %	0.16 – 0,30	0.16 – 0,30	0.16 – 0,30	0.16 – 0,30
Potasio %	0-60 – 0.95	0-60 – 0.95	0-60 – 0.95	0-60 – 0.95
Ácido linoleico %	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Manual Coob.

1.2 Gallinas ponedoras

Las líneas de gallinas ponedoras están establecidas por animales para la producción de huevo comercial con cualquiera de los tipos de cascarón, blanco o marrón. Son de tamaño relativamente pequeño y ponen un número alto de huevos con cascarón resistente, el cual depende de su nutrición con una buena viabilidad. En varios criaderos se han venido usando líneas o estirpes de cruces especiales para la reproducción de aves comerciales que pongan huevos de cáscara color marrón, utilizando, en algunos casos, dos variedades de líneas genéticas, con lo cual se ha logrado no solo que las aves pongan huevos de cáscara color marrón, sino que los pollitos se puedan seleccionar según el sexo, al día de edad y por la diferencia en el color (Castañeda, 2010, p. 8).



Tabla 5. Características productivas pollitas de levante

Cantidad de alimento ave	Iniciación 1	Iniciación 2	Crecimiento	Desarrollo	Prepostura
Período de alimentación (semanas)	0 - 3	4 - 6	7 - 12	13 - 15	16 - 17
Cantidad de alimento en gr por etapa	402.5	714	2.219	1.505	1.099
Peso objetivo	0.190 kg	0.460 kg	1.080 kg	1.505 kg	1.440 kg
Tipo de alimento	Migajas	Harina	Harina	Harina	Harina

Tabla 6. Características productivas gallinas en postura

Cantidad de alimento ave	Postura 1	Postura 2	Postura 3	Postura 4	Postura 5
Periodo de alimentación (días)	17 - 36	37 - 46	47 - 61	62 - 72	73 - 100
Cantidad de alimento en kg por etapa	298	1.309	4.786	4.111	
Tipo de alimento	Crombilizado	Pellet	Pellet	Pellet	

1.2.1 Requerimientos nutricionales en etapa de levante

Tabla 7. Requerimientos proteína y minerales pollitas en levante

Nutriente (%)	1 - 4 sem	5 - 8 sem	9 - 12 sem	13 - 17 sem
Proteína cruda ³	20.00	18.25	17.50	15.00
Calcio ⁶	0.90	0.84	0.76	0.70
Fósforo (disponible) ⁷	0.45	0.41	0.37	0.30
Sodio	0.16	0.16	0.16	0.16
Cloro	0.18	0.18	0.18	0.18
Ácido linoleico (C18:2 n-6), %	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Hy Line.

Tabla 8. Requerimientos aminoácidos pollitas en levante

Nutriente (%)	1 - 4 sem	5 - 8 sem	9 - 12 sem	13 - 17 sem
Lisina	1.01 / 1.11	0.92 / 1.01	0.82 / 0.90	0.72 / 0.79
Metionina	0.45 / 0.49	0.42 / 0.46	0.37 / 0.40	0.35 / 0.38
Metionina + cistina	0.77 / 0.87	0.72 / 0.81	0.66 / 0.75	0.62 / 0.70
Treonina	0.65 / 0.72	0.61 / 0.68	0.55 / 0.62	0.52 / 0.58
Triptófano	0.18 / 0.22	0.17 / 0.21	0.15 / 0.18	0.14 / 0.16
Arginina	1.05 / 1.13	0.96 / 1.03	0.87 / 0.94	0.82 / 0.88
Isoleucina	0.71 / 0.76	0.65 / 0.71	0.59 / 0.65	0.56 / 0.60
Valina	0.73 / 0.80	0.68 / 0.75	0.64 / 0.71	0.61 / 0.68

Fuente: Hy Line.

Tabla 9. Requerimientos energéticos pollitas en levante

Nutriente	1 - 4 sem	5 - 8 sem	9 - 12 sem	13 - 17 sem
Energía metabolizable ² , kcal/kg	2.867 - 3.043	2.800 - 3.021	2.734 - 3.021	2.778 - 2.999
Energía metabolizable, MJ/kg	12.00 - 12.74	11.72 - 12.64	11.44 - 12.64	11.63 - 12.55

Fuente: Hy Line.

1.2.2 Requerimientos nutricionales en etapa de producción de huevo

Tabla 10. Requerimientos proteína y minerales en producción

Nutriente	18 - 20 sem	21 - 40 sem	41 - 65 sem	66 - 90 sem
Proteína cruda ⁴ , g/día	17.00	16.75	16.00	15.50
Sodio, mg/día	180	180	180	180
Cloro, mg/día	180	180	180	180
Ácido linoleico (C18:2 n-6), g/día	1.00	1.00	1.00	1.00
Colina, mg/día	100	100	100	100

Fuente: Hy Line.

Tabla 11. Requerimientos aminoácidos en producción

Nutriente (mg/día)	18 - 20 sem	2 - 40 sem	41 - 65 sem	66 - 90 sem
Lisina	830 / 909	800 / 876	780 / 854	750 / 821
Metionina	409 / 437	392 / 422	382 / 411	360 / 387
Metionina + cistina	714 / 805	688 / 776	671 / 754	630 / 711
Treonina	581 / 684	560 / 659	546 / 642	525 / 618
Triptófano	182 / 221	176 / 214	171 / 208	158 / 192
Arginina	863 / 932	832 / 895	811 / 871	777 / 835
Isoleucina	647 / 696	622 / 671	608 / 654	585 / 629
Valina	730 / 806	704 / 776	686 / 757	660 / 728

Fuente: Hy Line.

Tabla 12. Requerimientos energéticos en producción

Nutrición	18 - 20 sem	21 - 40 sem	41 - 65 sem	66 - 90 sem
Energía metabolizable	2796 - 2916	2749 - 2868	2701 - 2820	2629 - 2749
Energía metabolizable ² (MJ/kg)	11.70 - 12.20	11.50 - 12.00	11.30 - 11.80	11.00 - 11.50

Fuente: Hy Line.

Tabla 13. Requerimientos calcio y fosforo en producción

Semanas	17 - 37	38 - 48	49 - 61	62 - t90
Calcio ^{5,6} , g/día	4.20	4.30	4.50	4.80
Fósforo (disponible) ^{5,7} , mg/día	460	420	380	360
Tamaño de las partículas de calcio (fina: gruesa)	50%: 50%	40%: 60%	35%: 65%	35%: 65%

Fuente: Hy Line.

Nota: Cambios en el tamaño de las partículas de calcio, fósforo y piedra caliza se basan en la edad



2



**Composición de
los alimentos
en la industria
avícola**

La nutrición en avicultura moderna se fundamenta en el suministro preciso de nutrientes que optimicen el metabolismo, la eficiencia productiva y la calidad del producto final en pollos de engorde y aves de postura. El adecuado equilibrio de energía metabolizable, aminoácidos digestibles, ácidos grasos esenciales, minerales biodisponibles y vitaminas, es determinante para sostener el crecimiento acelerado del *broiler* y la alta demanda metabólica de la gallina ponedora. La formulación basada en digestibilidad, requerimientos específicos por fase y disponibilidad de materias primas, permite maximizar el rendimiento, mejorar la conversión alimenticia y mantener la integridad fisiológica y el bienestar de las aves dentro de sistemas de producción intensivos.

La precisión en el uso de matrices nutricionales y la variabilidad de ingredientes es fundamental para asegurar dietas costo-efectivas, técnicamente equilibradas y alineadas con los objetivos productivos de cada sistema.

2.1 Proteína

En la fabricación de alimento balanceado para aves, la proteína es uno de los nutrientes de mayor relevancia, ya que determina el aporte de aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento, mantenimiento y productividad de las aves. La calidad de la proteína, su digestibilidad, el equilibrio del perfil de aminoácidos y la ausencia de factores antinutricionales son aspectos clave en la formulación de dietas eficientes. Una adecuada selección y combinación de ingredientes proteicos permite optimizar el desempeño productivo y la eficiencia alimenticia. A continuación, se presentan las principales fuentes de proteína utilizadas en la industria avícola colombiana.



Las proteínas son macromoléculas formadas por aminoácidos que cumplen funciones estructurales, metabólicas y hormonales. En aves comerciales, constituyen uno de los nutrientes más determinantes para el crecimiento, la reproducción y la producción de carne y huevo. Más allá de la cantidad total, la calidad proteica depende de la digestibilidad y del balance de aminoácidos esenciales presentes en la dieta (Selle *et al.*, 2023).

Los aminoácidos esenciales lisina, metionina, treonina y triptófano deben ser suministrados de manera precisa, ya que las aves no los pueden sintetizar. Una deficiencia en cualquiera de ellos ocasiona el denominado "*aminoácido limitante*", que restringe el aprovechamiento de la proteína total. En pollos de engorde, la lisina es crítica para el desarrollo muscular, mientras que la metionina participa en la síntesis de plumas y procesos de metilación. La treonina interviene en la producción de mucinas y en la integridad intestinal, y el triptófano regula el comportamiento y la ingesta al ser precursor de serotonina (Qaid *et al.*, 2021).

Las investigaciones recientes confirman que reducir la proteína bruta de la dieta y suplementar aminoácidos cristalinos mejora la eficiencia en el uso del nitrógeno, reduciendo la excreción ambiental sin comprometer el rendimiento productivo (Ravindran, 2019; Selle *et al.*, 2023).

Tabla 14. Importancia de los aminoácidos en avicultura

Aminoácido	¿Para qué sirve?	Importancia en gallinas ponedoras (huevo)	Importancia en pollos de engorde (carne)
Lisina	Ayuda a formar músculo y proteínas.	Mejora la calidad del huevo (albúmina más firme y cáscara más resistente).	Hace que los pollos crezcan más rápido y con más carne magra.
Metionina	Fortalece plumas y protege contra el estrés.	Aumenta la producción de huevo y mejora la calidad de la yema.	Mejora el plumaje y hace más eficiente la conversión del alimento en carne.
Treonina	Protege el intestino y ayuda a digerir mejor.	Mantiene la salud intestinal y la absorción de minerales para cáscaras fuertes.	Favorece la digestión cuando se usan dietas más fibrosas.
Triptófano	Regula el apetito y el comportamiento.	Reduce el estrés y el picoteo entre gallinas; mejora la persistencia en la postura.	Controla la ingesta y ayuda a un crecimiento más parejo de los pollos.
Isoleucina	Aporta energía y forma proteínas.	Ayuda a mantener la producción de huevo en etapas largas de postura.	Mejora la eficiencia del alimento y favorece el desarrollo de carne magra.
Valina	Da energía y balancea el crecimiento	Favorece la producción sostenida y el tamaño del huevo	Estimula el crecimiento muscular junto con lisina e isoleucina.
Arginina	Refuerza defensas y fertilidad	Mejora la fertilidad y la calidad de los huevos	Favorece el desarrollo del sistema inmune y la ganancia de peso.

Fuente: (Baker, 2009; NRC, 1994; Wu, 2014).

En la nutrición de aves de carne y postura, las materias primas proteicas constituyen la base para garantizar el aporte adecuado de proteína digestible y aminoácidos esenciales. Según las tablas de composición de FEDNA, las fuentes proteicas presentan una gran variabilidad en cuanto a contenido de proteína bruta, energía metabolizable, digestibilidad ileal estandarizada de aminoácidos y niveles de fibra o factores antinutricionales, lo que condiciona su inclusión en las dietas.

2.1.1. Fuentes de proteína

Harina o torta de soya 47%

La harina de soya desgrasada es la fuente proteica de mayor uso en la avicultura mundial, con un contenido de proteína bruta cercano a 47% y un perfil aminoacídico balanceado, destacando en lisina digestible (Selle *et al.*, 2023). En pollos de engorde, favorece el desarrollo muscular y la conversión alimenticia, mientras que en ponedoras contribuye al mantenimiento de la producción de huevo y a la calidad de la albúmina (Zhang *et al.*, 2020). Su alta digestibilidad y disponibilidad la convierten en el ingrediente de referencia en

Harina de girasol 36%

La harina de girasol aporta entre 34-36% de proteína, con niveles interesantes de treonina y valina, aunque limitada en lisina y energía metabolizable (FEDNA, 2019). Su uso en dietas de pollos permite diversificar fuentes proteicas y reducir la dependencia de soya importada. En gallinas ponedoras, puede mejorar el perfil de aminoácidos sulfurados de la dieta y, gracias a su mayor contenido de fibra, favorecer la salud intestinal (Kara *et al.*, 2016).

Harina de pescado

Es una proteína animal de alta calidad (60-65% PB), con excelente digestibilidad y alto contenido de lisina y metionina, además de ácidos grasos poliinsaturados (Ravindran, 2019). En pollos de engorde, su inclusión mejora el crecimiento temprano y la eficiencia alimenticia; en gallinas ponedoras, contribuye a mejorar el contenido de ácidos grasos omega-3 en la yema, lo que incrementa el valor funcional del huevo (Morrissey *et al.*, 2021).

Harina de carne y hueso

Contiene entre 45-55% de proteína y es una fuente importante de calcio y fósforo altamente biodisponibles (NRC, 1994). En *broilers*, se utiliza como complemento proteico-mineral para mejorar la mineralización ósea y aportar aminoácidos esenciales. En ponedoras, puede contribuir al mantenimiento de la calidad de la cáscara y al ahorro en suplementos inorgánicos de fósforo (Aftab, 2019).

Gluten de maíz 60%

El gluten de maíz destaca por su alto contenido proteico ($\approx 60\%$) y su elevada concentración de metionina y leucina (FEDNA, 2019). En pollos de engorde, favorece el crecimiento y el color de la piel por su aporte de xantofilas. En gallinas ponedoras, mejora la pigmentación de la yema, característica valorada en mercados que prefieren tonalidades amarillas intensas (Swiatkiewicz *et al.*, 2012).

2.2 Energía

La energía es el principal regulador del consumo de alimento en las aves y se obtiene principalmente de cereales y aceites vegetales. La formulación se basa en la energía metabolizable (EM), que representa la fracción realmente aprovechable después de descontar pérdidas en heces y orina. Mantener un nivel adecuado de EM es esencial, ya que un déficit reduce el crecimiento y la producción, mientras que un exceso disminuye el consumo de alimento y genera desbalances nutricionales (Ravindran, 2019).

En condiciones de estrés calórico, el consumo energético se reduce, lo que obliga a ajustar la densidad energética de la dieta para sostener la productividad (Qaid *et al.*, 2021).

La energía constituye el principal regulador del consumo en aves y proviene principalmente de cereales y aceites vegetales. Según las Tablas FEDNA (De Blas *et al.*, 2019), estas materias primas difieren en su contenido de energía metabolizable (EM), fibra y almidón, lo que determina su aporte y nivel de inclusión en dietas para pollos de engorde y gallinas ponedoras.

2.2.1 Fuentes de energía

Maíz

El maíz es el cereal energético más utilizado en nutrición aviar, con valores de EM elevados (≈ 3.400 kcal/kg) y bajo contenido de fibra. Aporta almidón altamente digestible y pigmentos xantofílicos. En pollos de engorde, favorece la conversión alimenticia y el crecimiento rápido. En gallinas ponedoras, mejora la pigmentación de la yema, característica apreciada en mercados donde se prefiere un color amarillo intenso (Fletcher *et al.*, 1985).

Trigo

Con niveles de EM cercanos a 3.200-3.300 kcal/kg y mayor proteína bruta que el maíz, el trigo se utiliza como alternativa energética-proteica. Su inclusión en dietas de pollos mejora la uniformidad y el peso corporal, aunque requiere el uso de enzimas exógenas (xilanasas) para contrarrestar los efectos de los polisacáridos no amiláceos (Ravindran, 2019). En gallinas ponedoras, favorece la persistencia de la producción en fases intermedias del ciclo.

Cebada

La cebada presenta una EM más baja (≈ 2.700 - 2.800 kcal/kg) y mayor fibra, lo que limita su uso en pollos jóvenes. Sin embargo, en gallinas ponedoras puede mejorar la salud intestinal y la consistencia de la cáscara de huevo cuando se combina con enzimas fibrolíticas. Se recomienda como parte de dietas diversificadas en sistemas de producción con costos de maíz elevados.

Sorgo

Con un valor energético similar al del maíz (≈ 3.200 - 3.300 kcal/kg), el sorgo es ampliamente utilizado en regiones tropicales. Su principal limitación son los taninos, que reducen la digestibilidad, aunque las variedades modernas tienen bajo contenido. En pollos de engorde, permite mantener buenos índices productivos, y en ponedoras contribuye a dietas energéticas cuando el maíz es escaso o costoso.

Aceites vegetales

Los aceites aportan energía altamente concentrada (≈ 8.000 - 9.000 kcal/kg de EM), mejorando la densidad energética de la dieta y la eficiencia de absorción de vitaminas liposolubles. En pollos de engorde, incrementan la ganancia de peso y reducen el calor metabólico, siendo estratégicos en climas cálidos. En gallinas ponedoras, sostienen la producción y la calidad del huevo bajo condiciones de estrés calórico (Qaid et al., 2021).

Tabla 15. Materias primas fuentes de energía en avicultura

Materia prima	EM aves (kcal/kg)	Beneficios en pollos de engorde	Beneficios en gallinas ponedoras	Fuente
Maíz	3.400	Alta digestibilidad, crecimiento rápido, buena conversión alimenticia.	Pigmentación de la yema; sostiene alta producción.	FEDNA (2019); Fletcher et al. (1985)
Trigo	3.250	Mejor uniformidad y peso corporal; requiere enzimas para PNAs.	Favorece persistencia de puesta en fases medias.	FEDNA (2019); Ravindran (2019)
Cebada	2.750	Uso limitado en pollos jóvenes; mejora salud intestinal con enzimas.	Mejora consistencia de la cáscara; útil en dietas diversificadas.	FEDNA (2019); Qaisrani et al. (2014)
Sorgo	3.200	Similar al maíz; variedades modernas bajas en taninos mantienen índices productivos.	Alternativa cuando el maíz es escaso; mantiene productividad.	FEDNA (2019); Selle et al. (2010)
Aceites vegetales (soya, palma, girasol)	8.500	Alta densidad energética; mejora ganancia de peso y reduce calor metabólico en climas cálidos.	Sostiene producción bajo estrés calórico; mejora calidad del huevo.	Ravindran (2019); Qaid et al. (2021)

2.3 Fibra

La fibra dietética, tradicionalmente considerada un componente diluyente en la formulación de dietas avícolas, ha adquirido mayor relevancia en los últimos años debido a su papel funcional en la salud digestiva. Aunque las aves carecen de enzimas endógenas para degradar polisacáridos no amiláceos (PNA), pequeñas inclusiones de fibra insoluble como cascarilla de arroz, avena o subproductos de oleaginosas favorecen el desarrollo del tracto gastrointestinal, estimulan la secreción de enzimas digestivas y mejoran la motilidad intestinal (Mateos *et al.*, 2012).

En ponedoras, niveles moderados de fibra contribuyen a la consistencia de la yema y calidad del cascarón, mientras que en pollos de engorde pueden mejorar el rendimiento de canal al favorecer un sistema digestivo más eficiente. Sin embargo, un exceso de fibra soluble (ej.: en subproductos como la pulpa de remolacha o cascarilla de soya) puede aumentar la viscosidad intestinal, reducir la digestibilidad de nutrientes y comprometer la **conversión alimenticia** (González-Alvarado *et al.*, 2007).

La inclusión estratégica de **enzimas exógenas (xilanasas, β -glucanasas)** permite liberar energía y nutrientes atrapados en la fracción fibrosa, maximizando el valor nutritivo de materias primas alternativas ricas en PNA.

2.3.1 Fuentes de fibra

Subproductos de cereales

Los subproductos derivados del procesamiento de cereales constituyen una de las principales fuentes de fibra en los alimentos balanceados. Entre los más utilizados se encuentran el salvado de trigo, el salvado de arroz y el afrecho o subproducto de maíz.

Estos ingredientes aportan principalmente fibra insoluble, la cual estimula el desarrollo de la molleja, incrementa el tiempo de retención del alimento y mejora la digestión de otros nutrientes como el almidón y las proteínas. En aves ponedoras, el uso de salvado de trigo es común debido a su efecto sobre la saciedad y la reducción de comportamientos indeseables como el picaje. En pollos de engorde, su inclusión es más limitada para evitar una reducción en la densidad energética de la dieta.

Subproductos de oleaginosas

Las harinas proteicas vegetales también aportan fibra, además de proteína. Entre ellas se destacan la harina de soya, la harina de girasol, la harina de canola y la torta o harina de algodón. La fibra presente en estos ingredientes forma parte de la pared celular vegetal y su concentración depende del tipo de semilla y del proceso de extracción del aceite. La harina de soya presenta un contenido moderado de fibra, mientras que las harinas de girasol y canola suelen contener niveles más elevados. Un uso excesivo de estas fuentes puede disminuir la energía metabolizable de la dieta y, en algunos casos, introducir factores antinutricionales que deben ser controlados, especialmente en aves jóvenes.

Cascarillas y residuos fibrosos

Las cascarillas y otros residuos fibrosos son ingredientes con alto contenido de fibra cruda, particularmente lignificada. Dentro de este grupo se incluyen la cascarilla de arroz, la cascarilla de avena y la pulpa de remolacha. Estos ingredientes se utilizan en bajos niveles, principalmente en dietas para aves ponedoras y reproductoras. La pulpa de remolacha aporta una fibra más fermentable que puede favorecer el desarrollo de una microbiota intestinal beneficiosa, mientras que las cascarillas aportan fibra insoluble que mejora la estructura del alimento y la función mecánica del sistema digestivo.

Fibra funcional o purificada

En la nutrición avícola moderna se han incorporado fuentes específicas de fibra funcional, como la celulosa purificada, la lignocelulosa y la cáscara de soya. Estas fibras se caracterizan por tener una estructura definida y un efecto fisiológico controlado sobre el tracto digestivo. Su inclusión permite estimular la actividad de la molleja, mejorar la salud intestinal y favorecer la uniformidad del lote sin reducir de manera significativa la energía de la dieta. Son ampliamente utilizadas tanto en pollos de engorde, especialmente en fases tempranas, como en ponedoras de alta producción.

2.4 Minerales

En el alimento balanceado para pollos de engorde y gallinas ponedoras, los minerales y las vitaminas se incorporan en cantidades precisas para cubrir los requerimientos nutricionales específicos de cada etapa productiva. Debido a que estos micronutrientes se requieren en bajas concentraciones, pero cumplen funciones fisiológicas esenciales, su suministro debe ser controlado y homogéneo dentro de la dieta.

Los minerales participan en funciones estructurales, enzimáticas y de regulación metabólica. Entre los macrominerales destacan (sodio, cloro, potasio, magnesio, calcio (Ca) y el fósforo (P), fundamentales para el desarrollo óseo y la calidad de la cáscara del huevo). La relación calcio-fósforo es crítica, con un ideal cercano a 2:1 en pollos y 13:1 en ponedoras (NRC, 1994). Se incluyen principalmente mediante premmezclas minerales, sales técnicas, fosfatos y fuentes específicas como carbonato de calcio o fosfato bicálcico.

Microminerales o minerales traza (hierro, zinc, manganeso, cobre, yodo y selenio), actúan como cofactores enzimáticos y antioxidantes. Su suplementación en formas orgánicas o quelatadas ha demostrado mejorar la biodisponibilidad y la respuesta productiva bajo condiciones de estrés (Bello *et al.*, 2020).

En la práctica, las dietas de las aves de corral deben suplementarse con macrominerales y oligoelementos, ya que las dietas típicas, basadas en cereales, son carentes en ellos. Las formas orgánicas de algunos oligoelementos están actualmente disponibles y se considera que, en general, tienen una mayor biodisponibilidad que las formas inorgánicas. (FAO, 2012)

Tabla 16. Importancia de los minerales en avicultura

Mineral	Función principal	Importancia en aves
Calcio (Ca)	Formación ósea y cáscara de huevo.	Deficiencias producen huevos frágiles y raquitismo (Bello <i>et al.</i> , 2020).
Fósforo (P)	Metabolismo energético y esquelético.	Su disponibilidad depende del uso de fitasas (Cowieson <i>et al.</i> , 2019).
Sodio (Na)	Balance electrolítico.	Regula el consumo de agua y homeostasis (Mateos <i>et al.</i> , 2019).
Zinc (Zn)	Cofactor enzimático.	Favorece regeneración de tejidos y crecimiento (Surai <i>et al.</i> , 2019).
Manganeso (Mn)	Metabolismo de hueso y carbohidratos.	Previene deformidades óseas (Bello <i>et al.</i> , 2020).
Selenio (Se)	Defensa antioxidante.	Mejora fertilidad y respuesta inmune (Surai <i>et al.</i> , 2019).

2.5 Vitaminas

Las vitaminas se adicionan a través de premezclas vitamínicas formuladas específicamente para aves, ya que son compuestos sensibles al calor, la humedad y la luz. Estas premezclas incluyen vitaminas liposolubles (A, D, E y K) cumplen funciones antioxidantes, inmunológicas y metabólicas. Su deficiencia puede causar trastornos fisiológicos y reducir el rendimiento productivo. Las hidrosolubles (complejo B y C) se incorporan durante el proceso de mezclado para asegurar una distribución uniforme y reducir pérdidas nutricionales.

Todas las vitaminas, salvo la C, deben suministrarse en la dieta. La vitamina C no suele considerarse un elemento esencial para la dieta, ya que puede ser sintetizada por las aves. Sin embargo, en condiciones adversas tales como el estrés por el calor, la suplementación en la dieta de vitamina C puede resultar beneficiosa. Las funciones metabólicas de las vitaminas son más complejas que las de otros nutrientes. Las vitaminas no son simples elementos constitutivos del

organismo o fuentes de energía, sino que actúan como mediadores o participan en todos los procesos bioquímicos del cuerpo (Surai *et al.*, 2019).

Debido a que las premezclas vitamíno-minerales se utilizan en cantidades muy pequeñas, no se comercializan en tiendas comunes o agropecuarias tradicionales. Su adquisición se hace a través de proveedores especializados en nutrición animal, por lo general bajo esquemas de compra al por mayor, lo que resulta especialmente viable y necesario para *batches* o volúmenes grandes de fabricación de alimento balanceado.

En la industria avícola existen proveedores tanto nacionales como internacionales que desarrollan y comercializan premezclas ajustadas a las condiciones productivas y normativas locales. Estas empresas ofrecen soporte técnico, formulaciones personalizadas y abastecimiento continuo, lo que garantiza la calidad nutricional del alimento y la eficiencia del proceso productivo.

Tabla 17. Importancia de las vitaminas en aviculturats

Vitamina	Función principal	Importancia en aves
Vitamina A	Diferenciación celular y visión.	Previene ceguera y favorece desarrollo epitelial (Surai <i>et al.</i> , 2019).
Vitamina D	Absorción de calcio y fósforo.	Previene raquitismo y asegura cáscaras resistentes (Bello <i>et al.</i> , 2020).
Vitamina E	Antioxidante, sistema inmune.	Protege contra estrés oxidativo y mejora fertilidad (Surai <i>et al.</i> , 2019).
Vitamina K	Coagulación sanguínea.	Previene hemorragias en aves (Mateos <i>et al.</i> , 2019).
Complejo B	Cofactores en metabolismo energético.	Favorece conversión alimenticia (Ravindran, 2019).
Vitamina C	Antioxidante, respuesta al estrés.	Aumenta tolerancia al calor y reduce estrés oxidativo (Qaid <i>et al.</i> , 2021).

2.6. Aditivos naturales

En la avicultura moderna, los alimentos balanceados para aves no solo cumplen la función de aportar energía, proteína, vitaminas y minerales, sino que también incorporan de manera estratégica una amplia gama de aditivos naturales orientados a mejorar la salud intestinal, fortalecer el sistema inmunológico y optimizar el desempeño productivo. Esta tendencia responde a la necesidad de sistemas de producción más eficientes, sostenibles y con un uso responsable de insumos químicos.

Entre los aditivos más utilizados se encuentran los probióticos y prebióticos, los cuales desempeñan un papel clave en la prevención y el control de la coccidiosis, así como en el mantenimiento del equilibrio de la microbiota intestinal. Los probióticos aportan microorganismos benéficos que compiten con patógenos intestinales, estimulan la respuesta inmune y mejoran la integridad del tracto digestivo. Los prebióticos, por su parte, actúan como sustratos selectivos que favorecen el crecimiento de bacterias benéficas, fortalecen la mucosa intestinal y mejoran la absorción de nutrientes. La combinación de ambos genera un efecto simbiótico que contribuye a reducir la incidencia de enfermedades entéricas y a mejorar la eficiencia alimenticia.

Adicionalmente, los alimentos balanceados actuales incluyen ácidos orgánicos, como el ácido butírico, fórmico y propiónico, los cuales ayudan a controlar bacterias patógenas, reducir el pH intestinal y favorecer el desarrollo de las vellosidades intestinales. Así mismo, se incorporan enzimas exógenas como fitasas, xilasas y proteasas, que mejoran la digestibilidad de los ingredientes, disminuyen los factores antinutricionales y optimizan el aprovechamiento de la energía, los aminoácidos y el fósforo. Rosen, G. (2017)

Otros aditivos ampliamente utilizados son los extractos vegetales y aceites esenciales,

conocidos como aditivos fitogénicos, los cuales poseen propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias, lo que contribuye a la salud intestinal y al fortalecimiento del sistema inmunológico. De igual manera, los adsorbentes de micotoxinas desempeñan un papel fundamental al proteger a las aves de los efectos negativos de contaminantes presentes en las materias primas, salvaguardando la función hepática y el rendimiento productivo. Leeson, S., & Summers, J. D. (2009).

El objetivo principal de su adición en los alimentos balanceados es la de garantizar una producción avícola más eficiente, inocua y alineada con las exigencias del mercado y del consumidor actual.

2.7. Factores antinutricionales

En la nutrición avícola, la selección de materias primas no solo debe basarse en su contenido nutricional, sino también en la presencia de factores antinutricionales, los cuales pueden interferir con la digestión, absorción y aprovechamiento de los nutrientes. Estos compuestos, de origen natural en muchos ingredientes vegetales, pueden afectar la salud intestinal, el crecimiento, la conversión alimenticia y la productividad de las aves si no se manejan adecuadamente. La correcta identificación y manejo de los factores antinutricionales es fundamental para optimizar el desempeño productivo tanto en pollos de engorde como en gallinas ponedoras. El uso de procesamiento térmico, la selección de materias primas, el control de los niveles de inclusión y la aplicación de enzimas exógenas son prácticas comunes en la industria avícola para minimizar sus efectos negativos y garantizar dietas seguras y eficientes.

En la formulación de alimentos balanceados para aves, además de las fuentes proteicas de origen vegetal, se utilizan harinas de

origen animal, tanto de pescado como de mamíferos y de la propia industria avícola. Estas materias primas se caracterizan por su alto valor biológico, buena concentración de aminoácidos esenciales y aporte de minerales, especialmente calcio y fósforo.

A diferencia de los ingredientes vegetales, no contienen factores antinutricionales clásicos; sin embargo, su uso inadecuado puede causar limitaciones nutricionales, metabólicas, sanitarias y productivas en pollos de engorde y gallinas ponedoras.

La harina de pescado es una fuente de proteína de alta digestibilidad y excelente perfil aminoacídico. No obstante, cuando presenta oxidación de lípidos, exceso de histamina o deficiencias en su almacenamiento, puede reducir el consumo de alimento, afectar la salud hepática y generar problemas de palatabilidad.

En gallinas ponedoras, inclusiones elevadas pueden incluso alterar el sabor del huevo. Por ello, su uso requiere control de frescura, aplicación de antioxidantes y límites de inclusión adecuados.

Las harinas de origen animal (bovino-porcino), como la harina de carne y hueso, aportan proteína y minerales, pero presentan una alta variabilidad en su composición, dependiendo del origen y del proceso de fabricación. Un contenido elevado de cenizas, especialmente calcio y fósforo, puede interferir con la absorción de otros nutrientes y afectar el desempeño productivo si no se formula de manera correcta. Además, procesos térmicos inadecuados pueden disminuir la digestibilidad de aminoácidos clave como la lisina.

Dentro de este grupo también se incluyen los subproductos de origen aviar, tales como harina de plumas, harina de sangre y harina de huesos, cuyo uso implica consideraciones técnicas adicionales cuando son consumidos por la misma especie. La harina

de plumas, aunque rica en proteína, contiene queratina de baja digestibilidad, por lo que solo es aprovechable cuando ha sido correctamente hidrolizada. La harina de sangre presenta un alto contenido de lisina, pero un desequilibrio en aminoácidos esenciales, lo que puede afectar el crecimiento y la postura si no se corrige en la formulación. La harina de huesos, por su parte, es fundamentalmente una fuente mineral y su uso excesivo puede generar desbalances en la relación calcio:fósforo, con efectos negativos sobre el crecimiento óseo y la calidad de la cáscara del huevo.

En Colombia, el uso de harinas de origen animal en la alimentación avícola está sujeto a un marco sanitario y normativo definido, orientado a proteger la sanidad animal, la inocuidad de los alimentos y la bioseguridad de la cadena productiva. La autoridad competente es el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, que regula la producción, comercialización y uso de materias primas para alimentación animal.

Desde el punto de vista sanitario y normativo, las harinas animales deben provenir de plantas de beneficio y de *rendering* autorizadas, cumplir con procesos térmicos validados, y garantizar trazabilidad, control microbiológico y calidad bromatológica.

En Colombia está permitido el uso de harinas de origen animal en alimentación avícola, como las de pescado y las de origen mamífero, siempre que cumplan con la normativa vigente.

Sin embargo, existen restricciones para el reciclaje intraespecie, es decir, el uso de subproductos de aves para alimentar aves, debido a consideraciones sanitarias y de bioseguridad. Por esta razón, el empleo de harinas de plumas, sangre o subproductos aviares debe evaluarse cuidadosamente y ajustarse estrictamente a lo establecido por el ICA y a los lineamientos de buenas prácticas de manufactura.

Tabla 18. Factores antinutricionales en alimentos para aves: efectos y estrategias de control

Fuente	Factor antinutricional	Efecto en pollos de engorde	Efecto en ponedoras	Forma de inactivarlo o controlarlo
Soya (grano/harina)	Inhibidores de tripsina.	Disminuye digestión de proteína, menor ganancia de peso.	Reducción en producción y tamaño del huevo.	Tratamiento térmico adecuado (tostado, extrusión).
Soya	Lectinas.	Daño en la mucosa intestinal, menor absorción de nutrientes.	Disminución de eficiencia alimenticia.	Procesamiento térmico.
Soya	Oligosacáridos (raffinosa, estaquiosa).	Aumento de gases, menor energía utilizable.	Consumo irregular, menor postura.	Uso de enzimas (α -galactosidasa)
Maíz	Fitatos.	Quelan Ca, P y Zn, reduciendo su disponibilidad.	Menor crecimiento óseo.	Cáscara débil, menor calidad del huevo.
Trigo, cebada.	Polisacáridos no amiláceos (β -glucanos, arabinoxilanos).	Aumento viscosidad intestinal, peor conversión.	Menor absorción de nutrientes.	Enzimas (xilanasas, β -glucanasas).
Sorgo	Taninos	Menor digestibilidad de proteína y energía afecta la palatabilidad.	Reducción en ganancia de peso.	Disminución en postura.
Algodón	Gosipol	Toxicidad, daño hepático, anemia.	Reducción fertilidad y postura.	Limitación de inclusión, uso de hierro.
Canola	Glucosinolatos	Alteraciones tiroideas, reducir el consumo.	Disminución de producción.	Control de inclusión, variedades mejoradas.
Leguminosas (arveja, haba)	Inhibidores enzimáticos.	Menor digestión proteica.	Menor eficiencia alimenticia.	Cocción, extrusión.
Subproductos vegetales	Saponinas	Irritación intestinal, menor consumo	Alteración absorción de nutrientes	Secado controlado (≤ 60 °C), control de niveles de aminoácidos esenciales
Yuca (raíz, harina)	Glucósidos cianogénicos (linamarina, lotaustralina $\rightarrow$ HCN)	Disminución del consumo, bajo crecimiento, toxicidad.	Menor postura y calidad del huevo	Secado, cocción, fermentación, ensilaje.
Yuca	Bajo contenido proteico y aminoácidos limitantes.	Menor ganancia de peso si no se suplementa	Deficiencias nutricionales.	Suplementación con proteína y AA sintéticos

**Tabla 18. Factores antinutricionales en alimentos para aves:
efectos y estrategias de control**

Fuente	Factor antinutricional	Efecto en pollos de engorde	Efecto en ponedoras	Forma de inactivarlo o controlarlo
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Mimosina	Retraso en crecimiento, alteraciones metabólicas.	Baja postura, problemas reproductivos.	Secado, fermentación, limitación de inclusión.
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Taninos	Menor digestibilidad proteica.	Menor eficiencia alimenticia.	Secado controlado ($\leq 60^{\circ}\text{C}$), control de niveles de aminoácidos esenciales.
Arroz (afrecho, pulidura)	Fitatos	Menor disponibilidad de P, Ca y Zn.	Cáscara débil, menor calidad del huevo.	Uso de fitasas.
Fríjol, haba, arveja	Lectinas	Daño intestinal, menor absorción de nutrientes.	Disminución eficiencia productiva.	Cocción, extrusión.
Fríjol, haba	Inhibidores de proteasas	Menor digestión proteica.	Menor postura.	Tratamiento térmico.
Lupino	Alcaloides	Reducción del consumo, toxicidad leve.	Disminución de postura.	Selección varietal, desamargado.
Moringa	Saponinas	Irritación intestinal, menor consumo.	Reducción eficiencia alimenticia.	Secado, control de inclusión.

Fuente: McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. *Animal Nutrition*. 7th Edition, Pearson. García, M., & Dale, N. (2006).

3



**Materias primas
alternativas en la
industria avícola**

En avicultura, las dietas se han formulado históricamente con cereales (maíz, trigo, sorgo) como base energética y harina de soya como fuente proteica principal (De Blas *et al.*, 2019). Estas materias primas presentan alto valor nutricional, homogeneidad y previsibilidad en formulación, lo que explica su predominio en grandes integraciones avícolas con sistemas intensivos de pollos de engorde y gallinas ponedoras.

Sin embargo, en la búsqueda de reducir los costos de producción en la avicultura, se ha incrementado el interés por el uso de **dietas alternativas** en la alimentación de las aves, las cuales aparentemente representan una opción más económica frente al alimento balanceado comercial. Estas dietas suelen basarse en materias primas no convencionales, subproductos agrícolas o ingredientes disponibles localmente.

3.1 Fuentes de materias primas alternativas en la alimentación avícola

Subproductos agroindustriales

Los subproductos agroindustriales constituyen una de las principales fuentes de materias primas alternativas en la alimentación avícola. Entre los más utilizados se encuentran los DDGS de maíz, la cascarilla de café, las pulpas de remolacha, los residuos de panificación y las harinas de oleaginosas locales, como colza, girasol y algodón. Estos ingredientes pueden aportar proteína y energía a un menor costo en comparación con las materias primas convencionales; sin embargo, presentan variabilidad en su composición nutricional y, en algunos casos, la presencia de factores antinutricionales que limitan su uso (Swiatkiewicz *et al.*, 2012).

En pollos de engorde (*broilers*), diversos estudios han demostrado que estos

subproductos pueden sustituir parcialmente al maíz o la harina de soya, sin afectar la ganancia de peso ni la eficiencia productiva, siempre que se controlen los niveles de inclusión. En gallinas ponedoras, su uso contribuye a la diversificación de las dietas y a la reducción de costos, aunque es indispensable realizar un adecuado balance de aminoácidos esenciales, generalmente mediante suplementación sintética, para evitar disminuciones en la producción y calidad del huevo (Saleh *et al.*, 2021).

Forrajes y recursos locales

El uso de forrajes verdes y recursos locales cobra especial relevancia en sistemas avícolas de pequeña escala, como los de traspatio y los sistemas semi-intensivos con menos de 200 aves. Entre los materiales más empleados se destacan la alfalfa, morera, nacedero (*Trichanthera gigantea*), botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y yuca forrajera.

Estos recursos aportan proteína bruta (15-25%), además de carotenoides y minerales, y han demostrado efectos positivos sobre la pigmentación de la yema y la calidad del huevo en sistemas alternativos. No obstante, su uso presenta limitaciones importantes, principalmente debido a su baja densidad energética y alto contenido de fibra, lo que restringe su inclusión en sistemas intensivos de alta producción, donde las aves requieren dietas altamente concentradas.

Harinas de insectos

Las harinas de insectos han emergido como una alternativa innovadora y sostenible dentro de la nutrición avícola. En particular, la harina de larva de *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) y la harina de *Tenebrio molitor* (gusano de la harina) se destacan por su alto contenido de proteína (40-60%), buena digestibilidad y un perfil adecuado de aminoácidos esenciales (Gasco *et al.*, 2020).

En *broilers*, estas harinas han mostrado resultados favorables en el crecimiento y pueden sustituir parcialmente la harina de pescado. En ponedoras, su inclusión se ha asociado con mejoras en la calidad del huevo y con la posibilidad de incorporar lípidos que aportan ácidos grasos de interés nutricional. Sin embargo, su principal limitación radica en que la producción a escala industrial aún resulta costosa, lo que restringe su inclusión masiva en las grandes integraciones avícolas.

3.2 Modelos de uso de materias primas alternativas en la avicultura

Actualmente, pueden identificarse dos modelos principales de alimentación avícola que incorporan materias primas alternativas. Por un lado, se encuentran las grandes integraciones avícolas, las cuales avanzan hacia modelos de economía circular mediante la transformación de residuos orgánicos en proteína de insecto de alto valor nutricional, utilizando larvas de *Hermetia illucens*. A partir de este proceso se obtienen:

- Harina de insecto, rica en proteína y aminoácidos esenciales.
- Aceite de insecto, como fuente energética.
- Fertilizante orgánico, como subproducto del proceso

Este modelo ofrece una alternativa sostenible y emergente para la alimentación animal, incluyendo avicultura, acuicultura, mascotas y otros sistemas pecuarios. La estandarización, seguridad y disponibilidad en volúmenes comerciales de estos ingredientes son un factor clave para su adopción en sistemas intensivos y para la reducción de la dependencia de materias primas tradicionales, como la soya. No obstante, su uso a gran escala aún se encuentra en fase de validación y escalamiento.

Por otro lado, se encuentran los agroproductores avícolas de subsistencia, generalmente con menos de 200 aves, quienes recurren al uso de forrajes locales e ingredientes no convencionales, como morera, nacedero (*Trichanthera gigantea*) leucaena (*Leucaena leucocephala*), harina de yuca, harina de lombriz y residuos agroindustriales regionales. Aunque estas prácticas permiten reducir costos y aprovechar recursos disponibles, presentan limitaciones en la consistencia nutricional y requieren conocimiento técnico para evitar desbalances que afecten la productividad y la salud de las aves.

3.3 Tendencias actuales en la inclusión de materias primas alternativas

Las tendencias actuales en la alimentación avícola con materias primas alternativas se orientan principalmente hacia dos enfoques complementarios. **El primero, consiste en la sustitución parcial de fuentes proteicas convencionales, como la harina de soya, por ingredientes alternativos, manteniendo el equilibrio nutricional de la dieta.** Este enfoque requiere la realización de un análisis bromatológico del ingrediente y la aplicación de un programa de balanceo de raciones, ajustado tanto a la etapa productiva del ave como al sistema de producción (pollos de engorde, ponedoras, traspatio o sistemas intensivos).

El segundo enfoque se basa en la reducción del consumo diario de alimento balanceado, sustituyendo una cantidad específica en gramos por una materia prima alternativa. Si bien esta práctica puede causar una disminución aparente de los costos de alimentación, debe ser evaluada cuidadosamente, ya que puede provocar desbalances nutricionales si no se consideran adecuadamente los requerimientos de energía, proteína, aminoácidos, minerales y vitaminas de las aves.

3.4 Estado del arte de materias primas alternativas utilizadas en avicultura

A pesar de su atractivo económico, diversas investigaciones han evidenciado que muchas de estas alternativas no permiten lograr un balance nutricional completo, especialmente en términos de energía, proteína, aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas. Esta limitación puede afectar el desempeño productivo de las aves, reflejándose en una menor ganancia de peso, disminución en la producción y calidad del huevo, y un impacto negativo en la salud y eficiencia alimenticia.

Por lo tanto, aunque las dietas alternativas pueden reducir costos en el corto plazo, su uso sin una adecuada formulación y evaluación técnica puede generar pérdidas pro-



ductivas que contrarresten el beneficio económico inicial. Esto resalta la importancia de analizar no solo el costo del alimento, sino también su capacidad para cubrir los requerimientos nutricionales específicos de las aves.

3.4.1 Resultados productivos y zootécnicos en pollos de engorde y gallinas ponedoras

En términos productivos, los resultados de las investigaciones realizadas en Colombia y otros países latinoamericanos, indican que la inclusión de estos insumos alternativos no necesariamente genera los mejores indicadores zootécnicos absolutos como mayores ganancias de peso, mejor conversión alimenticia o un incremento marcado en huevos por ave; sin embargo, tampoco compromete de manera significativa el desempeño productivo cuando se emplea en niveles adecuados, particularmente $\leq 5\%$. Esto es relevante, ya que los indicadores productivos solo adquieren verdadero valor cuando se traducen en mejores resultados económicos.

A niveles de inclusión bajos (0-5%), la mayoría de los estudios reportan postura estable, sin efectos negativos sobre la producción ni sobre la calidad del huevo, manteniéndose el peso del huevo, la viabilidad de las aves y la masa de huevo. En algunos casos, incluso se observa mejora en la integridad intestinal y un aporte funcional de antioxidantes, lo que contribuye a la estabilidad productiva del lote.

Por el contrario, niveles más altos ($>8-10\%$) pueden afectar negativamente la producción, reduciendo la postura y el peso del huevo, efecto asociado principalmente a la presencia de compuestos antinutricionales como la mimosina cuando se emplea leucaena (*Leucaena leucocephala*).

Un hallazgo consistente es la mejora en la pigmentación de la yema, aun cuando no siempre se superan los rendimientos del grupo control en términos productivos. Esta mejora en la calidad visual del huevo representa un valor agregado comercial, especialmente en mercados donde la coloración de la yema es un atributo valorado por el consumidor.

Desde el punto de vista económico, los mayores beneficios se concentran claramente en los niveles de inclusión de 0-5%, en los que se reporta un mejor margen económico y mayor beneficio neto, sin generar sobrecostos adicionales en la dieta. Por tratarse de una alternativa local o regional, su viabilidad económica depende de la disponibilidad de oferta, pero cuan-

do esta existe, se evidencia una reducción del costo frente a la soya, con la posibilidad de economizar el costo de la proteína en la ración.

Aunque estas materias primas no están orientadas a maximizar los parámetros productivos, sí permiten sostener una producción estable a menor costo, especialmente en sistemas de avicultura de traspatio o en explotaciones de pequeña escala (≤ 200 aves) o aves criollas no especializadas genéticamente para producir carne de pollo o huevos. En estos sistemas, el consumo diario de alimento no alcanza volúmenes elevados y la preparación de las raciones no requiere procesos complejos, lo que facilita su implementación y resulta determinante para mejorar el resultado económico final.

Tabla 19. Estudios realizados en materias primas alternativas en producción de huevo

Materia prima	% inclusión	Resultado productivo	Resultado económico (costo dieta)	Recomendación	Región-país	Bibliografía
Harina de moringa (<i>Moringa oleífera</i>)	5-10	5% mantuvo postura; 10% redujo producción y peso del huevo.	Costos similares, ahorro parcial de proteína.	Recomendar $\leq 5\%$ en dieta.	Colombia.	Agrosavia (2020).
Nacadero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	5-15	5% mantiene producción; 15% reduce postura y masa del huevo.	Reducción de costos por proteína forrajera.	Recomendable $\leq 8-10\%$.	Colombia.	U. Tolima (2021)-
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	5-10	Niveles altos afectan producción por mimosina; $\leq 5\%$ sin cambios.	Disminuye costos en zonas de alta oferta.	Usar en bajas proporciones.	Colombia.	Tesis Unipamplona (2020).
Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	5-10	No afectó postura; mejoró pigmentación de yema.	Ahorro parcial en proteína vegetal.	Usar $\leq 8\%$.	México.	Rev. Mex. C. Pecuarias (2019).
Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	5-10	Mejora integridad intestinal y color de yema; postura estable.	Sustituye parte de proteína importada.	Prometedor en bajas proporciones.	Brasil.	Rev. Bras. Zootecnia (2020).

Tabla 19. Estudios realizados en materias primas alternativas en producción de huevo

Materia prima	% inclusión	Resultado productivo	Resultado económico (costo dieta)	Recomendación	Región-país	Bibliografía
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	5-2	Incrementó pigmentación de yema; sin efecto en postura hasta 8%.	Ahorro en proteína importada.	Viable como fuente de carotenoides y proteína.	Colombia.	Rev. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropec. (2018).
Harina de matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	0-30	No superó el control en rendimiento; mejoras en pigmentación	↓ Costo de alimentación/kg carne al 30%.	Viable con niveles moderados.	Colombia.	Mundo FESC (2022)
Matarratón tropical (<i>Erythrina</i> sp. (p))	5-12	Buena pigmentación y calidad de yema; producción estable.	Insumo de bajo costo en sistemas campesinos.	≤10% viable con pretratamiento.	Perú.	UNSM (2021).
Harina de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) + subproductos	10-20	No afectó postura ni calidad del huevo; viabilidad mantenida.	Ahorro en sustitución parcial del maíz.	Viable en zonas productoras de yuca.	Colombia.	U. de Nariño (2019).
Harina de subproductos de café (pulpa/ensilaje)	5-0	Aporta antioxidantes, sin afectar postura a niveles bajos.	Barata en zonas cafeteras.	≤7% viable; controlar fibra.	Colombia.	Cenicafé (2018).
Harina de larva de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)	5-15	↑ Pigmentación de yema; postura y calidad estable.	Sustituye parcialmente la soya y ↓ costos.	Recomendado hasta 10-12%.	Colombia	Agrosavia (2022)-

Tabla 20. Estudios realizados en materias primas alternativas en producción de pollo

Materia prima	% inclusión	Resultado productivo	Resultado económico (costo dieta)	Recomendación	Región-país	Bibliografía
<i>Moringa</i> (<i>Moringa oleifera</i>) (hoja)	5 y 10	5% ≈ control; 10% ↓ PV y ↑ C.A.	Mejor margen en 0-5%.	Recomendar ≤5%.	México.	Fuentes-Esparza et al. (2019).
<i>Moringa</i> (<i>Moringa oleifera</i>) (hoja)	0, 5, 10	10% ↓ ganancia; 5% ≈ control.	Beneficio neto mayor con ≤5%.	Recomendado ≤5%.	El Salvador.	Ocon-Ortiz et al. (2024)
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>) + Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	1	Similar al control.	Sin sobre costo.	Útil como aditivo.	Colombia	UNAD (2019, Turbo)
Harina de nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>) + morera	5-15	Moderado: mantiene desempeño; alto: ↑ conversión alimenticia.	Alternativa local, depende de oferta.	Recomendar ≤10-12%.	Colombia.	Rev. UCO (2020).
Harina de leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	5-15	Desempeño comparable con dieta isoenergética.	↓ costo vs. soya.	Controlar mimosina.	Colombia.	Tesis Unipamplona (2020).
Harina de matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	5-15	Viable como sustituto parcial.	Posible ahorro si hay oferta local.	Evaluar en crecimiento-finalización.	Colombia.	Tesis Unipamplona (2021).
Matarratón tropical (<i>Erythrina</i> sp. (p))	5-15	Desempeño aceptable con niveles moderados.	Bajo costo regional.	Recomendar ≤10-12%.	Perú-	Rev. ZA (UNSM), 2025
Forrajas leñosas (matarratón + palma)	10	Resultados variables; ↑ C.A. con niveles altos.	Puede economizar el costo de la proteína.	Usar niveles moderados.	Colombia	Canchila-Asencio et al. (2018)



4



**Caracterización
bromatológica
de forrajes como
alternativos al
alimento balanceado
en la nutrición avícola**

Con el propósito de validar las cantidades de nutrientes aportadas por materias primas que acostumbran a utilizar como complemento del alimento balanceado, se planteó la necesidad de evaluar el efecto del ajuste en las cantidades de este alimento comercial, al ser suplementado con forrajes como la moringa (*Moringa oleifera*) ramio (*Boehmeria nivea*), matarratón (*Gliricidia sepium*), nacedero (*Trichanthera gigantea*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*).

El análisis de los perfiles bromatológicos obtenidos en laboratorio especializado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, siguiendo metodologías de refe-

rencia para determinar contenido de proteína bruta (% PC) por volumetría (Kjeldahl), Valor Calórico Bruto por Balorimetría, fibra cruda/FDN (%), grasa (EE) (%), ceniza (%), humedad y otras materias volátiles por gaviometría, calcio, fósforo, magnesio, manganeso por espectrometría de absorción atómica.

Los materiales vegetales seleccionados fueron recolectados en fincas de diferentes regiones del país, asegurando su representatividad dentro de los sistemas locales de producción. Posteriormente, se sometieron a un proceso de deshidratación controlada, con el propósito de garantizar su conservación, reducir el contenido de humedad y preservar sus características nutricionales.

Tabla 21. Composición bromatológica materias primas forrajeras analizadas

Especie	Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)
Proteína bruta (%)	31,2	29,3	27,6	21,9	19,2
Grasa (EE) (%)	3,73	11,71	3,88	2,82	2,41
Valor calórico / Energía	4886	5071	3790	4927	3650
Fibra cruda / FDN (%)	15,8	7,5	14,2	17,3	16,8
Ceniza (%)	9,13	11,01	23,87	8,47	27,5
Calcio (g/kg DM)	1,81	2,48	5,6	1,46	6,04
Fósforo (g/kg DM)	0,27	0,25	0,87	0,24	0,34
Magnesio (g/kg DM)	0,25	0,24	0,54	0,18	0,59
Manganeso (mg/kg DM)	32	16	31	81	76
Humedad / Materia seca (DM)	9,2	9,6	9,5	8,1	11,2

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín).

Prácticas alternativas

Los resultados obtenidos en el análisis bromatológico de las harinas forrajeras muestran una alta concordancia con los rangos reportados en la literatura, confirmando la calidad nutricional de las especies evaluadas y la validez de los datos de laboratorio.

En el caso de *Leucaena leucocephala*, el contenido de proteína bruta (31.2%) se encuentra dentro del rango ampliamente reportado (25-5% MS) para hojas jóvenes, lo que confirma su reconocido valor como fuente proteica vegetal. Estudios previos señalan contenidos de fibra cruda entre 13 y 18%, coherentes con el 15.8% observado en este estudio. Así mismo, los niveles de calcio y fósforo se ubican dentro de valores normales descritos para esta especie, aunque la literatura advierte que su aprovechamiento puede verse limitado por la presencia de mimosina y taninos, lo cual coincide con la necesidad de controlar su inclusión en dietas avícolas (Hernández et al., 2020; Gutiérrez et al., 2022).

Para *Moringa oleifera*, el contenido proteico (29.3%) y el elevado extracto etéreo (11.71%) concuerdan con reportes que indican valores de proteína entre 25 y 30% y grasa entre 8 y 12%, asociados a su alto contenido de ácidos grasos y compuestos bioactivos. La menor proporción de fibra (7.5%) frente a otras forrajeras confirma su mayor digestibilidad, característica destacada en estudios recientes que reportan efectos positivos sobre desempeño productivo y microbiota intestinal en aves cuando se emplea en niveles moderados (Zhang et al., 2023; Egbu et al., 2024).

En ramio (*Boehmeria nivea*), la proteína bruta (27.6%) se sitúa dentro de los rangos descritos en la literatura (20-28%), mientras que el contenido de cenizas (23.87%) y calcio (5.6 g/kg MS) se encuentra en el extremo superior de lo reportado, lo que confirma su alto aporte mineral. Investigaciones en ponedoras han señalado beneficios sobre la pig-

mentación y salud intestinal, pero advierten que niveles elevados de cenizas pueden causar desbalances minerales si no se ajustan a la formulación (Silva et al., 2020).

La *Gliricidia sepium* (matarratón) presentó un contenido proteico (21.9%) acorde con valores bibliográficos (18-24%), y una fibra relativamente elevada (17.3%), característica consistente con lo reportado para esta especie en sistemas tropicales. Estudios previos señalan que, aunque su aporte proteico es relevante, la mayor proporción de fibra limita su uso en fases tempranas de producción avícola, recomendándose su inclusión en niveles bajos o en aves adultas (García et al., 2018; Agrosavia, 2021).

Finalmente, *Trichanthera gigantea* (nacedero) mostró el menor contenido proteico (19.2%) y el mayor nivel de cenizas (27.5%) y calcio (6.04 g/kg MS), valores que coinciden con reportes que destacan su elevado aporte mineral, pero también advierten sobre el riesgo de excesos de calcio y fibra en dietas para aves. La literatura indica que su uso debe ser cuidadosamente limitado, especialmente en preiniciación, iniciación y postura, donde un desequilibrio Ca:P puede afectar crecimiento y calidad de la cáscara del huevo (García-Martínez et al., 2019).

4.1 Análisis comparativo del modelo de sustitución del alimento balanceado con ingredientes alternativos

En el presente estudio se evaluó la inclusión de 20% de forrajes de alto valor nutricional en la ración total de aves, utilizando cinco especies forrajeras: *Leucaena leucocephala* (leucaena), *Moringa oleifera* (moringa), *Gliricidia sepium* (matarratón), *Trichanthera gigantea* (nacedero) y *Boehmeria nivea* (ramio). La evaluación se realizó en aves en las fases de preinicio, levante, engorde, levante de pollitas y postura.

La suplementación se llevó a cabo bajo un esquema controlado, en el cual 20% de la ración diaria (base materia seca) fue remplazado por forraje procesado, mientras que el 80% restante correspondió a alimento balanceado comercial, formulado específicamente para cada etapa productiva, de acuerdo con los requerimientos nutricionales establecidos para aves.

Preparación de los forrajes

Las especies forrajeras fueron cosechadas en estado vegetativo óptimo, sometidas a un proceso de deshidratación natural bajo sombra, hasta alcanzar una humedad inferior a 12%. Posteriormente, el material seco fue molido hasta obtener una harina homogénea, la cual se almacenó en condiciones controladas para evitar deterioro.

Formulación de las raciones experimentales

Para cada tratamiento, la ración se formuló mezclando:

- 80% de alimento balanceado, correspondiente a la fase productiva evaluada.
- 20% de harina de forraje, incorporada de manera individual para cada especie vegetal.

La inclusión de 20% se definió con base en experiencias previas de uso de forrajes no convencionales en alimentación aviar de manera equitativa a todos por igual.

Análisis nutricional y evaluación de desbalances

Con el fin de identificar y cuantificar posibles desbalances nutricionales, se hicieron análisis bromatológicos tanto de los forrajes como de las raciones finales (80/20), evaluando los siguientes parámetros:

- Proteína cruda.
- Energía metabolizable estimada.
- Fibra cruda.
- Minerales (calcio y fósforo).
- Cenizas totales.

Estos ejercicios permiten conocer cómo estas mezclas que se dan como ración al ave en las diferentes etapas productivas pueden modificar o desbalancear la composición nutricional del alimento, particularmente en términos de proteína, energía y minerales, información clave para formular dietas más equilibradas y técnicamente sustentadas.

Tabla 22. Resultados comparativos del modelo de sustitución en pollito preiniciación

Fuente	PB final (%)	Fibra final (%)	Ceniza final (%)	EN (kcal/kg)	Ca final (%)	P final (%)	Comentario técnico
Alimento balanceado	23.0	5.0	8.0	2.975	0.95	0.50	Dieta estándar, nutricionalmente balanceada para preiniciación
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	24.3	5.5	8.6	3.394	1.25	0.45	Excelente balance proteína-energía; alta grasa mejora densidad energética.
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	24.6	7.2	8.2	3.357	1.12	0.45	Aumenta proteína y energía, leve incremento de fibra; uso controlado por taninos.

Tabla 22. Resultados comparativos del modelo de sustitución en pollito preiniciación

Fuente	PB final (%)	Fibra final (%)	Ceniza final (%)	EN (kcal/kg)	Ca final (%)	P final (%)	Comentario técnico
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	22.8	7.5	8.1	3.365	1.05	0.45	Energía elevada, pero mayor fibra puede afectar digestibilidad en preiniciación.
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	22.2	7.4	12.7	3.050	1.97	0.47	Aporte mineral alto; posible dilución proteica y exceso de cenizas.
Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	23.9	6.8	11.2	3.138	1.87	0.57	Alto contenido mineral; vigilar exceso de cenizas y calcio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Resultados comparativos del modelo de sustitución en pollito iniciación

Fuente	PB final (%)	Fibra final (%)	Ceniza final (%)	EN (kcal/kg)	Ca final (%)	P final (%)	Comentario
Alimento balanceado	23.0	5.0	8.0	3.050	0.75	0.42	Dieta balanceada, óptima para iniciación
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	24.3	5.5	8.6	3.454	1.10	0.38	Proteína alta; fibra supera límite; ceniza elevada.
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	24.6	7.2	8.2	3.380	0,96	0,39	Incrementa proteína, pero aumenta fibra; usar con manejo cuidadoso.
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	22.8	7.5	8.1	3.432	0.89	0.38	Adecuado energéticamente, fibra elevada para iniciación.
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	22.2	7.4	11.9	3.170	1.81	0.40	Alta ceniza y calcio; limitar inclusión en esta fase.
Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	23.9	6.8	11.2	3.186	1.72	0.51	Alto contenido mineral; riesgo de exceso de cenizas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Resultados comparativos del modelo de sustitución en fase de engorde

Fuente	PB final (%)	Fibra final (%)	Ceniza final (%)	EN (kcal/kg)	Ca final (%)	P final (%)	Comentario
Alimento balanceado	19.0	5.0	8.0	3.100	0.60	0.34	Dieta balanceada, óptima para engorde
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	20.9	5.5	8.6	3.504	0.98	0.30	PB aumenta; fibra supera 5% (5.5%) puede reducir digestibilidad.
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	21.4	7.2	8.2	3.457	0.84	0.31	Aumenta proteína; fibra elevada.
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	19.6	7.5	8.1	3.476	0.78	0.30	Energía adecuada, fibra alta.
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	19.0	7.4	11.9	3.280	1.69	0.33	Alto Ca y cenizas; uso limitado.
Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	20.5	6.8	11.2	3.304	1.60	0.45	Exceso mineral; ajustar Ca.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Consecuencias metabólicas del desbalance nutricional en dietas para broilers

El uso de estos forrajes como materias primas alternativas en la nutrición avícola implica ciertas restricciones nutricionales que deben considerarse antes de su inclusión en dietas balanceadas.

El modelo de sustitución parcial de 20% del alimento balanceado por harinas de forrajes mostró respuestas nutricionales diferenciadas según la especie vegetal y la fase productiva evaluada.

En términos generales, moringa y leucaena presentaron los perfiles más cercanos a los valores de referencia del alimento balanceado, especialmente en contenido de proteína bruta y energía metabolizable, mientras que nacedero y ramio evidenciaron las mayores

desviaciones, principalmente por exceso de fibra y cenizas.

La leucaena también mostró incrementos positivos en proteína y energía; sin embargo, el aumento de fibra ($\geq 7\%$) sugiere que su inclusión debe manejarse con precaución en estas etapas.

Los forrajes de nacedero y ramio presentaron las mayores limitaciones nutricionales en casi todas las fases evaluadas. En preiniciación, iniciación y engorde, sus altos niveles de fibra ($\geq 7.4\%$) y cenizas ($\geq 11\%$) se alejaron significativamente de los valores de referencia, lo que puede causar dilución energética, menor digestibilidad y reducción del desempeño productivo.

En pollito en preiniciación e iniciación, la inclusión de moringa permitió mantener o incluso mejorar el balance proteína-energía respecto al alimento estándar, con incrementos moderados en proteína bruta (24.3%) y energía metabolizable (>3.390 kcal/kg), sin aumentos excesivos de fibra. Esta respuesta resulta favorable en fases tempranas, cuando la densidad energética es crítica para el desarrollo inicial.

En la fase de engorde, moringa y leucaena mantuvieron niveles adecuados de proteína ($\geq 20\%$) y energía (>3.450 kcal/kg), lo que indica un mayor margen de tolerancia fisiológica de las aves a incrementos moderados de fibra. En esta fase, el impacto negativo sobre la eficiencia alimenticia es menor que en preiniciación e iniciación, siempre que la fibra no supere niveles críticos.

Sin embargo, concentraciones superiores a 7%, en la fase de engorde, las aves muestran una mayor tolerancia a la fibra dietaria, gracias a un aparato digestivo más desarrollado, pueden disminuir la conversión alimenticia y la densidad energética efectiva de la dieta, lo que se traduce en menores ganancias de peso y mayor consumo para alcanzar los mismos objetivos productivos.

En dietas para pollos de engorde, una concentración de energía metabolizable (EM) superior al requerimiento fisiológico en las fases de inicio y engorde tiene implicaciones nutricionales, metabólicas y productivas claramente documentadas en la literatura técnica.

En primer lugar, el ave regula su consumo principalmente en función de la densidad energética de la dieta. Cuando la EM excede el requerimiento, se reduce el consumo voluntario de alimento. Si la formulación no mantiene una relación adecuada energía:aminoácidos digestibles (especialmente lisina), la disminución en el consumo provoca una menor ingestión absoluta de proteína y aminoácidos esenciales, lo que puede limi-

tar la deposición de tejido magro y afectar el rendimiento en pechuga. En este contexto, el desbalance energía:proteína se traduce en una utilización menos eficiente de los nutrientes.

En segundo término, el exceso de energía no destinada a mantenimiento ni a síntesis proteica se canaliza hacia lipogénesis, incrementando la deposición de grasa corporal, particularmente grasa abdominal. Esto modifica la composición corporal, reduce el rendimiento en canal magra y puede afectar indicadores de calidad comercial. Desde el punto de vista metabólico, una mayor lipogénesis implica también mayor producción de calor metabólico, lo que puede incrementar la susceptibilidad al estrés calórico en condiciones ambientales adversas.

Durante la fase de inicio, donde el desarrollo de órganos y sistemas es acelerado, una oferta energética elevada puede estimular tasas de crecimiento muy rápidas que no siempre están acompañadas por un desarrollo proporcional del sistema cardiovascular y esquelético. En condiciones predisponentes (altitud, ventilación deficiente, alta densidad), esto puede incrementar la incidencia de trastornos metabólicos como síndrome ascítico o alteraciones locomotoras.

En términos de eficiencia alimenticia, el efecto de una mayor densidad energética depende del balance nutricional global. Si los aminoácidos digestibles y otros nutrientes limitantes se ajustan proporcionalmente, puede observarse una mejora moderada en conversión alimenticia debido a menor consumo por unidad de ganancia. Sin embargo, si el ajuste no es adecuado, la eficiencia puede deteriorarse debido a mayor deposición grasa y menor eficiencia de utilización proteica.

Finalmente, desde el punto de vista económico, una energía formulada por encima del requerimiento incrementa el costo del alimento (particularmente por inclusión de



aceites y grasas) sin garantizar retornos proporcionales en desempeño productivo. Por ello, en formulación técnica se recomienda optimizar la relación energía:lisina digestible

y formular con base en requerimientos reales por fase, considerando genética, sexo, ambiente y objetivos comerciales.

Tabla 25. Resultados comparativos del modelo de sustitución en levante de pollitas.

Fuente	PB final (%)	Fibra final (%)	Ceniza final (%)	EN (kcal/kg)	Ca final (%)	P final (%)	Comentario
Alimento balanceado (referencia)	17.0	6.0	8.0	2.888	0.95	0.39	Dieta balanceada, óptima para levante
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	19.46	6.30	8.60	3.254	2.10	0.39	PB mejor; fibra 6.3% → ligeramente sobre límite; Ca ok (aumenta).
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	19.84	7.96	8.23	3.217	1.96	0.39	PB alto; fibra alta.
Matarraón (<i>Gliricidia sepium</i>)	17.98	8.26	8.09	3.225	1.89	0.39	Fibra no recomendada.
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	17.44	8.16	11.90	2.970	2.81	0.39	Ca excesivo.
Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	19.12	7.64	11.17	2.998	2.72	0.39	Minerales y fibra altos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Resultados comparativos del modelo de sustitución en gallina en postura.

Fuente	PB final (%)	Fibra final (%)	Ceniza final (%)	EN (kcal/kg)	Ca final (%)	P final (%)	Comentario
Alimento balanceado (referencia)	16.0%	6.0	15.0	2.900	4.27	0.41	Dieta balanceada, óptima para postura
Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	18.5	6.3	14.2	3.334	3.90	0.38	Fibra ligeramente alta; ceniza cerca del máximo; Ca final por debajo del objetivo podría afectar calidad de cáscara
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	18.8	7.9	14.6	3.297	3.78	0.38	Aumenta proteína; Ca ligeramente bajo.
Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)	17.2	8.3	14.5	3.305	3.71	0.38	Proteína aceptable; fibra alta; Ca insuficiente.
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	16.6	8.2	17.9	3.050	4.62	0.41	Proteína baja casi en límite; ceniza excesiva y Ca muy alto, desequilibrio Ca:P y riesgo renal/óseo.
Ramio (<i>Boehmeria nivea</i>)	18.3	7.6	17.8	3.118	4.53	0.50	Ceniza y fibra altas; Ca elevado puede producir problemas en metabolismos y cáscara.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Consecuencias metabólicas del desbalance nutricional en dietas para gallinas de postura

En levante de pollitas, moringa destacó por mejorar el contenido proteico respecto al alimento de referencia (19.46% vs. 17.0%), con una fibra apenas por encima del límite recomendado, lo que puede ser aceptable bajo un manejo cuidadoso.

En postura, moringa y leucaena aportaron proteína adicional (≈18-19%), lo cual puede

ser ventajoso para el mantenimiento de la producción, aunque requieren ajustes específicos en calcio.

Tanto en levante de pollitas y postura, el principal problema fue el exceso de calcio y cenizas, particularmente en nacedero (Ca >2.8% en levante y >4.6% en postura), lo que rompe el equilibrio Ca:P y puede predispo-

ner a trastornos óseos, renales y alteraciones en la calidad de la cáscara. Ramio mostró un patrón similar, con elevados niveles minerales que limitan su uso prolongado sin corrección mineral específica.

La fibra cruda elevada constituye el principal factor limitante para la inclusión de forrajes en dietas avícolas, debido a su impacto directo sobre la digestibilidad y el aprovechamiento de nutrientes. En preiniciación e iniciación, niveles de fibra superiores a 5-6% afectan negativamente el desarrollo del tracto gastrointestinal, reducen la eficiencia alimenticia y comprometen el crecimiento, dado que el sistema digestivo del ave aún es inmaduro y presenta baja capacidad fermentativa.

Durante el levante de pollitas y la postura, un exceso de fibra puede limitar la disponibilidad energética y reducir la persistencia productiva. En estas fases, dietas con fibra elevada pueden afectar el balance energético y proteico, comprometiendo el desarrollo corporal adecuado en pollitas y la producción sostenida de huevo en gallinas ponedoras.

Otro aspecto crítico es la presencia de factores antinutricionales. En particular, la mimosina presente en leucaena puede interferir con el metabolismo proteico y tiroideo, representando un mayor riesgo en fases tempranas si no se controla la inclusión o se aplican procesos de reducción de este compuesto.

Así mismo, los taninos y compuestos fenólicos, comunes en varios forrajes, reducen la digestibilidad de proteína y energía, lo que afecta con mayor severidad a pollitos jóvenes y aves en alta exigencia productiva, como engorde intensivo y postura.

La variabilidad composicional de los forrajes, asociada a la edad de corte, manejo agronómico y métodos de conservación (secado, molienda), limita su uso estandarizado en formulaciones comerciales. Esta variabilidad tiene un impacto especialmente crítico en preiniciación e iniciación, donde pequeñas desviaciones nutricionales generan efectos productivos significativos. En fases posteriores, aunque el sistema es más resiliente, sigue siendo necesario hacer ajustes precisos de formulación para garantizar un desempeño óptimo.



5



**Evaluación
económica de
la sustitución
de ingredientes
alternativos en la
nutrición avícola**

La incorporación de materias primas alternativas en la nutrición avícola se ha propuesto como una estrategia relevante para mejorar la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas productivos, especialmente en regiones con alta disponibilidad de recursos forrajeros locales. Sin embargo, su adopción no puede evaluarse únicamente desde el punto de vista nutricional, sino que requiere un análisis integral que incluya aspectos económicos, productivos, tecnológicos y operativos.

En la práctica, la transición desde ingredientes convencionales hacia insumos alternativos enfrenta importantes barreras asociadas a la estandarización de procesos, la estabilidad del suministro y la compatibilidad con los sistemas industriales de producción de alimentos balanceados (Leeson & Summers, 2008; FAO, 2021).

Si bien los forrajes arbóreos y herbáceos han demostrado potencial como fuentes de proteína vegetal, fibra funcional y micronutrientes, su uso a escala industrial presenta limitaciones significativas. Entre las principales dificultades se encuentran la alta variabilidad composicional de la biomasa, según edad de corte, condiciones edafoclimáticas y manejo agronómico, así como la presencia de metabolitos secundarios que pueden afectar la palatabilidad, digestibilidad y desempeño productivo de las aves (Noriega, 2008; Ravindran, 2013).

Esta variabilidad dificulta la formulación precisa de dietas y limita su incorporación en plantas de alimento balanceado que operan bajo estrictos criterios de uniformidad y control de calidad.

Desde una perspectiva industrial, el procesamiento de forrajes para uso avícola implica costos adicionales asociados a cosecha, deshidratación, molienda, almacenamiento y

control microbiológico, procesos que no siempre están disponibles o tecnificados en sistemas productivos locales. A diferencia del maíz y la torta de soya, que cuentan con cadenas de suministro consolidadas, precios de referencia y especificaciones estandarizadas, los ingredientes alternativos suelen presentar restricciones logísticas y dificultades para garantizar volúmenes constantes y calidad homogénea durante todo el año (FAO, 2018). Estas limitaciones representan un obstáculo relevante para su adopción por parte de la industria formal de alimentos balanceados.

En este contexto, el análisis económico adquiere un papel central para determinar la viabilidad real de la sustitución parcial de ingredientes convencionales por harinas de forrajes.

En sistemas avícolas, donde el alimento representa entre 65 y 75% del costo total de producción, cualquier alternativa debe demostrar no solo ventajas nutricionales, sino también competitividad en términos de costo por kilogramo de materia seca procesada y estabilidad en el suministro.

Por tanto, la evaluación integrada de los aspectos nutricionales, económicos e industriales resulta esencial para identificar escenarios en los que estos recursos puedan ser incorporados de manera técnica y económicamente sostenible, especialmente en sistemas de pequeña y mediana escala o bajo esquemas de producción descentralizados.

5.1 Costo establecimiento de materias primas alternativas

Durante el análisis económico comparativo de las cinco forrajeras evaluadas leucaena (*Leucaena leucocephala*), moringa (*Moringa oleifera*), matarratón (*Gliricidia sepium*), nacedero (*Trichanthera gigantea*) y ramio

(*Boehmeria nivea*) se consideraron los principales componentes de costo asociados a la obtención de harina deshidratada apta para suplementación animal. Estos incluyeron: establecimiento del cultivo (semilla o plántula), mano de obra para siembra y manejo, mantenimiento agronómico, cosecha, deshidratación, molienda y transporte interno.

Bajo un esquema estandarizado por hectárea, los costos fueron estimados considerando densidades de siembra y requerimientos de manejo típicos para cada especie. Se incorporaron gastos recurrentes como control de malezas, podas, fertilización mínima y reposición de material vegetal, los cuales constituyen el costo fijo anual del sistema de producción.

En cuanto al rendimiento, se utilizaron valores promedio reportados de producción de biomasa en materia seca por hectárea y año. El nacedero (12 t MS/ha año) presentó el mayor rendimiento, seguido por leucaena (10 t), moringa (8 t), matarratón (7 t) y ramio (6 t). Este parámetro resultó determinante en el costo final por kilogramo de materia seca, dado que un mayor rendimiento permite distribuir los costos fijos sobre un mayor volumen de producción, reduciendo así el costo unitario.

En consecuencia, especies con menor productividad anual, como ramio, presentan costos elevados por kilogramo de materia seca, aun cuando sus costos operativos no sean desproporcionadamente altos. De igual forma, los costos variables asociados a cosecha, deshidratación y molienda influyeron de manera significativa. Forrajeras con alta frecuencia de corte, como moringa y nacedero, incrementaron el componente de

mano de obra, mientras que especies de manejo más extensivo, como leucaena y matarratón, resultaron más eficientes desde el punto de vista operativo.

Durante el análisis económico comparativo de las cinco forrajeras evaluadas leucaena, moringa, matarratón, nacedero y ramio, se consideraron los principales componentes de costo involucrados en la producción de harina deshidratada lista para suplementación animal: establecimiento (semilla o plántula), mano de obra para siembra, mantenimiento del cultivo, corte/cosecha, deshidratación, molienda y transporte interno.

Bajo un esquema estandarizado por hectárea, se estimaron los costos, de acuerdo con la densidad de siembra típica de cada especie y sus demandas de manejo, incorporando gastos recurrentes como control de malezas, podas y fertilización mínima. Estos elementos conforman el costo fijo anual del sistema de producción.

En términos de rendimiento, se utilizaron valores medios reportados para biomasa en materia seca por hectárea, los cuales varían significativamente entre especies. El nacedero mostró el rendimiento más alto (12 t MS/ha año), seguido por leucaena (10 t), moringa (8 t), matarratón (7 t) y ramio, con el rendimiento más bajo (6 t). Este parámetro influye de manera determinante en el costo final por kilogramo de materia seca procesada: a mayor rendimiento, menor costo unitario, pues los costos fijos se distribuyen en una mayor producción.

Por lo tanto, especies de baja productividad elevan el costo por kg DM incluso si tienen costos operativos moderados.

Tabla 27. Costos de producción materias primas alternativas kg DM.

Forrajera	Establecimiento (COP/kg MS)	Mano de obra (COP/kg MS)	Mantenimiento/ insumos (COP/kg MS)	Acondicionamiento de la materia prima	Costo total estimado (COP/kg MS)
Nacedero (12 t/ha-año)	633	791	624	396	2.443
Matarratón (7 t/ha-año)	531	667	809	509	2.515
Moringa (8 t/ha-año)	588	735	797	469	2.588
Ramio (6 t/ha-año)	610	881	1088	678	3.258

Nota: Acondicionamiento (corte, secado, molido).

Los costos variables asociados al proceso de cosecha, deshidratación y molienda también marcan una diferencia importante entre especies. Forrajeras que requieren múltiples cortes al año, como moringa y nacedero, presentan mayores costos laborales por cosecha, mientras que especies de corte menos frecuente como leucaena y matarratón resultan más económicas en ese componente. La deshidratación y molienda, estimadas de forma estandarizada por tonelada de materia seca, representan un costo similar entre especies, pero su impacto por kilogramo final aumenta en cultivos de menor rendimiento, como ramio, encareciendo proporcionalmente la producción.

Finalmente, al integrar todos los costos de establecimiento, manejo, cosecha y procesamiento, se obtuvieron valores aproximados por kilogramo de harina deshidratada: Nacedero aparece como la alternativa más económica (\$2.443 /kg), seguida de matarratón (2.515) y moringa (2,558), mientras que el ramio presenta un costo alto (3,258), debido a su bajo rendimiento y mayores requerimientos iniciales.

En conjunto, los datos muestran que, desde la perspectiva económica, el matarratón y al nacedero como las especies más eficientes para producción de volumen, mientras que moringa y el ramio pueden ser más atractiva cuando se prioriza el valor nutricional, especialmente en sistemas avícolas en los que su mayor proteína y digestibilidad justifican parte del costo adicional.

5.2. Costo de alimentación de pollos de engorde y gallinas ponedoras bajo la inclusión de dietas alternativas

Para la estimación de los costos de alimentación y el análisis de sustitución, se tomaron como referencia los precios reportados por el DANE-SIPSA correspondientes al alimento balanceado comercial por etapas productivas, tanto para pollo de engorde como para gallina ponedora. Se utilizaron los promedios nacionales de los dos últimos meses del año 2025, con el fin de contar con valores actualizados y representativos del mercado nacional.

Tabla 28. Estimación costo de alimento por sustitución de 20% por ingrediente alternativo (moringa y ramio) en alimentación y nutrición de pollo de engorde.

Etapas del ave	Precio alimento concentrado 100% (kg)	Precio alimento alternativo (ramio) 100% (kg)	Valor concentrado 80%	Valor alternativo 20%	Costo total dieta sustituida
Preinicio	2.538	2.588	2.030	518	\$ 2.548
Inicio	2.448	2.588	1.959	518	\$ 2.476
Engorde	2.571	3.258	2.057	652	\$ 2.708

Nota: Etapa de preinicio e inicio: moringa. Etapa de engorde: ramio

Con base en estos precios, se realizaron los cálculos bajo un escenario de sustitución del 80% de alimento balanceado comercial y 20% de materias primas alternativas, evaluando el impacto técnico y económico de dicha formulación.

La selección de las materias alternativas en cada fase productiva respondió al análisis bromatológico de sus aportes nutricionales destacándose entre ellas la moringa (*Moringa oleifera*) y el ramio (*Boehmeria nivea* comparados tanto con los requerimientos nutricionales específicos de cada etapa (inicio, levante, engorde o postura). Estas presentan menores variaciones en términos de proteína cruda, energía metabolizable y demás nutrientes esenciales con respecto al alimento balanceado.

La sustitución del alimento concentrado por ramio en un 20% genera un incremento moderado en el costo total de la dieta en todas las etapas productivas del ave. En preinicio, el concentrado 100% tiene un valor de \$2.538/kg, mientras que el ramio 100% cuesta \$2.588/kg. Al formular con inclusión 80/20, el costo se compone de \$2.030 (80% concentrado) y \$518 (20% ramio), para un total de \$2.548/kg, lo que representa un aumento de \$10/kg (0,39%) frente al concentrado.

En inicio, el concentrado 100% cuesta \$2.448/kg y la dieta sustituida alcanza \$2.476/kg,

generando un incremento de \$28/kg (1,14%). En engorde, donde el ramio tiene un precio significativamente mayor (\$3.258/kg) frente al concentrado (\$2.571/kg), la dieta 80/20 alcanza un costo de \$2.708/kg, es decir, \$137/kg adicionales (5,33%), evidenciando que el mayor impacto económico se concentra en esta fase.

Sin embargo, la viabilidad de esta sustitución no debe evaluarse únicamente desde el costo por kilogramo, sino que depende en gran medida de la disponibilidad constante de la materia prima y, especialmente, de su composición nutricional. Es fundamental garantizar que el ramio, cuyo precio es superior en todas las fases evaluadas, aporte un perfil nutricional adecuado y estable que compense el incremento de hasta **\$137/kg en engorde**, evitando desbalances en proteína, energía o aminoácidos esenciales, ya que los requerimientos varían entre preinicio, inicio y engorde.

Por tanto, cualquier estrategia de sustitución debe considerar tanto la oferta del ingrediente alternativo como su calidad nutricional, asegurando que la formulación mantenga el equilibrio requerido para no comprometer el desempeño productivo, la conversión alimenticia ni la salud de las aves, especialmente en la fase de engorde donde el impacto económico es más significativo.

Tabla 29. Comparativo costo de alimentación pollo de engorde bajo dieta convencional vs. dieta sustituida con materia prima alternativa.

Etapas productivas ave engorde	Consumo ave (kg)	Consumo 1.000 aves (kg)	Costo alimento Balanceado 100 % (kg)	Costo Dieta alternativa 80/20 (kg)	Diferencia
Levante	0,165	165	418.688	420.344	1.657
Inicio	1,167	1.167	2.856.989	2.889.560	32.571
Engorde	3,342	3.342	8.591.642	9.050.821	459.178
Total	4,674	4.674	11.867.319	12.360.725	493.406

Fuente: Manual Ross, 2022. Precios Sipsa. Cálculos costo establecimiento materias primas.

A continuación, se realizará el ejercicio de validación del costo total de alimentación para un ciclo productivo de aves de 42 días, considerando un consumo acumulado de 4,6 kg por ave, para un lote de 1.000 aves.

El análisis contemplará la sustitución de materias primas en cada fase de alimentación (inicio, crecimiento y finalización), priorizando aquellas que, a nivel nutricional, presenten un mejor desempeño productivo y un perfil lo más cercano posible a los requerimientos nutricionales establecidos.

Desde el punto de vista técnico, el uso de la dieta alternativa 80/20 incrementa el costo total del ciclo en \$493.406 para un lote de 1.000 aves, lo que equivale a un aumento aproximado del 4,16% frente al uso exclusivo de alimento balanceado 100%. En términos unitarios, el costo adicional es de aproxima-

damente \$493 por ave durante todo el ciclo productivo. La mayor incidencia de esta diferencia se concentra en la etapa de engorde, donde se generan \$459.178 adicionales, confirmando que esta fase por su alto volumen de consumo es la más sensible a cualquier variación en el costo por kilogramo de alimento.

Técnicamente, para que la dieta alternativa sea viable, este incremento de \$493 por ave debería compensarse con mejoras en indicadores productivos como mejor conversión alimenticia, mayor peso final o reducción en días a mercado. Si el desempeño zootécnico se mantiene igual al obtenido con alimento balanceado 100%, el incremento acumulado de casi medio millón de pesos por ciclo no tendría una justificación económica directa, especialmente considerando que el impacto se origina principalmente en la fase final del engorde.

Tabla 30. Estimación costo de alimento por sustitución de 20% por ingrediente alternativo (moringa) en alimentación y nutrición de gallina ponedora

Etapas del ave	Precio alimento concentrado 100% (kg)	Precio alimento alternativo (ramio) 100% (kg)	Valor concentrado 80%	Valor alternativo 20%	Costo total dieta sustituida
Preinicio	2.538	2.588	2.030	518	\$ 2.548
Inicio	2.448	2.588	1.959	518	\$ 2.476

Nota: se utilizó moringa en todas las etapas

Desde el punto de vista técnico-económico, en la etapa de preinicio el alimento concentrado 100% tiene un costo de \$2.538/kg, mientras que el alimento alternativo (ramio) 100% tiene un valor de \$2.588/kg, es decir, \$50/kg más alto. Al formular una dieta con sustitución 80/20, el costo ponderado se compone de \$2.030 correspondientes al 80% de concentrado y \$518 del 20% de ramio, para un costo total de \$2.548/kg. Esto representa un incremento de \$10/kg frente al uso exclusivo de concentrado (0,39%), lo que indica que en esta fase temprana la sustitución no genera ahorro y aumenta ligeramente el costo unitario del alimento.

En la etapa de inicio, el concentrado 100% tiene un costo de \$2.448/kg, mientras que el ramio 100% mantiene un valor de \$2.588/kg, siendo \$140/kg más costoso que el concentrado. Con la inclusión 80/20, el costo se distribuye en \$1.959 (80% concentrado) y \$518 (20% ramio), dando como resultado un costo total de \$2.476/kg. En este caso, la dieta sustituida incrementa el costo en \$28/kg frente al concentrado 100% (1,14%). Técnicamente, estos resultados muestran que,

bajo los precios evaluados, la inclusión del ingrediente alternativo no reduce el costo por kilogramo en fases tempranas, por lo que su implementación debería justificarse por beneficios nutricionales, funcionales o productivos adicionales y no por eficiencia económica directa.

Se desarrollará un ejercicio de validación del costo de alimentación para un lote de 1.000 gallinas ponedoras, abarcando todo el ciclo productivo desde el levante (16 semanas) hasta la etapa de postura, proyectada hasta las 90 semanas de vida. Para esta estimación se utilizará un consumo promedio de 62 kg de alimento por ave.

El análisis comparará alternativas de alimentación por etapa, incluyendo la sustitución parcial de materias primas en las dietas, buscando mantener un aporte nutricional equivalente al requerido en cada fase. Con ello, se pretende cuantificar el efecto de estas sustituciones sobre el costo total del ciclo y evaluar su conveniencia técnica y económica sin comprometer el desempeño productivo ni la calidad del huevo.

Tabla 31. Comparativo costo de alimentación de gallina ponedora bajo dieta convencional vs. dieta sustituida con materia prima alternativa.

Etapa productiva ave postura	Consumo ave (kg)	Consumo 1.000 aves (kg)	Costo alimento balanceado 100 % (kg)	Costo dieta alternativa 80/20 (kg)	Diferencia
Levante de pollitas (16 semanas)	6	6.069	12.945.177	13.497.092	551.915
Postura (90 semanas de vida)	56	56.000	120.456.000	125.347.040	4.891.040
Total	62	62.069	133.401.177	138.844.132	5.442.955

Fuente: Manual Hyline, 2022. Precios Sipsa. Cálculos costo establecimiento materias primas.

En la etapa de levante, el costo con alimento 100 % balanceado asciende a \$12.945.177 para 1.000 aves, mientras que con la dieta alternativa 80/20 el costo aumenta a \$13.497.092. La diferencia es de \$551.915, lo que representa un incremento del 4,26 % frente al sistema tradicional. Aunque el impacto absoluto es relativamente bajo debido al menor volumen de consumo, la dieta alternativa no presenta ahorro en esta fase, sino un mayor costo.

Durante la etapa de postura, el impacto económico es significativamente mayor debido al volumen de alimento requerido. El costo con alimento 100 % balanceado es de \$120.456.000, mientras que con la dieta 80/20 asciende a \$125.347.040. La diferencia es de \$4.891.040, equivalente a un incremento del 4,06 %. Dado que esta etapa concentra más del 90 % del consumo del ciclo productivo, también explica cerca del 89,9 % del sobre costo total generado por la dieta alternativa.



En el análisis consolidado del ciclo completo, el costo total con alimento 100 % balanceado es de \$133.401.177, mientras que con la dieta alternativa 80/20 alcanza los \$138.844.132. La diferencia global es de \$5.442.955 por cada 1.000 aves, lo que equivale a un incremento del 4,08 % en el costo total de alimentación. En términos unitarios, esto representa aproximadamente \$5.443 adicionales por ave durante todo el ciclo productivo.

Desde una perspectiva técnica y económica, la dieta alternativa 80/20, bajo los valores presentados, no genera una reducción de costos sino un incremento cercano al 4 % en alimentación. Considerando que el alimento representa entre el 65 % y 75 % del costo total de producción en sistemas de postura comercial, este aumento podría traducirse en un incremento aproximado de 2,6 % a 3 % en el costo total de producción del huevo, afectando directamente el margen del productor si no se compensa con mejoras en productividad o precio de venta.

Adicionalmente, es importante considerar que la inclusión de moringa en la dieta puede generar presiones adicionales sobre los costos en la fase de producción, debido a su deficiencia en calcio (Ca), nutriente crítico para la formación de la cáscara y el mantenimiento de la productividad. Esta limitación obliga a incrementar la suplementación mineral, especialmente con fuentes de calcio de alta biodisponibilidad, lo que puede elevar el costo final de la ración más allá del 4 % ya estimado. Asimismo, el mayor contenido energético de la moringa puede favorecer una mayor deposición de grasa corporal en el ave si no se ajusta adecuadamente el balance nutricional, incrementando el riesgo de sobrepeso. Esto, en aves de postura, se asocia con disminución en el pico de producción, menor persistencia productiva y posibles alteraciones metabólicas, lo que podría traducirse en una reducción del número de huevos por ave alojada y, en consecuencia, en un impacto negativo adicional sobre la rentabilidad del sistema.

Conclusiones

 La comparación entre dietas convencionales y aquellas con inclusión de materias primas alternativas debe considerar tanto costos directos como beneficios indirectos. Estos incluyen ahorros en formulación, reducción parcial de insumos importados y mejoras en la salud intestinal, gracias a compuestos bioactivos, lo cual puede disminuir gastos veterinarios (Zaefarian *et al.*, 2021).

 Los resultados económicos muestran que la inclusión de 20% de materias primas alternativas reduce el costo por kilogramo de dieta en todas las fases productivas, tanto en pollos de engorde como en gallinas ponedoras. Sin embargo, estos ahorros monetarios no garantizan viabilidad en sistemas de producción avícola industrial, donde la eficiencia zootécnica, la estandarización del alimento y la predictibilidad productiva son factores críticos. La avicultura industrial opera bajo márgenes estrechos, alta densidad animal y ciclos productivos cortos, lo que hace que pequeñas variaciones nutricionales tengan impactos significativos sobre la conversión alimenticia, la ganancia de peso, la uniformidad de los lotes y la mortalidad.

 Uno de los principales factores que limitan la adopción industrial de este programa es el incremento sistemático de la fibra cruda en las dietas alternativas. Aunque el costo por kilogramo de alimento disminuye, la mayor fibra reduce la digestibilidad de la energía y la proteína, especialmente en las fases de inicio y levante, en las cuales el tracto digestivo del ave aún es inmaduro. En condiciones industriales, esta reducción en eficiencia se traduce en mayor consumo real de alimento por kilogramo de carne

producida, diluyendo e incluso anulando el ahorro económico inicialmente calculado.

 La genética especializada utilizada en la avicultura moderna requiere alimentos con una nutrición balanceada que satisfaga de manera precisa sus requerimientos nutricionales, con el fin de expresar su máximo potencial productivo y mantener la salud y el bienestar de las aves. En este contexto, las dietas alternativas elaboradas de manera artesanal, sin un análisis bromatológico de los ingredientes ni el uso de software para el balanceo de raciones, análisis de calidad nutricional, microbiológicos y contaminantes químicos no son ideales en procesos de avicultura especializada

 Si bien las forrajeras alternativas como moringa, nacedero, matarratón y ramio presentan valores nutricionales interesantes, su uso extensivo en dietas avícolas requiere procesos de deshidratación, molienda fina y control analítico, que demandan infraestructura, tecnificación y tiempo. Para la mayoría de los productores, especialmente los de pequeña y mediana escala, estas exigencias operativas incrementan significativamente los costos y la carga de trabajo, reduciendo la eficiencia global del sistema productivo.

 Las variaciones nutricionales naturales propias de las forrajeras representan un riesgo importante para la estabilidad nutricional de las dietas avícolas, ya que factores como edad de corte, clima, tipo de suelo y métodos de procesamiento, afectan directamente la proteína, energía, fibra y presencia de metabolitos secundarios. Esta variabilidad puede

traducirse en deficiencias productivas, menor ganancia de peso, reducción en la conversión alimenticia y disminución en el pico de postura, poniendo en riesgo la rentabilidad del sistema.



El proceso de fabricación artesanal de alimentos avícolas con materias primas alternativas difícilmente cumple con estándares industriales de inocuidad y homogeneidad, tales como tamaño de partícula, uniformidad de mezcla, control de micotoxinas, disponibilidad de aminoácidos digestibles y estabilidad del alimento durante el almacenamiento. En contraste, los concentrados comerciales garantizan una composición estable, balanceada y con respaldo técnico, lo cual se traduce en mejores indicadores productivos y biológicos.



Desde un enfoque económico y de sostenibilidad práctica, la adquisición de alimentos balanceados comerciales continúa siendo la estrategia más rentable y segura para productores que buscan sistemas avícolas tecnificados y sostenibles. El costo-beneficio favorece ampliamente al alimento industrial, cuyo desempeño probado supera a las formulaciones caseras, especialmente cuando se consideran las pérdidas asociadas a mala uniformidad nutricional, mortalidad, bajo rendimiento y el tiempo invertido en procesamiento de las materias primas.



Aunque los costos por kilogramo de materia seca de las forrajeras pueden ser competitivos en escenarios de pequeña y mediana escala, la producción de materias primas alternativas no resulta económicamente eficiente ni logísticamente viable para la avicultura industrial. Los costos asociados al establecimiento, cosecha, procesamiento y control de calidad, sumados a la variabilidad del producto final, limitan su

uso a sistemas locales o de autoconsumo, pero no a cadenas industriales que dependen de grandes volúmenes estandarizados y suministro continuo.



Este tipo de dietas puede funcionar en sistemas tradicionales o de traspato, con animales criollos, bajas densidades y objetivos no comerciales, donde la finalidad principal es el autoabastecimiento y la seguridad alimentaria, no resultan adecuadas para sistemas tecnificados que dependen directamente de la eficiencia productiva del pollo de engorde o la producción de huevo.



Bibliografía

Adeyonu, A. G., Oyawole, F. P., Omotayo, A. O., & Oyawole, O. O. (2021). Risk perceptions and risk management strategies among poultry farmers. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), 1891719. <https://doi.org/10.1080/23311886.2021.1891719>

Aftab, U. (2019). Utilization of meat and bone meal in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*, 75(4), 585-598. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000586>

Bello, A., Park, S. O., & Kim, I. H. (2020). Effect of dietary calcium and phosphorus levels on performance, bone mineralization, and nutrient digestibility in laying hens. *Poultry Science*, 99(11), 5852-5860. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.032>

Cobb-Vantress. (2021). Broiler Management Guide. Arkansas, USA: Cobb-papavantress Inc.

Cowieson, A. J., Ruckebusch, J. P., Knap, I., Guggenbuhl, P., & Fru-Nji, F. (2019). Phytate-free nutrition: A new paradigm in monogastric animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 250, 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.11.001>

FAO. (2012). Animal Nutrition. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FEDNA. (2019). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos* (4.ª ed.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. <http://www.fundacion-fedna.org>

Food Standards Agency. (2023). *The Future of Animal Feed: Emerging challenges and opportunities*. Rapid Evidence Assessment. <https://www.food.gov.uk/research/emerging-challenges-and-opportunities/the-future-of-animal-feed?print=1>

Frontiers Insects. (2023). *Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: A review*. Frontiers in Veterinary Science. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1200031>

Hy-Line. (2020). Management Guide-Commercial Layers. West Des Moines, USA: Hy-Line International.

Kara, C., Özdoğan, M., & Aksit, H. (2016). Effects of sunflower seed meal in layer diets on performance, egg quality and serum parameters. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(10), 599-604. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016001000002>

Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P., & Lázaro, R. (2019). Poultry response to high levels of

dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 471-478. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy073>

Morrissey, P. A., Sheehy, P. J. A., Galvin, K., Kerry, J. P., & Buckley, D. J. (2021). Lipid stability in enriched eggs: The influence of fish meal and fish oil. *Food Chemistry*, 334, 127605. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127605>

Noblet, J. (2021). Methodologies for energy evaluation of pig and poultry feeds. *Animal Nutrition*, 7(1), 10-20. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC685914/>

NRC. (1994). Nutrient Requirements of Poultry (9th ed.). Washington, DC: National Academies Press.

NRC. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry* (9th rev. ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2114>

Pesti, G. M. (2023). *The future of feed formulation for poultry: Toward more sustainable and profit-based models*. *Animal Nutrition*, 12, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.08.005>

Qaid, M. M., Albatshan, H. A., Shafey, T. M., & Hussein, E. O. S. (2021). Protein and amino acid requirements under hot climate conditions. *Animals*, 11(5), 1193. <https://doi.org/10.3390/ani11051193>

Ravindran, V. (2019). Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(3), 566-578. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz041>

Ravindran, V. (2019). Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Animal Feed Science and Technology*, 250, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.001>

Selle, P. H., Chrystal, P. V., Liu, S. Y., & Court, S. G. (2023). Amino acid nutrition of broiler chickens: An updated review. *Poultry Science*, 102(6), 102476. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102476>

Selle, P. H., Macelline, S. P., Chrystal, P. V., & Liu, S. Y. (2023). A reappraisal of amino acids in broiler chicken nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 79(1), 27-48. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.2116985>

Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Kidd, M. T. (2019). Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: An update. *Antioxidants*, 8(7), 235. <https://doi.org/10.3390/antiox8070235>

Swiatkiewicz, S., Arczewska-Wlosek, A., & Jozefiak, D. (2012). The use of maize distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 68(3), 417-428. <https://doi.org/10.1017/S0043933912000534>

The Role of Insect-Based Feed in Mitigating Climate Change. (2024). *Sustainability in Poultry Production*. National Center for Biotechnology Information. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12111986/>

Thirumalaisamy, G., Muralidharan, J., Senthilkumar, S., Hema Sayee, R., & Priyadharsini, M. (2019). Cost-effective feeding of poultry: Using unconventional feed ingredients. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(8), 3039-3052. <https://www.researchgate.net/publication/335054995>

Vlaicu, P. A., Untea, A. E., & Oancea, A. G. (2024). Sustainable poultry feeding strategies for achieving zero hunger and enhancing food quality. *Agriculture*, 14(10), 1811. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101811>

Vlaicu, P. A., Untea, A. E., & Oancea, A. G. (2024). Sustainable poultry feeding strategies for achieving zero hunger and enhancing food quality. *Agriculture*, 14(10), 1811. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101811>

Waithaka, M. K., Osuga, I. M., Kabuage, L. W., Subramanian, S., Wachira, A. M., & Tanga, C. M. (2022). Evaluating the growth and cost-benefit analysis of feeding improved indigenous chicken with diets containing black soldier fly larva meal. *Frontiers in Insect Science*, 2, 933571. <https://doi.org/10.3389/finsc.2022.933571>

Zaefarian, F., Abdollahi, M. R., & Ravindran, V. (2021). Feed intake response of broilers: Nutrient composition and variability of feed ingredients. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114918. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.114918>

Adeola, O., & Cowieson, A. J. (2018). Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve non-ruminant nutrition. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9, 1-16.

Agriculture & Food Security. (2024). *Nutraceuticals as components of sustainable poultry production systems*. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00477-1>

Choct, M. (2015). *Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance*. Feed Milling International, 191, 13-26.

Cowieson, A. J., et al. (2020). *Exogenous enzymes and gut health in poultry*. *Poultry Science*, 99(7), 3579-3586.

Dersjant-Li, Y., Awati, A., Schulze, H., & Partridge, G. (2018). *Phytase in non-ruminant animal nutrition*. *Animal Feed Science and Technology*, 242, 1-16.

FAO. (2019). *Cassava in animal feeding*. FAO Animal Production Series.

Gutiérrez, O., Martínez, Y., & Rodríguez, R. (2022). *Plant secondary metabolites in poultry nutrition*. *Animals*, 12(9), 1124.

Hernández, J., Sánchez, M., & Pérez, A. (2020). *Leucaena leucocephala in animal feeding systems*. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 1123-1134.

Koivunen, E., et al. (2016). *Protein digestion of faba bean and pea in poultry*. *British Poultry Science*, 57(6), 740-752.

Ravindran, V., et al. (2017). *Soybean antinutritional factors and processing*. *Poultry Science*, 96(2), 415-429.

Selle, P. H., et al. (2016). *Sorghum in broiler diets*. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 191-206.

Agrosavia. (2019). *Alternativas forrajeras para alimentación animal en sistemas tropicales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Agrosavia. (2020). *Uso de forrajes arbóreos en nutrición animal*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Agrosavia. (2021). *Evaluación nutricional de Gliricidia sepium en sistemas productivos*.

Agrosavia. (2022). *Harina de insectos como ingrediente alternativo en alimentación animal*.

Cenicafé. (2018). *Manejo y aprovechamiento de subproductos del café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café.

Egbu, C. F., Mulaudzi, A., et al. (2024). *Moringa oleifera products as nutraceuticals for sustainable poultry production*. **Agriculture & Food Security**, 13, 54. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00508-x>

FAO. (2019). *Leaf meals and agro-industrial by-products in poultry feeding*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

García, D., Rojas, J., & Martínez, C. (2018). *Uso de Gliricidia sepium en alimentación animal*. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, 19(2), 345-356.

García-Martínez, A., et al. (2019). *Nutritional evaluation of Trichanthera gigantea for poultry*. **Tropical Animal Health and Production**, 51, 1681-1688.

Makkar, H. P. S. (2018). *Review: Feed demand landscape and implications of using novel ingredients*. **Animal**, 12(8), 1741-1753.

Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2018). *State-of-the-art on use of insects as animal feed*. **Animal Feed Science and Technology**, 197, 1-33.

Pinilla, G. (2021). *Evaluación ambiental de los residuos del procesamiento del café en la región andina colombiana*. **Revista de Agroindustria Sostenible**, 12(3), 45-53.

Silva, R. M., et al. (2020). *Ramie leaf meal in laying hen diets*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 49, e20190234.

Zhang, H., Huang, L., Hu, S., Qin, X., & Wang, X. (2023). *Moringa oleifera leaf powder improves growth performance and gut microbiota in broilers*. **Animals**, 13(6), 1104. <https://doi.org/10.3390/ani13061104>

Agrosavia. (2021). *Evaluación nutricional de Gliricidia sepium en sistemas productivos tropicales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://www.agrosavia.co>

Egbu, C. F., Mulaudzi, A., Sebola, N. A., & Moyo, B. (2024). *Moringa oleifera products as nutraceuticals for sustainable poultry production*. **Agriculture & Food Security**, 13(1), 54. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00508-x>

García, D., Rojas, J., & Martínez, C. (2018). *Uso de Gliricidia sepium en alimentación animal en sistemas tropicales*. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, 19(2), 345-356. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:726

García-Martínez, A., Valdivié, M., Martínez, Y., & Betancur, C. (2019). *Nutritional evaluation of Trichanthera gigantea leaf meal for poultry feeding*. **Tropical Animal Health and Production**, 51(6), 1681-1688. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01891-4>

Gutiérrez, O., Martínez, Y., & Rodríguez, R. (2022). *Plant secondary metabolites in poultry nutrition: Effects on performance and health*. **Animals**, 12(9), 1124. <https://doi.org/10.3390/ani12091124>

Hernández, J., Sánchez, M., & Pérez, A. (2020). *Leucaena leucocephala in animal feeding systems: Nutritional value and limitations*. **Tropical Animal Health and Production**, 52(3), 1123-1134. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02068-9>

Makkar, H. P. S. (2018). *Review: Feed demand landscape and implications of using novel ingredients*. **Animal**, 12(8), 1741-1753. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003247>

Silva, R. M., Costa, F. G. P., Givisiez, P. E. N., & Figueiredo-Lima, D. F. (2020). *Ramie (Boehmeria nivea) leaf meal in laying hen diets*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 49, e20190234. <https://doi.org/10.37496/rbz4920190234>

Zhang, H., Huang, L., Hu, S., Qin, X., & Wang, X. (2023). *Moringa oleifera leaf powder improves growth performance, antioxidant capacity and gut microbiota in broilers*. **Animals**, 13(6), 1104. <https://doi.org/10.3390/ani13061104>

Adeola, O., & Cowieson, A. J. (2018). *Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve non-ruminant nutrition*. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 9, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0218-5>

Adeyolu, A. G., Oyawole, F. P., Omotayo, A. O., & Oyawole, O. O. (2021). *Risk perceptions and risk management strategies among poultry farmers*. **Cogent Food & Agriculture**, 7(1), 1891719. <https://doi.org/10.1080/23311886.2021.1891719>

Aftab, U. (2019). *Utilization of meat and bone meal in poultry diets*. **World's Poultry Science Journal**, 75(4), 585-598. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000586>

Agrosavia. (2019). *Alternativas forrajeras para alimentación animal en sistemas tropicales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Agrosavia. (2020). *Uso de forrajes arbóreos en nutrición animal*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Agrosavia. (2021). *Evaluación nutricional de Gliricidia sepium en sistemas productivos tropicales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://www.agrosavia.co>

Agrosavia. (2022). *Harina de insectos como ingrediente alternativo en alimentación animal*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Agriculture & Food Security. (2024). *Nutraceuticals as components of sustainable poultry production systems*. **Agriculture & Food Security**, 13, 54. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00477-1>

Bello, A., Park, S. O., & Kim, I. H. (2020). *Effect of dietary calcium and phosphorus levels on performance, bone mineralization, and nutrient digestibility in laying hens*. **Poultry Science**, 99(11), 5852-5860. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.032>

Cenicafé. (2018). *Manejo y aprovechamiento de sub-productos del café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café.

Choct, M. (2015). Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*, 191, 13–26.

Cobb-Vantress. (2021). *Broiler management guide*. Cobb-Vantress Inc.

Cowieson, A. J., Ruckebusch, J. P., Knap, I., Guggenbuhl, P., & Fru-Nji, F. (2019). Phytate-free nutrition: A new paradigm in monogastric animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 250, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.11.001>

Cowieson, A. J., et al. (2020). Exogenous enzymes and gut health in poultry. *Poultry Science*, 99(7), 3579–3586. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.03.012>

Dersjant-Li, Y., Awati, A., Schulze, H., & Partridge, G. (2018). Phytase in non-ruminant animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 242, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.06.010>

Egbu, C. F., Mulaudzi, A., Sebola, N. A., & Moyo, B. (2024). Moringa oleifera products as nutraceuticals for sustainable poultry production. *Agriculture & Food Security*, 13(1), 54. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00508-x>

FAO. (2019). *Cassava in animal feeding*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2019). *Leaf meals and agro-industrial by-products in poultry feeding*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Food Standards Agency. (2023). *The future of animal feed: Emerging challenges and opportunities*. <https://www.food.gov.uk>

García, D., Rojas, J., & Martínez, C. (2018). Uso de *Gliricidia sepium* en alimentación animal en sistemas tropicales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 345–356. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:726

García-Martínez, A., Valdiviá, M., Martínez, Y., & Betancur, C. (2019). Nutritional evaluation of *Trichanthera gigantea* leaf meal for poultry feeding. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), 1681–1688. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01891-4>

Gutiérrez, O., Martínez, Y., & Rodríguez, R. (2022). Plant secondary metabolites in poultry nutrition: Effects on performance and health. *Animals*, 12(9), 1124. <https://doi.org/10.3390/ani12091124>

Hernández, J., Sánchez, M., & Pérez, A. (2020). Leucaena leucocephala in animal feeding systems: Nutritional value and limitations. *Tropical Animal Health and Production*, 52(3), 1123–1134. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02068-9>

Hy-Line. (2020). *Commercial layers management guide*. Hy-Line International.

Koivunen, E., et al. (2016). Protein digestion of faba bean and pea in poultry. *British Poultry Science*, 57(6), 740–752. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1216946>

Makkar, H. P. S. (2018). Feed demand landscape and implications of using novel ingredients. *Animal*, 12(8), 1741–1753. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003247>

Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P., & Lázaro, R. (2019). Poultry response to high levels of dietary fiber sources. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 471–478. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy073>

Noblet, J. (2021). Methodologies for energy evaluation of pig and poultry feeds. *Animal Nutrition*, 7(1), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.12.001>

NRC. (1994). *Nutrient requirements of poultry* (9th rev. ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2114>

Pesti, G. M. (2023). The future of feed formulation for poultry. *Animal Nutrition*, 12, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.08.005>

Ravindran, V. (2019). Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Animal Feed Science and Technology*, 250, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.001>

Selle, P. H., Chrystal, P. V., Liu, S. Y., & Court, S. G. (2023). Amino acid nutrition of broiler chickens. *Poultry Science*, 102(6), 102476. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102476>

Silva, R. M., Costa, F. G. P., Givisiez, P. E. N., & Figueiredo-Lima, D. F. (2020). Ramie (*Boehmeria nivea*) leaf meal in laying hen diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49, e20190234. <https://doi.org/10.37496/rbz4920190234>

Zhang, H., Huang, L., Hu, S., Qin, X., & Wang, X. (2023). Moringa oleifera leaf powder improves growth performance and gut microbiota in broilers. *Animals*, 13(6), 1104. <https://doi.org/10.3390/ani13061104>

Anexo

Métodos de procesamiento para mejorar la digestibilidad de materias primas alternativas en nutrición avícola

La búsqueda de ingredientes alternativos en la alimentación avícola responde a la necesidad de reducir costos, aprovechar recursos locales y avanzar hacia sistemas sostenibles. Sin embargo, la presencia de factores antinutricionales (taninos, fitatos, mimosina, fibra lignificada, inhibidores de tripsina, entre otros), limita el uso directo de muchas fuentes forrajeras y subproductos agroindustriales.

En este contexto, diferentes métodos de procesamiento se han desarrollado para inactivar compuestos antinutricionales, mejorar la digestibilidad de nutrientes y aumentar la palatabilidad de las dietas.

Extrusión

La extrusión es un tratamiento térmico-mecánico que somete la materia prima a altas temperaturas, presión y humedad en un corto tiempo. Estudios recientes demuestran que la extrusión en harinas de leguminosas aumenta la energía metabolizable aparente en pollos y reduce la viscosidad intestinal (Chen *et al.*, 2020; Akande *et al.*, 2021).

Peletización

La peletización consiste en comprimir el alimento bajo presión y calor para producir *pelets* uniformes. Estudios recientes muestran que la peletización incrementa la conversión alimenticia en 3-5% y disminuye el desperdicio (Koch *et al.*, 2019; Thomas *et al.*, 2020).

Fermentación

La fermentación sólida o líquida con microorganismos benéficos (lácticos, levaduras, *Bacillus spp.*) degrada antinutrientes y produce metabolitos bioactivos.

Aumento de la biodisponibilidad de fósforo por degradación de fitatos, reducción de factores tóxicos: mimosina en leucaena (*Leucaena leucocephala*), taninos en nacedero (*Trichanthera gigantea*) y aporte de compuestos probióticos.

Subproductos como pulpa de café y residuos de yuca fermentados han mostrado mejoras en la ganancia de peso y reducción de mortalidad en pollos (Feng *et al.*, 2021; Ortiz *et al.*, 2022).

Tostado

El tostado es un tratamiento térmico moderado aplicado principalmente a granos y semillas.

Temperaturas excesivas pueden desnaturar aminoácidos sensibles como lisina y metionina.

Evidencia: ensayos en soya no convencional tostada reportan incrementos en energía metabolizable y digestibilidad ileal de aminoácidos (Ravindran *et al.*, 2020).

Ensilado

El ensilado (fermentación anaerobia controlada) permite conservar forrajes y subproductos agroindustriales.

El ensilaje de moringa con melaza, ha mostrado un aumento en la digestibilidad aparente y la energía bruta disponible para ponedoras y pollos (Makkar *et al.*, 2019; Morales *et al.*, 2021).

Regulaciones e inocuidad en el uso de materias primas

El aprovechamiento de materias primas alternativas en la alimentación avícola no solo depende de su valor nutricional y disponibilidad, sino también del cumplimiento estricto de normativas de inocuidad y calidad. La utilización de ingredientes debe garantizar la seguridad del consumidor final, la salud animal y la sostenibilidad del sistema productivo.

En Colombia, las regulaciones para el uso de ingredientes en alimentos para animales están lideradas por el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, que regula el registro y autorización de insumos pecuarios, define límites máximos de metales pesados (ejemplo. cadmio, plomo, mercurio), micotoxinas, contaminantes en materias primas, registro de productos para alimentación animal, etc.

Procesamiento y escalabilidad industrial

El aprovechamiento de materias primas alternativas en la alimentación avícola no depende únicamente de su composición nutricional, sino también de su **procesamiento adecuado** y de la **viabilidad técnica de su uso a escala industrial**. Para garantizar un alimento balanceado seguro, homogéneo y competitivo en el mercado, se requieren tecnologías que aseguren calidad, inocuidad y eficiencia en la producción.

Tecnologías de acondicionamiento y mezcla

La industria avícola moderna emplea diferentes tecnologías para transformar materias primas en dietas seguras y homogéneas:

- **Deshidratación.** Reducir la humedad hasta un nivel estable para evitar deterioro microbiano y permitir molienda/almacenamiento seguro (meta típica 8-12% humedad, según material y método de conservación).
- **Molienda.** Reducción de tamaño de partículas para mejorar digestibilidad y uniformidad en la mezcla. En el caso de forrajes alternativos, la molienda fina (<2 mm) reduce problemas de palatabilidad y mejora el aprovechamiento de nutrientes.
- **Mezclado homogéneo.** Equipos horizontales y verticales que aseguran la correcta distribución de macro y microingredientes, evitando deficiencias locales de proteína, minerales o vitaminas.

- **Peletización.** Proceso de compactación que mejora la densidad, reduce el desperdicio, aumenta la estabilidad en almacenamiento y puede inactivar parcialmente factores antinutricionales (taninos, saponinas).
- **Recubrimiento con aceites y aditivos.** Aplicación posterior de grasas, enzimas o probióticos para optimizar la energía y mejorar la salud intestinal.
- **Control de calidad en planta.** Análisis bromatológicos rutinarios, monitoreo de micotoxinas y pruebas de uniformidad de mezcla como parte de sistemas BPM y HACCP.

Volumen y viabilidad técnica a nivel industrial

La inclusión de materias primas alternativas en alimentos balanceados a gran escala exige una evaluación integral de su oferta, calidad y logística:

- a) Disponibilidad constante
 - Es indispensable garantizar un suministro estable de forrajes (ejemplo: moringa, ramio, matarratón, nacedero, leucaena) o subproductos agroindustriales (ejemplo: cáscara de café, pulpa de frutas).
 - La estacionalidad puede limitar la escalabilidad, por lo que se requieren bancos forrajeros, contratos con productores o integración agroindustrial.
- b) Capacidad de almacenamiento
 - Los forrajes alternativos deben ser deshidratados, ensilados o tratados para reducir su humedad y evitar pérdidas por hongos o fermentaciones indeseadas.
 - El uso de silos, bodegas ventiladas y empaques sellados garantiza mayor estabilidad nutricional.
- c) Compatibilidad con equipos industriales
 - Algunos forrajes de alta fibra requieren ajustes en molinos y peletizadoras para evitar atascos o desgaste prematuro.
 - La uniformidad del grano y la densidad aparente son factores claves en el diseño de procesos.

- d) Adaptabilidad a diferentes tipos de dieta
- Validar su inclusión en fórmulas para pollos de engorde, ponedoras, reproductoras y aves de traspatio.
 - Ajustar niveles de inclusión según el perfil nutricional, asegurando balance de aminoácidos y energía.

- e) Evaluación de costos logísticos y poscosecha
- Secado, molienda y transporte pueden representar hasta 40% del costo final de un forraje alternativo.
 - Es necesario comparar su costo de uso real frente a insumos convencionales como soya o maíz.

Riesgos e incertidumbre en el mercado

Existen factores que pueden limitar la adopción masiva de materias primas alternativas: variabilidad estacional, disponibilidad local, dificultades logísticas y desconocimiento del mercado. Estas incertidumbres generan percepciones de riesgo entre los productores, quienes reconocen que la calidad y precio de estos ingredientes pueden variar de forma significativa según la época y la región (Adeyonu *et al.*, 2021).

Recomendaciones y perspectivas

Recomendaciones prácticas para nutricionistas y formuladores

El uso de materias primas alternativas en la alimentación aviar debe iniciar con pruebas piloto controladas, que permitan ajustar niveles de inclusión sin comprometer el desempeño productivo. Además, es recomendable incorporar aditivos tecnológicos como enzimas (fitasas, xylanases o proteasas) que mejoren la digestibilidad y compensen posibles factores antinutricionales. Igualmente, se deben ajustar las dietas, según la fase productiva y la genética de las aves, garantizando un suministro balanceado de energía y aminoácidos esenciales (Pesti, 2023).

Necesidades de investigación

Las líneas futuras de investigación incluyen la evaluación de nuevas fuentes locales aún no caracterizadas, como insectos y subproductos agroindustriales, que muestran un potencial creciente como fuentes de proteína sostenible (Frontiers Insects, 2023; The Role of Insect-Based Feed, 2024). Así mismo, se requiere avanzar en el estudio de interacciones entre los ingredientes alternativos y la microbiota intestinal, con el fin de optimizar la salud digestiva y el rendimiento. Finalmente, la implementación de modelos de predicción nutricional más precisos facilitará la formulación de dietas competitivas y adaptadas a cada sistema productivo (Vlaicu, Untea & Oancea, 2024).

Proyección a futuro de la nutrición aviar sostenible

La nutrición aviar se proyecta hacia un modelo más sostenible e independiente de insumos importados, basado en la economía circular y el aprovechamiento de recursos locales. El uso de insectos y forrajes, además de reducir la dependencia de la soya y el maíz, puede contribuir a la mitigación del cambio climático, mediante menores emisiones y mayor eficiencia en el uso de recursos (The Role of Insect-Based Feed, 2024). No obstante, la adopción a gran escala enfrenta retos como la variabilidad de calidad, la logística de abastecimiento y las regulaciones sanitarias, que requieren marcos normativos claros y políticas de apoyo (Food Standards Agency, 2023).

En este sentido, la innovación en nutrición aviar será clave para enfrentar desafíos como el cambio climático, la seguridad alimentaria y el bienestar animal, integrando los avances biotecnológicos y la valorización de subproductos agrícolas en favor de sistemas avícolas más resilientes y sostenibles.



¿Quieres conocer más?

Te invitamos a explorar nuestra colección de **documentos especializados con enfoque económico** para mejorar la rentabilidad del sector avícola, disponibles en la página web:

www.fenavi.org



Con un solo **clic** puedes consultar estas y otras publicaciones en formato digital.

¡No te las pierdas!