

ARTÍCULO CIENTÍFICO

PRIMER REPORTE DE LA CALIDAD BROMATOLÓGICA DE PIENSOS EN ECUADOR

FIRST REPORT ON THE BROMATOLOGICAL QUALITY OF FEED IN ECUADOR

Carlosama-Yépez, Marlon^{ab*}; Pita, Gabriela^a; García, Patricio^a; Villarreal, Verónica^a; Melo-Durán, Diego^b; Suárez, Daniel^a

^a Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad), Eloy Alfaro y Federico Gonzáles Suárez, Av. Interoceánica Km 14 ½ sector La Granja, Tumbaco, Ecuador.

^b Dirección de Posgrados, Coordinación de la Maestría en Producción Animal con Mención en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Agronomía, Universidad UTE, Av. Mariscal Sucre y Mariana de Jesús, Quito, Ecuador

*Autor de correspondencia: marlon.carlosama@ute.edu.ec

Resumen

La calidad nutricional de los piensos es un factor crítico para la sostenibilidad de las explotaciones pecuarias, representando entre el 60 al 70% de los costos productivos y siendo determinante en la eficiencia del sector pecuario, el cual aporta significativamente a la seguridad alimentaria. Adicionalmente, la calidad nutricional de los piensos contribuye a la apertura de mercados y a la economía del productor pecuario. En este estudio, se muestrearon 61 piensos comerciales en 20 provincias del Ecuador, enviándolos a los Laboratorios de Bromatología de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad) para verificar su conformidad con la normativa ecuatoriana vigente. El estudio se llevó a cabo en el año 2021. Se realizaron análisis proximales de humedad, ceniza, proteína, grasa y fibra cruda. Acorde a la normativa los parámetros de proteína y grasa se declaran como mínimos y los de humedad, cenizas y fibra como máximos. Al existir diferentes valores declarados en cada etiqueta de pienso, se utilizaron valores estandarizados que corresponden a la división del resultado de cada parámetro del informe de laboratorio para el valor del mismo parámetro declarado en la etiqueta. En promedio todas las muestras cumplieron con los valores de proteína, grasa, cenizas y fibra. En

general, se determinó que el 61% de las muestras analizadas individualmente incumplen al menos un parámetro nutricional. Este hallazgo puede atribuirse al bajo alcance del control post registro de piensos que se comercializan a nivel nacional, así como la posible deficiente aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura. Se recomienda que la autoridad continúe con el control de calidad de los piensos para así asegurar la calidad de los piensos a los productores locales y promover su competitividad a nivel internacional.

Palabras clave: calidad bromatológica, calidad de piensos, control de calidad, buenas prácticas de manufactura.

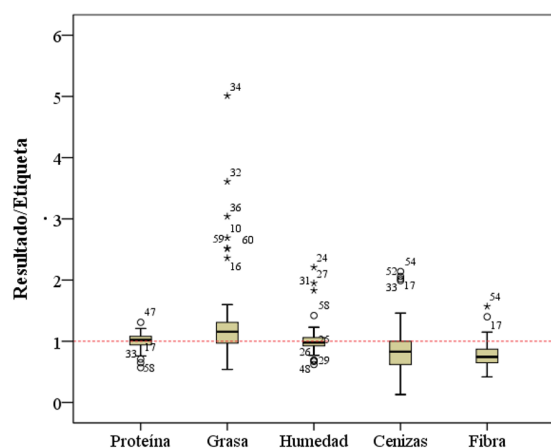
Abstract

The nutritional quality of animal feed is a critical factor for the sustainability of livestock farms, representing between 60 to 70% of production costs and being determinant in the efficiency of the livestock sector, which significantly supports to food security. Additionally, the nutritional quality of animal feed contributes to both open markets and the economy of the livestock producer. In this study, 61 commercial feed samples were collected in 20 provinces of Ecuador and sent to the Bromatology Laboratories of the Agency for Regulation and Control of Phytosanitary

* Correspondencia a: Dirección de Posgrados, Coordinación de la Maestría en Producción Animal con Mención en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Agronomía, Universidad UTE, Av. Mariscal Sucre y Mariana de Jesús, Quito, Ecuador. Teléfono: +593998686150; correo electrónico: marlon.carlosama@ute.edu.ec, marlonhcvet@gmail.com

and Zoosanitary (Agrocalidad) to verify their compliance with current Ecuadorian regulations. Proximal analyses of moisture, ash, protein, fat, and crude fiber were performed. According to the regulations, the parameters of protein and fat are declared as minimums and those of moisture, ash, and fiber as maximums. Since there are different declared values on each feed label, standardized values were used that correspond to the division of the result of each parameter of the laboratory report for the value of the same parameter declared on the label. On average, the samples complied with the values of protein, fat, ash, and fiber. In general, it was determined that 61% of the samples analyzed individually fail to meet at least one nutritional parameter. This finding may be attributed to the low scope of the post-registration control of feed that is commercialized nationally, as well as the possible deficient application of Good Manufacturing Practices. It is recommended that Agrocalidad continue with the quality control of feed to ensure the quality of feed to local producers and promote their competitiveness at an international level.

Keywords: Bromatological quality, feed quality, quality control, good manufacturing practices.



La caja contiene el 50% de los valores centrales.

--- **Umbral de cumplimiento en relación al etiquetado.** Para proteína y grasa los valores por encima del umbral significan cumplimiento y viceversa. Para humedad cenizas y fibra los valores por debajo del umbral significan cumplimiento y viceversa.

○ **Casos atípicos:** valores alejados más de 1.5 longitudes de caja del percentil 75.

★ **Casos extremos:** valores alejados más de 3 longitudes de caja del percentil 75.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad se define como la capacidad del producto para satisfacer las necesidades declaradas e implícitas del consumidor mediante sus propiedades y características [1]. Dentro de

los aspectos más importantes de la calidad de los piensos se encuentra la calidad nutricional [2]. Ésta considera el suministro balanceado de los principales nutrientes como: proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas. En la práctica, la correcta formulación de los piensos determina el cumplimiento de los requerimientos de mantenimiento y producción que se traduce en el desempeño animal. Es importante considerar que los errores en la producción, control de calidad interna y almacenamiento de materias primas y pienso terminado pueden comprometer seriamente la calidad y, por ende, la eficiencia de producción de proteína animal (carne, leche, huevos), afectando la seguridad alimentaria del Ecuador, la economía del productor pecuario y la apertura de mercados internacionales.

En Ecuador, los piensos para animales deben obtener su registro previo a su comercialización. Para lo cual, la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitaria de Ecuador (Agrocalidad), realiza la revisión de los parámetros nutricionales como proteína, grasa, cenizas, fibra y humedad declarados en el etiquetado por el titular del registro[3]. El análisis técnico previo al registro de piensos incluye dos aspectos relevantes: (i) la comparación de los parámetros proximales declarados con los requerimientos nutricionales de la categoría animal específica, por ejemplo, piensos para aves en fase de postura, equinos en mantenimiento, vacas en producción y (ii) la revisión de la cantidad de contaminantes como bacterias, mohos, estos últimos productores de micotoxinas. Una vez que el pienso entra en la cadena comercial, los fabricantes o importadores tienen la responsabilidad de asegurar que las características nutricionales se encuentren tal y como lo indica el etiquetado durante el tiempo de vida útil del producto[3].

Agrocalidad tiene la competencia de registrar piensos en cumplimiento a la Ley Orgánica y su Reglamento de Sanidad Agropecuaria [4] y la Resolución 003, Manual para el registro de empresas y productos de uso veterinario[3]. Luego del registro, los piensos están sujetos a controles y procesos de reevaluación amparados en la legislación vigente[4]. Asimismo, esta ley ampara a Agrocalidad a ejecutar las acciones de vigilancia y control con la finalidad de verificar que se mantengan las características acordes a lo aprobado en su registro[4].

El impacto de la calidad de los piensos puede medirse en al menos tres niveles (Fig. 1.): (i) Retorno económico para el productor pecuario; (ii) seguridad alimentaria, al proveer la suficiente cantidad de proteína animal y (iii) apertura de mercados internacionales para mercancías pecuarias.

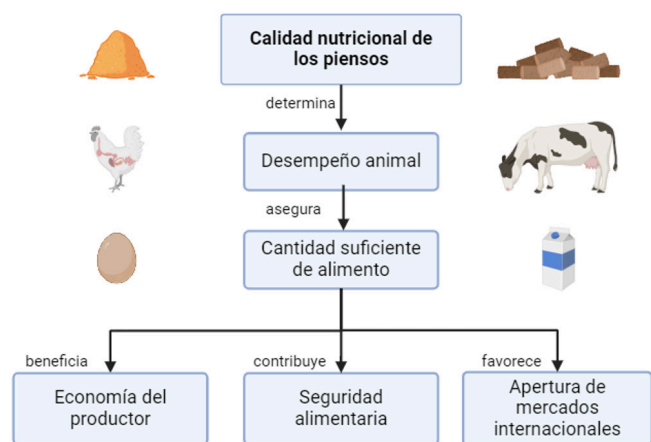


Fig. 1. Importancia de la calidad nutricional de los piensos en la Economía del productor, Seguridad Alimentaria y Apertura de Mercados Internacionales.

Economía del productor pecuario

El desempeño productivo de los animales está estrechamente relacionado con los nutrientes dietarios [5]. Es decir, si existe el aporte balanceado de nutrientes, el animal los va a incorporar para suplir sus requerimientos de mantenimiento y producción. En este sentido, el disponer de piensos de calidad determinará el retorno de la inversión del productor pecuario. En la práctica, esto significa maximizar la cantidad de kilogramos de proteína animal producida por cada kilogramo de pienso consumido. En producción animal se conoce como eficiencia alimentaria, que depende principalmente de la acreción de proteína, grasa, carbohidratos, minerales y vitaminas. En el contexto del productor pecuario, el pienso representa alrededor del 60 al 70% del costo de producción en porcinos, aves y conejos [6–9], por lo que la calidad de cada kilogramo debe mantenerse para que la empresa pecuaria sea rentable y sostenible.

Seguridad Alimentaria

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [10] define

a la seguridad alimentaria como la provisión permanente y suficiente de alimentos nutritivos e inocuos para satisfacer las necesidades de las personas. En este contexto, se proyecta que para el año 2050 la población mundial alcanzará los 9100 millones de habitantes, lo que representará el 34% adicional comparando con número actual [10], por lo que será necesario incrementar la producción proteína animal en más de 200 millones de toneladas/año hasta alcanzar los 470 millones [10].

En el caso particular de Ecuador la seguridad alimentaria se encuentra en riesgo, ya que para el 2021 se reportó que 2,2 millones de personas sufrieron subalimentación, es decir que no consumieron la cantidad necesaria de alimentos, o si los consumieron, estos fueron de calidad insuficiente [11]. Este dato se relaciona estrechamente con el promedio de consumo de proteína animal que actualmente en Ecuador bordea los 30,3 gramos/persona/día, muy por debajo de los 49 a 60 gramos/persona/día recomendados para adultos [11]. En este contexto, es fundamental garantizar la calidad de los piensos, mismos que asegurarán la producción pecuaria sostenible y mantendrán la provisión permanente de proteína animal.

Apertura de mercados internacionales

Agrocalidad lleva a cabo diversas acciones sanitarias, entre las cuales se destaca la gestión del acceso a mercados internacionales tanto para animales como para productos y subproductos de origen animal. Esta tarea contempla la implementación de herramientas, procesos y sistemas que garanticen la calidad sanitaria, requisito indispensable para acceder a los mercados globales [12]. En línea con este propósito, Ecuador se propone ampliar sus destinos comerciales, por lo que, es necesario contar con rigurosos sistemas de control de calidad que abarquen toda la cadena productiva, incluyendo la fabricación y almacenamiento de piensos.

Los requisitos sanitarios para la exportación se establecen previo al análisis de riesgo por parte de la autoridad agropecuaria del país importador. Este análisis considera factores sanitarios y económicos que el producto debe cumplir al ingresar al territorio del importador. Los requisitos específicos varían según el

producto de interés. Por ejemplo, en el caso de la fabricación de piensos, se requiere establecer controles de calidad, certificación de buenas prácticas de manufactura (BPM), control de contaminantes y calidad nutricional. Ejemplos representativos son los requisitos de acceso a mercados mucho más exigentes como Estados Unidos, la Unión Europea y China, en los cuales se exige, además, una cuota exportable sostenible en el tiempo.

En resumen, la calidad nutricional y sanitaria de los piensos son aspectos fundamentales que contribuyen a la expansión de la producción interna, mediante el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales de calidad. Para lo cual es imprescindible contar con sistemas de control y vigilancia sólidos, eficientes [13], mediante los cuales se puedan identificar oportunamente desviaciones en la calidad nutricional y la presencia de contaminantes bacterianos como *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, fúngicos como *Fusarium* sp., entre otros que afectarían a la calidad y seguridad alimentaria. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo indagar sobre el cumplimiento individual y en promedio de los parámetros de humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra crudas de 61 piensos comerciales para animales en Ecuador.

II. METODOLOGÍA

El muestreo se basó en el reporte anual de comercialización de 2020, seleccionando los piensos con mayor comercialización en el mercado ecuatoriano. Considerando este punto, se realizó un muestreo por conveniencia de 61 piensos pertenecientes a 33 titulares, 8 especies animales y 20 provincias del Ecuador durante los meses de mayo a julio de 2021. Las muestras fueron analizadas en los Laboratorios de Agrocalidad-Tumbaco para determinar la humedad, la proteína, la grasa, la fibra y las cenizas crudas. Las muestras se mantuvieron en condiciones de almacenamiento acorde a las recomendaciones del etiquetado hasta su análisis.

A. Muestreo

Fundas de plástico de grado alimenticio fueron utilizados para tomar aproximadamente 200 g de muestra de pienso de sacos de entre 30 y 40 kg almacenados en las bodegas de almacenamiento

de fabricantes, importadores y almacenistas. Las muestras se colocaron individualmente en fundas de control oficiales. Estas últimas contaban con sellos de inviolabilidad que mantuvieron la integridad de la muestra hasta su procesamiento. La homogeneidad de la muestra se aseguró tomando muestras de pienso en varios puntos del saco comercial. Por cada pienso se tomaron dos muestras: muestra con su respectiva contra-muestra, como respaldo para los procesos de control de Agrocalidad.

B. Análisis Bromatológicos

Las muestras de piensos fueron analizadas por los Laboratorios de Bromatología de Agrocalidad y cuando se sobrepasó la capacidad, las muestras se enviaron a los Laboratorios de la Red de Agrocalidad que cuentan con los mismos procedimientos analíticos. La composición proximal (Análisis Wendee) fue determinada acorde con métodos convencionales descritos en la Organización Americana de Químicos Analíticos (AOAC) [14]. Los análisis de humedad fueron realizados por gravimetría [14], mediante el método interno PEE/B/01 [14]. El principio de este método se basa en la pérdida de masa (agua) de la muestra de tal forma que un recipiente con la muestra es desecado a 135°C por 2 horas. La diferencia de masa corresponde a la cantidad de agua evaporada durante el calentamiento. La incertidumbre expandida reportada se basó en la incertidumbre combinada total, multiplicada por un factor de cobertura ($k=2$), lo que proporciona un nivel de confianza de aproximadamente el 95%. La materia seca se calculó en base a la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra sometida al desecado. El porcentaje de cenizas se determinó por el calentamiento de las muestras a 600°C. El contenido de fibra cruda se determinó gravimétricamente, previo a una extracción o a una digestión ácida y alcalina. Los métodos de referencia de Kjeldahl (PEE/B/02), y Soxhlet (PEE/B/03) se utilizaron para la determinación de proteína (Nx6,25) y grasa cruda respectivamente[14].

C. Análisis estadísticos

Excel 2016 Office 365 Microsoft® fue utilizado para transcribir y realizar los cálculos básicos como relaciones y porcentajes. La prueba t de una muestra y el gráfico de cajas fueron elaborados con el software estadístico SPSS

versión 21. Para los Análisis de Componentes Principales se utilizó el software RStudio 2023.12.1, empleando las bibliotecas ggbiplot y ggplot2 con la versión 4.3.2 de R.

Se aplicó estadística descriptiva, y prueba t de una muestra de los valores estandarizados (resultado/etiqueta), para esta prueba los P-valores $< 0,05$ se consideraron como diferencia significativa al compararse con 1. Los parámetros de proteína y grasa se declaran en la etiqueta como mínimos, mientras que humedad, cenizas y fibra como máximos. Al existir varios valores declarados por cada etiqueta se utilizaron valores estandarizados. Estos últimos corresponden a la cantidad reportada en el informe de laboratorio dividido para la cantidad declarada en etiqueta. En proteína y grasa todo resultado mayor o igual a 1 se consideró como cumplimiento, así como todo valor por debajo de 1 se consideró incumplimiento. Por otro lado, en los parámetros de humedad, ceniza y fibra todo resultado mayor 1 se consideró como incumplimiento, así como todo valor igual a 1 o por debajo a 1 se consideró como cumplimiento. Los análisis de componentes principales se realizaron para incluir la evaluación de los datos disponibles sobre los componentes de los piensos. Finalmente, se aplicó el Análisis de Componentes Principales con el objetivo de agrupar dichos elementos según la especie y la región de origen.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En total de 61 piensos de 20 provincias del Ecuador fueron muestreados y enviados al laboratorio de Bromatología de Agrocalidad para verificar su cumplimiento acorde a la normativa ecuatoriana vigente. Se realizaron análisis proximales de humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra cruda. El presente estudio determinó que existe incumplimiento del 61% de los piensos muestreados en al menos un parámetro bromatológico. La Tabla 1 muestra la cantidad de piensos indicados para las especies animales de producción y de compañía (caninos, felinos). Se identificó que el mayor porcentaje de muestras corresponde a piensos para bovinos. Por otro lado, el pienso para aves representa el 82 % respecto a la cantidad de piensos para porcinos. La variación en la cantidad de piensos muestreados se atribuye a las fluctuaciones del mercado durante el periodo de muestreo mayo-

diciembre de 2021. Para este año, Agrocalidad contaba con 1820 piensos registrados, de este número el 16.82% corresponde a registros para bovinos, seguidos de porcinos y aves con 20,71 y 20,54%, respectivamente. El resto de registros corresponden a caninos, equinos, felinos porcinos e interespecies (cuyes y conejos; aves y porcinos) por lo que el número de muestras tomadas por especie corresponde al orden decreciente del número de registros por cada especie animal.

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS PIENSOS POR ESPECIE ANIMAL Y SU CUMPLIMIENTO

Especie animal de destino	Cumplimiento de todos los parámetros bromatológicos				Total	% (Total)
	NO	%(NO)	SI	%(SI)		
Aves	7	50%	7	50%	14	23%
Bovinos	15	79%	4	21%	19	31%
Caninos	2	50%	2	50%	4	7%
Equinos	1	33%	2	67%	3	5%
Felinos	0	0%	2	100%	2	3%
Interespecie*	1	50%	1	50%	2	3%
Porcinos	11	65%	6	35%	17	28%
Total general	37	61%	24	39%	61	100%

*Cuyes/Conejos y Aves/Porcinos

La Fig. 2A muestra que el componente principal 1 (PC1) evidencia una fuerte influencia de las variables cenizas y fibra. Ambas variables disminuyen y mantienen una correlación positiva, como lo indican las flechas que apuntan en la misma dirección. Esta tendencia coincide con la distancia de sus valores al umbral de cumplimiento (Resumen gráfico), situándose por debajo del mismo. A la vez, estos hallazgos concuerdan con el cumplimiento de la media estandarizada para estas variables (Tabla 2). Esta tendencia sugiere que los fabricantes de estas muestras controlaron estos parámetros durante el proceso productivo. Por otro lado, el componente principal 2 (PC2) se explica por la variabilidad de humedad, que puede deberse a la mayor dispersión de datos por encima y debajo del umbral de cumplimiento (Resumen

gráfico) y, en la práctica se puede atribuir a una menor atención a este parámetro por parte de los fabricantes o, a su vez, con el uso de maquinaria que posiblemente no contaba con los dispositivos de medición de humedad o, ésta no se controla durante el proceso de producción de piensos.

Por otro lado, se evidencia que grasa y proteína se correlacionan negativamente con cenizas

por las direcciones opuestas que toman. Algo similar ocurre con ceniza y fibra respecto a proteína. Estas observaciones son esperadas ya que la formulación de piensos comerciales se realiza en función del mínimo establecido para proteína y grasa y el máximo para cenizas y fibra. Lo que sugiere la tendencia a cumplir con lo que establece el etiquetado. De hecho, la media estandarizada cumple de todos los parámetros nutricionales.

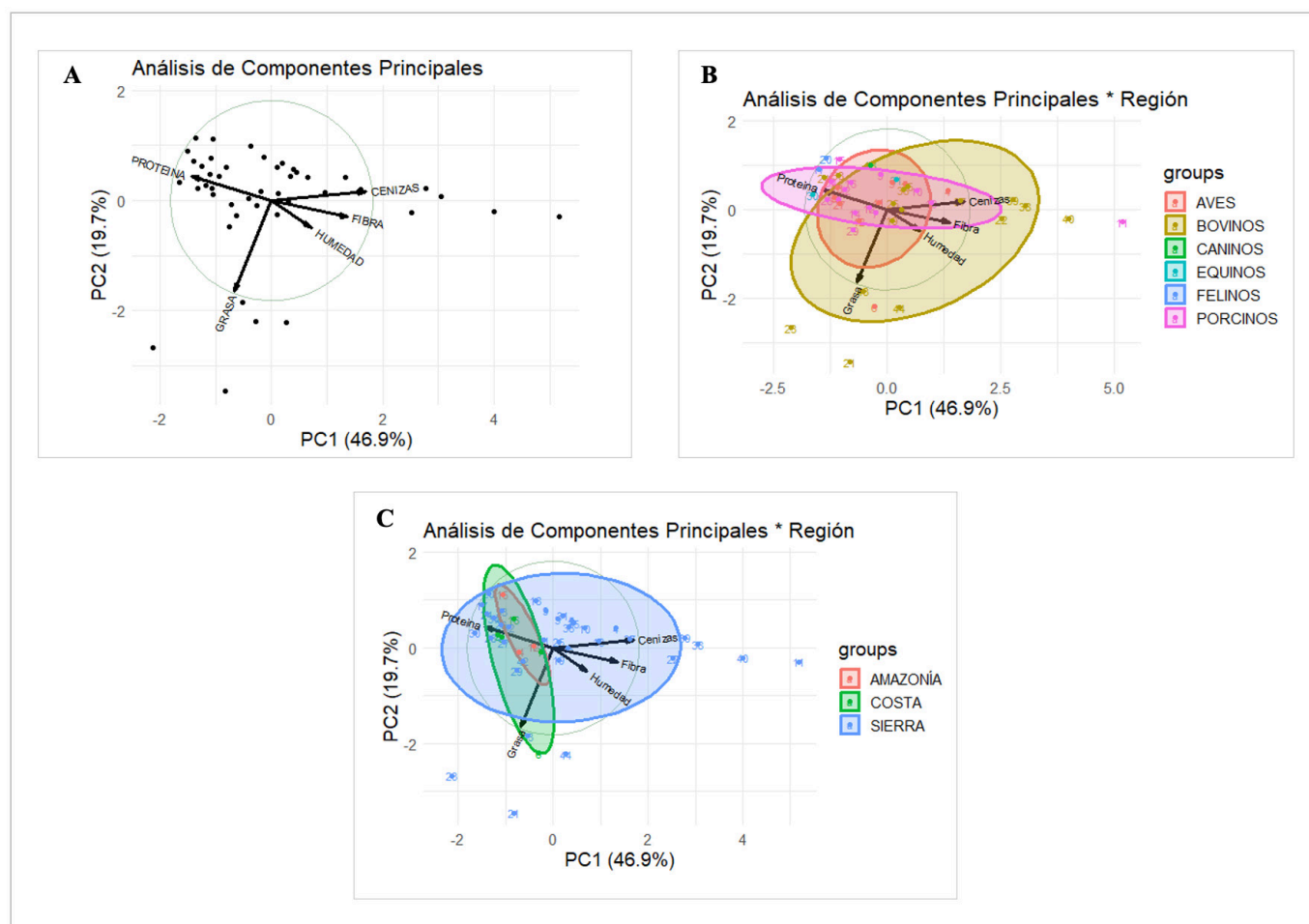


Fig. 2. A) Análisis de componentes principales (ACP); B) ACP por especie animal; C) ACP por región.

La Fig. 2B indica una superposición significativa entre las especies animales en el espacio del análisis de componentes principales, aunque algunos piensos de especies como los equinos y los porcinos parecen formar grupos más distinguidos según sus elipses de confianza. Los piensos para aves, por otro lado, parecen estar más dispersas a lo largo de los componentes principales, y en el caso de porcinos, parecen estar más asociados con valores altos en PC1, lo que podría reflejar un mayor contenido de

proteínas, cenizas y/o fibra. Esta particularidad podría deberse directamente a la variación nutricional no controlada durante la formulación o la elección de materias primas, la cual influye significativamente en la composición nutricional de los piensos destinados a estas especies [15]. En general, es posible determinar que existen diferentes tendencias por cada especie animal, lo que evidencia la necesidad de proponer nuevos estudios de calidad enfocados en esta variable.

La Fig. 2C indica la dispersión de las muestras por regiones de Ecuador. En la Amazonía, las muestras están dispersas a lo largo de ambos componentes, lo que sugiere una mayor variabilidad nutricional entre las regiones. En contraste para la Costa, las muestras están más dispersas a lo largo del PC1 pero menos en el PC2, indicando posibles variaciones significativas en componentes como las cenizas y la fibra. Por otro lado, en la Sierra las muestras tienden a agruparse más cerca del centro del gráfico, lo que sugiere un perfil más balanceado o intermedio. Estos patrones podrían reflejar diferencias en la calidad de los piensos atribuibles, en parte, a las condiciones regionales específicas, ya que, si bien Ecuador pertenece a la zona climática IV [16,17], existen 2 sub-zonas A y B, sub-clasificadas por la mayor humedad y temperatura como son la Costa y Amazonía, es decir que los piensos en estas regiones estarían bajo un mayor estrés físico que provocaría el mayor deterioro en comparación con aquellos piensos que se almacenan en la Sierra. Sin embargo, este estudio tuvo la limitación del número de muestras por región, resaltando la necesidad de realizar investigaciones más detalladas y enfocadas por región para obtener conclusiones más precisas.

La Fig. 2C, excluye las Islas Galápagos, ya que estas últimas están fuera de la competencia de Agrocalidad. Una limitante del presente estudio fue la indisponibilidad de transporte de muestras desde las provincias al laboratorio por la restricción presupuestaria de Agrocalidad. Considerando este punto, el muestreo se focalizó en la provincia de Pichincha con el 80% de las muestras, explicado principalmente por la cercanía del Laboratorio de Bromatología ubicado en Tumbaco- Pichincha [3]. Es importante destacar que esta provincia representa el 29,01 % de las fábricas a nivel nacional y corresponde a la segunda provincia más importante después de Guayas. Por otro lado, una desventaja del estudio fue la poca cantidad de muestras tomadas en las provincias de Guayas y Azuay, que corresponden al 36,64% y 10,69% de las empresas fabricantes e importadoras de piensos. A pesar de esto, y hasta donde se conoce, el presente estudio representa la primera indicación de la situación generalizada de calidad de los piensos comerciales en Ecuador, esto deja el precedente para futuras investigaciones más focalizadas por especie animal y región.

Parámetros nutricionales analizados individualmente

La Tabla 2 describe los valores estandarizados de los resultados bromatológicos, es decir el resultado de laboratorio dividido para la declaración de la etiqueta por cada parámetro nutricional. Se puede evidenciar que el número de muestras por cada parámetro es menor a 61, esto se debe a que algunos piensos excluyeron la declaración de mínimo o máximo de ciertos valores bromatológicos dentro de su etiquetado y por lo tanto fue imposible realizar el cálculo de estandarización. En estos casos los piensos fueron cancelados por solicitud del titular o en su defecto iniciaron el proceso de reevaluación para declarar todos los nutrientes, acorde a lo descrito en la Resolución 003 [3].

TABLA 2. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS Y VALORES P DE LA PRUEBA T DE LOS VALORES ESTANDARIZADOS

Parámetro	n	Media	Desv. típ.	Incumplimiento	% Incumplimiento	Valor P (Sig. unilateral)
Proteína	57	1.01	0.13	19/57	33.33	0.229
Grasa	56	1.34*	0.77	14/56	25.00	0.001*
Humedad	59	1.02	0.27	21/59	35.59	0.241*
Fibra	57	0.90*	0.43	14/57	24.56	0.047*
Cenizas	50	0.79*	0.21	5/50	10.00	0.000*

n: Número de muestras analizadas para cada parámetro nutricional

Desv. típ.: Desviación estándar de la media.

* Diferencia significativa entre el valor de laboratorio y el declarado en la etiqueta (grasa>1; cenizas y fibra <1).

Los resultados del laboratorio pueden diferir de los valores declarados en las etiquetas por varias razones, entre las que se pueden considerar: (i) diferencias entre laboratorios de Agrocalidad y Laboratorios de la Red, (ii) calidad de las materias primas, (iii) tiempo de muestreo y (iv) diferencias en los métodos aplicados. Sin embargo, el Manual para el Registro de empresas y productos de uso veterinario de la Resolución 003 [3] establece que los parámetros bromatológicos deben declararse con mínimos o máximos para que las fuentes de variación sean tomadas en cuenta y de esta forma asegurar

que el pienso mantenga su calidad durante su tiempo de vida útil. En este sentido, y si bien existen piensos que fueron aprobados previo a la emisión de la primera edición de la Resolución 003 (2017), existe la posibilidad de que los titulares del registro realicen la revaluación de sus piensos para actualizar sus componentes bromatológicos y que los mismos se ajusten a la edición vigente.

Por otro lado, desde el año 2016 Agrocalidad delegó la certificación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y Buenas Prácticas de Almacenamiento (BPA) a los Organismos de Certificación que están encargados de realizar las inspecciones y entregar los certificados de BPM a las empresas fabricantes y certificados de BPA a las importadoras [18]. La verificación de cumplimiento establece una inspección cada 3 años. En este contexto, existe el riesgo de que, una vez que se obtenga la certificación de BPM, la aplicación de la misma sea insuficiente, afectando todo el proceso, desde el control de la recepción de materias primas hasta el almacenamiento del producto final. En este sentido el 61% de incumplimiento encontrado en este estudio podría atribuirse a esta falta de aplicación de BPM, a pesar de que el titular cuente con la certificación vigente al momento del muestreo.

Adicionalmente, las deficiencias específicas encontradas en algunos piensos podrían ser el resultado de la falta de una mezcla uniforme de las materias primas durante la elaboración del pienso, lo cual, de ser el caso resultaría en la distribución inadecuada de nutrientes en todo el lote. Dentro de las fábricas, generalmente se mide la homogeneidad del pienso para controlar la distribución uniforme de los nutrientes; sin embargo, actualmente este parámetro no es de cumplimiento obligatorio. En este sentido sería relevante que la autoridad incluya este requisito normativo. Otra posible razón de incumplimiento puede atribuirse a una posible falta de representatividad de las muestras tomadas in situ, sin embargo, el muestreo fue realizado en varios sitios del saco, por lo que algún efecto relevante por este motivo se puede descartar.

En la siguiente sección se discutirán los resultados de los parámetros de proteína, grasa fibra crudas, humedad y cenizas.

1) Proteína Cruda

La proteína se declara como valor mínimo acorde al Anexo D de la Resolución 003 [3]. Este requerimiento se fundamenta en que la acreción muscular en animales depende en gran medida del contenido de proteína dietaria [19]. Este estudio evidenció que la media de proteína estandarizada (1,01) fue mayor a 1 ($p=0,23$), lo que indica el cumplimiento en promedio del etiquetado de las muestras tomadas (Tabla 2). Sin embargo, es importante notar que el 33,33 % (19/57) de las muestras estuvieron por debajo de lo declarado en su etiqueta. Estos últimos fueron sometidos al segundo muestreo o en su defecto se acogieron a la reevaluación establecida en la Resolución 003 [3].

Para el reporte de proteína cruda se aplicó el factor de conversión nitrógeno-proteína (6,25), mismo que históricamente ha sido aplicado como reflejo indirecto de la media del contenido de nitrógeno en 1 gramo de proteína. Este factor considera 2 premisas (i) todas las proteínas tienen un contenido promedio de 16% ($100/16 = 6.25$) y (ii) todo el nitrógeno se derivada de las proteínas. En 2019 Krul indicó que el factor de 6,25 sobrestima el contenido de proteína debido a variaciones en los perfiles de aminoácidos en las diferentes proteínas contenidas en las materias primas [20]. En este contexto, puede existir variación en los resultados ya que los piensos se formulan con varias materias primas cada una con un factor de conversión diferente a 6.25, sin embargo, esta fuente de variación debe considerarse dentro la composición garantizada establecida en la etiqueta.

La proteína cruda representa el contenido de nitrógeno, mas no del contenido específico de aminoácidos, por lo que Agrocalidad estableció como requisito normativo la declaración de los valores mínimos de metionina y lisina en piensos destinados a aves, porcinos y equinos [3], ya que estos amino ácidos son los primeros limitantes del desempeño y recambio de proteína en estas especies animales [21,22]. En la actualidad existen parámetros aún más precisos para la formulación de piensos como lisina digestible o la relación lisina/energía [23]. Sin embargo, es importante destacar el costo-beneficio del análisis de la proteína cruda, que se encuentra entre 14 y 20 dólares americanos en el contexto ecuatoriano, frente al análisis completo de

aminoácidos, que puede bordear los 200 dólares americanos, por lo que el establecimiento de este último como requisito dentro de la norma aún se encuentra en discusión.

Este estudio encontró que el 21,05 % (12/57) de las muestras analizadas excedieron en más del 10% el valor de proteína declarado en la etiqueta (Tabla Suplementaria 1). La principal consecuencia del exceso de proteína dietaria es la afectación económica de la fábrica, ya que las materias primas de tipo proteínico como soya o concentrados proteicos son las más costosas dentro de la fórmula. Adicionalmente, se ha demostrado que el exceso de proteína dietaria es proporcional al incremento de la proteína no digerida que actúa como sustrato para la microbiota local y puede derivar en la disrupción de la microbiota, diarreas en cerdos y disbiosis en otros animales [24]. Además el exceso de proteína aumenta la excreción de nitrógeno en las heces [25], esto conlleva a la contaminación innecesaria de cuerpos de agua y el aire circundante con este elemento [26]. Por lo tanto, la alimentación con la cantidad exacta de proteína resulta relevante desde el punto de vista económico, sanitario y ambiental.

2) Grasa Cruda

Los ingredientes ricos en grasa son una fuente de energía menos costosa que los carbohidratos, por lo que es posible incrementar moderadamente este nutriente en reemplazo de ciertos carbohidratos [27]. El presente estudio evidenció que las muestras, en promedio, tienen un 34% adicional de grasa respecto al valor mínimo declarado en la etiqueta. Al igual que en el parámetro de proteína cruda, los titulares de registro declaran el valor mínimo de grasa en su etiqueta. En este estudio, la media de grasa cruda estandarizada cumplió con la declaración mínima de la etiqueta en los piensos muestreados (Tabla 2). De hecho, la media de grasa cruda estandarizada se encuentra significativamente por encima de valor mínimo declarado en la etiqueta ($p=0.001$). Sin embargo, este exceso no incumple la normativa vigente, pero puede tener consecuencias fisiológicas sobre el animal, el productor y los consumidores.

La grasa dietaria contribuye al suministro energético y al aumento de peso total del animal [28,29]. No obstante, es necesario

resaltar que el exceso de grasa dietaria incrementa el depósito de grasa corporal en la canal animal, situación indeseable para el consumidor final, por la creciente preocupación de la obesidad en la población humana [27,30]. Por otro lado, el exceso de grasa se encuentra asociado con el incremento de la incidencia de desórdenes cardíacos, metabólicos y muerte súbita de aves [29]. En bovinos el exceso de grasa igualmente se refleja en un aumento de la condición corporal que puede resultar en lipidosis hepática y ketosis clínica [31]. Estos desórdenes, de presentarse representarían pérdidas para el productor pecuario por lo que los titulares deben enfocar sus esfuerzos en medir y optimizar regularmente los niveles de inclusión de este nutriente.

3) Humedad

La cantidad de agua es un factor crítico en la industria de piensos por al menos cuatro razones: i) el agua es peso y debe considerarse en la adquisición de materias primas; ii) el agua es peso y debe transportarse; iii) el contenido de agua determina las condiciones de almacenamiento; iv) el agua diluye el contenido de energía, proteína, minerales y vitaminas del pienso [32]. En el presente estudio se observó que la humedad media estandarizada se encuentra ligeramente por encima de las especificaciones del rotulado (1.02). Sin embargo, estadísticamente la media de humedad de las muestras corresponde a la declaración media de la etiqueta ($p=0.24$). La humedad es un valor de declaración máxima y que no debe sobrepasar el 14% acorde a la normativa ecuatoriana vigente [3]. Este valor máximo de humedad fue establecido con la publicación de la primera versión de la Resolución 003 en el 2017, por lo que la mayoría de piensos con registro previo a este año declararon 13% como valor máximo.

Una vez que el pienso es empacado la humedad tiende a aumentar dependiendo de la calidad del empaque y las condiciones medioambientales. Ecuador es un país con clima cálido-húmedo, por lo que pertenece a la zona climática IV según los organismos internacionales [16,17]. Es así que la probabilidad de un gradiente positivo de agua hacia el interior del pienso es mayor comparado al almacenamiento de los piensos en el resto de zonas climáticas [16,17]. En este

punto, y si la humedad del pienso supera el 14 %, existe mayor posibilidad de desarrollo de microorganismos, como bacterias y hongos, y sus respectivas toxinas [33–35].

Por otro lado, y si bien existen indicadores más precisos para predecir el desarrollo de microorganismos como la actividad de agua (aw) [36,37], la humedad sigue siendo un indicador económico y relativamente práctico para predecir este desarrollo. En este contexto, si la humedad está por encima de lo establecido en el etiquetado se puede considerar disminuir el periodo de vida útil de los piensos o a su vez moderar la cantidad final de agua con la que los productos son procesados y expendidos y, de esta forma asegurar el mantenimiento de la calidad del producto durante su vida útil y a su vez dar cumplimiento a lo establecido en el numeral 3.2.2 de la Resolución 003 [3] *“Verificar que el producto fabricado o importado sea almacenado dentro de la empresa de acuerdo a las condiciones bajo las cuales fue registrado”*.

En el mismo contexto es imprescindible que los estudios de estabilidad se continúen realizando acorde a lo establecido en las BPM contempladas en la el numeral 3.9.2 de la Resolución 066 [18] que indica que los fabricantes deben: *“a) Contar con un programa escrito de estudio de estabilidad para los productos registrados y b) Las muestras serán conservadas en su embalaje final u otro con las mismas características de los del mercado, a temperatura ambiente o a la temperatura recomendada, o deberán realizarse estudios de estabilidad acelerada”*. Considerando estos argumentos, es necesario que se continúe regulando la cantidad de humedad en el procesamiento y se sigan realizando los estudios de estabilidad considerando el contenido de humedad para la determinación del periodo de validez y así garantizar la calidad nutricional y microbiológica de su producto [38].

4) Fibra Cruda

La fibra cruda corresponde a un grupo de polímeros diferentes a los almidones que se caracterizan por su incapacidad de ser digeridos por las enzimas del sistema gastrointestinal. La fibra cruda representa el residuo insoluble de la hidrólisis de la muestra de pienso, este residuo contiene celulosa y lignina insoluble [39,40]. Dentro de la normativa vigente, la fibra cruda es

un valor de declaración máximo; esto se debe a las asociaciones negativas para la digestibilidad del resto de nutrientes cuando esta se encuentra en exceso [41]. El presente estudio encontró que la media de fibra cruda de las muestras cumplió con las especificaciones del etiquetado, ya que el valor fue de 0.9, comparado con el umbral de cumplimiento 1. Los valores elevados de fibra en este estudio podrían explicarse por la tendencia de la inclusión paulatina de materias primas más fibrosas para disminuir costos, así como posiblemente la falta de control exhaustivo de los proveedores.

La determinación de fibra cruda es un análisis gravimétrico que tiene la desventaja de que algunas fracciones de la fibra dietética se pierden en el proceso de análisis. De hecho, dependiendo de la estructura de la fibra del ingrediente, el 80-85% de la hemicelulosa, el 0-60% de la celulosa y del 10 al 95% de la lignina no se recuperan de la fracción de fibra cruda [42]. Por lo tanto, este análisis mide de manera imprecisa ciertas fracciones de la fibra dietética, específicamente de la hemicelulosa, como los oligosacáridos, los arabinoxilanos, los xiloglucanos y los polisacáridos pécticos [43], que pueden tener efectos beneficiosos sobre el rendimiento. En este contexto, el aplicar análisis más específicos de las fracciones de fibra contribuiría a la formulación más precisa; sin embargo, su aplicabilidad resultaría impráctica por los costos y retos de implementación y acreditación de análisis.

En el sentido más práctico y mediante la Resolución 003 [3] se adoptó la declaración obligatoria de una fracción más precisa de la fibra dietética que corresponde a la FDA (Fibra Detergente Ácida), para el registro de piensos para rumiantes, conejos y equinos. Este análisis corresponde a una medición más precisa de la cantidad de celulosa y especialmente de lignina, en esta última la fracción no fermentable e indigestible de la fibra. Dado a que la mayoría de piensos para rumiantes se encuentran en periodo de transición para declarar la FDA en su etiquetado, este parámetro no fue evaluado dentro de este estudio.

5) Ceniza Cruda

La media de ceniza estandarizada fue de 0,79, por lo que se encuentra dentro de los límites

del etiquetado (Tabla 2). La determinación de ceniza es crucial porque indica la presencia de macro y micro minerales. Una limitación de esta técnica es que, aunque proporciona una medida general de contenido mineral, no especifica la concentración de minerales individuales, lo que es crucial para evaluar la calidad nutricional del pienso. El aumento de ceniza cruda podría utilizarse para detectar, de manera rápida y económica, la adición indebida de metales pesados que pueden incrementar artificialmente el peso final del pienso. En la actualidad la declaración de minerales específicos no es requisito para la comercialización de piensos, pero si el contenido máximo de cenizas [3]. Sin embargo, es necesario que las autoridades competentes analicen el incluir al menos calcio y fósforo dentro de la declaración obligatoria, ya que su deficiencia puede conllevar a problemas de fragilidad ósea, osteoporosis o problemas de movilidad del animal [44,45].

IV. CONCLUSIONES

A pesar de la amplitud en los rangos de garantías nutricionales declarados en las etiquetas, el presente estudio encontró que el 61% de los piensos muestreados incumplieron al menos un parámetro bromatológico. Al analizar los valores nutricionales estandarizados, se observó que la media de proteína y grasa cumple con lo declarado en la etiqueta (1,01 y 1,34, respectivamente). En la misma línea, y si bien la media estandarizada de humedad, se encuentra ligeramente por encima del valor etiquetado (1.02), ésta no tiene una diferencia estadísticamente significativa con respecto al umbral de cumplimiento. Además, la media estandarizada de cenizas y fibra se encuentra significativamente por debajo del límite máximo, por lo que, en promedio, estos parámetros cumplen con los valores declarados en la etiqueta.

Los alimentos que incumplieron en al menos un parámetro bromatológico fueron sometidos a revaluación obligatoria o cancelaron su registro voluntariamente. Se presume que los factores por los cuales existe incumplimiento de los parámetros bromatológicos incluyen la falta de aplicación de las BPM, la falta de obligatoriedad en la medición de homogeneidad de mezclado, y la posible deficiente aplicación de procedimientos y control de calidad de

materias primas, esto debe ser verificado con estudios más específicos.

Para mejorar la calidad de los piensos, se recomienda que la autoridad continúe con la vigilancia del cumplimiento de la calidad de los mismos y que se considere el aumento de controles indirectos a los organismos de certificación y, controles directos a las plantas de fabricación de piensos. La mejora de la calidad de los piensos se reflejará en beneficios para la economía del productor pecuario, la seguridad alimentaria y la competitividad de Ecuador a nivel internacional. Finalmente, se requieren estudios complementarios dirigidos a una única especie animal y a regiones, ya que la dinámica puede ser diferente para cada variable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen AGROCALIDAD y a la Universidad UTE y por su apoyo durante el estudio.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

Referencias

- [1] Prieto M, Mouwen JM, Puente SL, Sánchez AC. Concepto de calidad en la industria agroalimentaria. *Interciencia*. 2008;33(4):258–264.
- [2] FAO. Buenas prácticas para la industria de piensos. Vol. 9, Implementación del código de prácticas sobre buena alimentación animal. 2014:42–53.
- [3] AGROCALIDAD. Manual para el Registro de Empresas y Productos de Uso Veterinario, Resolución 003 [Internet]. 7th ed. Ecuador; 2021. Available from: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2022-01/Documento_Manual-para-registro-empresas-productos-uso-veterinario-7ma-ED.pdf
- [4] LOSA. Reglamento a la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria [Internet]. 2019. Available from: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-05/Reglamento_LOSA.pdf
- [5] Coleman SW, Moore JE. Feed quality and animal performance. *Field Crops Res*. 2003;84(1–2):17–29.
- [6] Mateos GG, Grobas S, Taboada E, Méndez J. Valoración de la calidad del pienso en cunicultura. *Univ Autónoma Barcelona*. 1989:19–24.
- [7] Mengesha M. The issue of feed-food competition and chicken production for the demands of foods of animal origin. *Asian J Poult Sci*. 2012;6(2):31–43.
- [8] Patience JF, Rossoni-Serão MC, Gutiérrez NA. A review of feed efficiency in swine: Biology and application. *J Anim Sci Biotechnol*. 2015;6(1):1–9.
- [9] Lee CY, Song AAL, Loh TC, Abdul Rahim R. Effects of lysine and methionine in a low crude protein diet on the growth performance and gene expression of immunity genes in broilers. *Poult Sci*. 2020;99(6):2916–2925.
- [10] FAO. The future of food and agriculture: trends and challenges. Vol. 4. Rome; 2017:1951–1960.
- [11] FAO STATISTICS. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021. 2021.
- [12] Méndez-Barrón R. Inocuidad, normatividad y calidad como estrategia competitiva: experiencias en el sector porcícola de México y Sonora. *Estud Soc Rev Aliment Contemp y Desarro Reg* [Internet]. 2021 Oct 27. Available from: <https://www.ciad.mx/estudiosociales/index.php/es/article/view/1155>
- [13] Ingrid Carolina MR, Hernando CC. La Gestión de la Calidad, una mirada desde los Gobiernos Locales de México - Colombia [Internet]. Universidad Santo Tomás; 2021. Available from: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31776>
- [14] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. Latimer W, Horwitz GWL, editors. Rockville, MD; 2005.
- [15] Vieira SL, Stefanello C, Sorbara JOB. Formulating poultry diets based on their indigestible components. *Poult Sci* [Internet]. 2014 Sep;93(9):2411–2416. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003257911932396X>
- [16] CAMEVET. Guía para la elaboración de estudios de estabilidad de productos farmacéuticos veterinarios. 2019:15.
- [17] OMS. Comité de Expertos de la OMS en Especificaciones para las Preparaciones Farmacéuticas. *Inf Tec* 863. 2012:71–89.
- [18] AGROCALIDAD. Instructivo para las auditorías de certificación de buenas prácticas de manufactura y almacenamiento de productos veterinarios [Internet]. Ecuador; 2017. Available from: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Resolucion-0066.pdf>
- [19] Liao SF, Wang T, Regmi N. Lysine nutrition in swine and the related monogastric animals:

- muscle protein biosynthesis and beyond. Springerplus. 2015;4(1):1–12.
- [20] Krul ES. Calculation of Nitrogen-to-Protein Conversion Factors: A Review with a Focus on Soy Protein. *JAOCs, J Am Oil Chem Soc.* 2019;96(4):339–364.
- [21] Ojano-Dirain C, Waldroup P. Evaluation of Lysine, Methionine and Threonine Needs of Broilers Three to Six Week of Age under Moderate Temperature Stress. *Int J Poult Sci.* 2001;1(1,2,3):16–21.
- [22] Cemin HS, Vieira SL, Stefanello C, Kipper M, Kindlein L, Helmbrecht A. Digestible lysine requirements of male broilers from 1 to 42 days of age reassessed. 2017:1–13.
- [23] Dozier IA, Payne RL. Digestible lysine requirements of female broilers from 1 to 15 days of age. *J Appl Poult Res.* 2012;21(2):348–357.
- [24] Gilbert MS, Ijssennagger N, Kies AK, van Mil SWC. Protein fermentation in the gut; implications for intestinal dysfunction in humans, pigs, and poultry. *Am J Physiol - Gastrointest Liver Physiol.* 2018 Aug 1;315(2):G159–G170.
- [25] Rotz CA. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J Anim Sci.* 2004;82 E-Suppl(3).
- [26] Kirchgessner M, Roth FX. Minderung der stickstoffausscheidung beim schwein*. *Arch für Tierernaehrung.* 1993 Jan;43(4):283–301.
- [27] Frank D, Joo ST, Warner R. Consumer acceptability of intramuscular fat. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2016;36(6):699–708.
- [28] Yang XF, Qiu YQ, Wang L, Gao KG, Jiang ZY. A high-fat diet increases body fat mass and up-regulates expression of genes related to adipogenesis and inflammation in a genetically lean pig. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2018;19(11):884–894.
- [29] Chen CY, Huang YF, Ko YJ, Liu YJ, Chen YH, Walzem RL, et al. Obesity-associated cardiac pathogenesis in broiler breeder hens: Development of metabolic cardiomyopathy. *Poult Sci.* 2017;96(7):2438–2446.
- [30] Switonski M, Stachowiak M, Cieslak J, Bartz M, Grzes M. Knowledge on the genetic background of fat tissue accumulation is important in livestock production. *J Appl Genet.* 2010;51(2):153–168.
- [31] Smith TR, Hippen AR, Beitz DC, Young JW. Metabolic Characteristics of Induced Ketosis in Normal and Obese Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 1997;80(8):1569–1581.
- [32] Thiex N, Richardson CR. Challenges in measuring moisture content of feeds. *J Anim Sci.* 2003;81(12):3255–3266.
- [33] Manna M, Kim KD. Influence of Temperature and Water Activity on Deleterious Fungi and Mycotoxin Production during Grain Storage. *Mycobiology* [Internet]. 2017 Dec 19;45(4):240–254. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.5941/MYCO.2017.45.4.240>
- [34] Magan N, Medina A, Aldred D. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest. *Plant Pathol* [Internet]. 2011 Feb 10;60(1):150–163. Available from: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3059.2010.02412.x>
- [35] Maciorowski KG, Herrera P, Jones FT, Pillai SD, Ricke S. Effects on poultry and livestock of feed contamination with bacteria and fungi. *Anim Feed Sci Technol* [Internet]. 2007 Feb;133(1–2):109–136. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840106003087>
- [36] Gautam B, Govindan BN, Ganzle M, Roopesh MS. Influence of water activity on the heat resistance of *Salmonella enterica* in selected low-moisture foods. *Int J Food Microbiol* [Internet]. 2020 Dec;334:108813. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016816052030307X>
- [37] Jia S, Li C, Wu K, Qi D, Wang S. Effect of Water Activity on *Conidia* Germination

- in *Aspergillus flavus*. *Microorganisms* [Internet]. 2022 Aug 29;10(9):1744. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/9/1744>
- [38] Gomez R, Vioque M, Sanchez E, Fernandez-Salguero J. Changes in water activity and some microbial groups during storage of pet feed. *Acta Microbiol Immunol Hung*. 1997;44(2):155–164.
- [39] Martens EC, Neumann M, Desai MS. Interactions of commensal and pathogenic microorganisms with the intestinal mucosal barrier. *Nature Reviews Microbiology*. 2018;16:457–470.
- [40] Hall MB, Mertens DR. A 100-Year Review: Carbohydrates—Characterization, digestion, and utilization. *J Dairy Sci* [Internet]. 2017 Dec;100(12):10078–10093. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030217310470>
- [41] Baye K, Guyot JP, Mouquet-Rivier C. The unresolved role of dietary fibers on mineral absorption. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2017 Mar 24;57(5):949–957. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2014.953030>
- [42] Mertens DR. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *J Anim Sci* [Internet]. 2003 Dec 1;81(12):3233–3249. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/81/12/3233/4790131>
- [43] Bach Knudsen KE, Lærke HN, Jorgensen H. The role of fibre in nutrient utilization and animal health. *Proc 29th West Nutr Conf*. 2008 Jun;93–106.
- [44] Eklou-Kalonji E, Zerath E, Colin C, Lacroix C, Holy X, Denis I, et al. Calcium-Regulating Hormones, Bone Mineral Content, Breaking Load and Trabecular Remodeling Are Altered in Growing Pigs Fed Calcium-Deficient Diets. *J Nutr* [Internet]. 1999 Jan;129(1):188–193. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022316623019041>
- [45] Zhao SC, Teng XQ, Xu DL, Chi X, Ge M, Xu SW. Influences of low level of dietary calcium on bone characters in laying hens. *Poult Sci* [Internet]. 2020 Dec;99(12):7084–7091. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0032579120306040>

Tabla suplementaria 1

Pienso	Proteína	Grasa	Humedad	Cenizas	Fibra
A1	1,01	0,78	1,01		
A2	1,05	1,26	0,97	0,64	0,81
A3	1,04		0,97	0,55	0,59
A4	1,06	1,24	0,95	0,51	0,58
A5	1,08	1,03	0,92	1,09	0,83
A6	0,86	1,10	0,77	1,46	0,95
A7		1,3	0,78	0,71	0,46
A8	0,93	0,82	0,96	0,87	0,77
A9	0,98	1,08	1,00	0,72	
A10	0,96	2,69	0,95	0,81	0,88
A11			1,07	1,05	
A12	1,08	1,36	1,06	0,97	0,67
A13	1,09	1,32	0,9	0,56	0,7
A14	1,12	0,82	0,98	0,82	0,85
A15	1,02	1,21	0,86	1,46	0,85
A16	0,96	2,36	0,9	1,19	
A17	0,57	0,54	1,15	2,06	1,40
A18	0,98	1,19	0,98	0,55	0,73
A19	0,93	0,9		1,00	
A20	0,9	0,89	1,12	1,07	0,73
A21	1,15	1,44	1,04	0,83	0,69
A22	1,19	0,95	0,91	0,99	0,55
A23	1,05	1,10	0,94	0,85	0,51
A24	0,91	0,93	2,21		
A25	1,21	1,27	0,69	0,69	0,8
A26	1,01	1,00	0,67	0,87	0,85
A27	1,03	0,97	1,95		
A28	1,04	1,41	0,97	0,86	0,92
A29	1,01	1,05	0,62	0,59	0,63
A30	1,10	1,26	0,95	0,99	
A31			1,83	0,74	0,87
A32	1,01	3,61	0,9	0,71	0,98
A33	0,65	1,18	1,02	2,02	0,61
A34		5,01	1,06	0,57	0,89
A35	1,07		1,03	0,86	
A36	1,07	3,04	1,06	0,13	0,6
A37	1,07	0,99	0,93	0,4	0,53
A38	1,11	1,15	0,98	0,78	1,03
A39	1,12	1,16	0,9	0,52	0,73
A40	1,08	1,4	0,9	0,61	0,68
A41	1,17	1,28	0,97	0,4	0,74
A42	1,03	1,6	0,97	0,54	0,74
A43	1,11	1,27	1,00	0,49	0,42
A44	1,06	1,01	0,81	0,97	1,00
A45	1,18	1,17	0,97	0,67	0,75
A46	1,19	1,01	0,93	0,62	0,74
A47	1,31	1,12	1	0,65	0,8
A48	0,92	1,24	0,69	1,27	0,86
A49	1,00	1,01	1,13	0,96	
A50	1,17	0,89	1,23	1,25	0,69
A51	0,94	0,84	1,16	1,43	0,83
A52	0,91	0,88	1,1	1,99	1,15
A53	0,76	0,58	1,11	1,45	1,04
A54	0,93	0,97	1,05	2,14	1,57
A55	1,02			0,44	0,65
A56	1,02	1,24	0,97	0,93	0,69
A57	1,01	1,44	1,01	0,63	0,65
A58	0,71	0,67	1,42		
A59	1,01	2,52	0,99	0,87	0,76
A60	0,88	2,51	1,00	0,8	0,93
A61	0,92	1,11	1,07	0,91	0,65

* Los espacios vacíos corresponden a piensos que declararon valores fijos o en su defecto no se declararon en la etiqueta.