

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LA HARINA DE SOYA PARA ALIMENTACIÓN AVÍCOLA Y PORCINA, DE ACUERDO CON EL PAÍS DE ORIGEN

EVALUATION OF THE AMINO ACID CONTENT OF SOYBEAN MEAL FOR POULTRY AND PIG FEED, ACCORDING TO THE COUNTRY OF ORIGIN

Mario Arjona-Smith¹*, Liz B. Chino V.², Juan E. Moscoso M.²

¹Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá (mario.arjona@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-6100-1731>)

²Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ciencias Agrarias. Perú (liz.chino@unsaac.edu.pe <https://orcid.org/0000-0002-6322-7371>; juan.moscoso@unsaac.edu.pe <https://orcid.org/0000-0001-5884-9718>)

*Correo de Correspondencia: mario.arjona@up.ac.pa

Recibido:10/02/2022

Aceptado:28/03/2022

RESUMEN. Se evaluó la composición química, contenido de aminoácidos y solubilidad de la proteína de la harina de soya procedentes de Brasil (n = 124), Argentina (n = 97), Bolivia (n = 92) y Paraguay (n = 92), de una base de datos de análisis efectuados en laboratorio de bromatología. Se encontró diferencias en el contenido de los compuestos nitrogenados estudiados en función al país de origen; el contenido de proteína cruda varió de 45.92%, 47.90%, 47.35%, 46.57% para los países de Argentina, Bolivia, Brasil y Paraguay respectivamente y fue mayor en las harinas provenientes de Bolivia y Brasil, pero la solubilidad de la proteína, el contenido de lisina y metionina como % de la proteína, fue mejor en las harinas Argentinas (6.12% y 1.38% respectivamente); como porcentaje de la harina, las muestras provenientes de Bolivia tienen el mayor contenido de aminoácidos. De los modelos de predicción del contenido de aminoácidos, el de la Lisina ($Y = 0.7461 + 0.0450 \%PC$), Triptófano ($Y = 0.0011 + 0.0143 \%PC$), Cistina ($Y = 0.1066 + 0.0128 \%PC$) y Metionina ($Y = 0.1052 + 0.0114 \%PC$) tienen una alta precisión y adecuada relación lineal. El contenido nutricional, calidad de la proteína y contenido de aminoácidos de la harina de soya varían de acuerdo con su país de origen.

PALABRAS CLAVE: Aminoácidos, solubilidad de la proteína, valor nutricional, harina de soya.

ABSTRACT. The chemical composition, amino acid content and protein solubility of soybean meal from Brazil (n = 124), Argentina (n = 97), Bolivia (n = 92) and Paraguay (n = 92) from a database of analyzes carried out in the bromatology laboratory were evaluated. Differences were found in the content of the nitrogenous compounds studied depending on the country of origin; the crude protein content varied from 45.92%, 47.90%, 47.35%, 46.57% for the countries of Argentina, Bolivia, Brazil and Paraguay respectively and was higher in the meals from Bolivia and Brazil, but the solubility of the protein, the Lysine and Methionine content as % of protein, was better in Argentine meals (6.12% and 1.38% respectively); As a percentage of the flour, the samples from Bolivia have the highest amino acid content. The amino acid content prediction models, Lysine ($Y = 0.7461 + 0.0450 \%PC$), Tryptophan ($Y = 0.0011 + 0.0143 \%PC$), Cystine ($Y = 0.1066 + 0.0128 \%PC$) and Methionine ($Y = 0.1052 + 0.0114 \%PC$) have high precision and good linear relationship. The nutritional content, protein quality and amino acid content of soybean meal vary according to its origin

KEYWORDS: Amino acids, solubility of protein, nutritional value, soymeal flour.

INTRODUCCIÓN

La avicultura y la porcicultura son sectores de la producción animal que presentan un alto avance científico y tecnológico a nivel mundial. Las mejoras genéticas realizadas, hacen que los animales presenten mejores desempeños productivos, pero a la vez mayores exigencias nutricionales. En la actualidad en la producción avícola y porcina se habla de nutrición de precisión, misma que según Paulino (2017), se define como ofrecer al animal una alimentación que cumpla con exactitud sus requerimientos nutricionales para la eficiencia productiva óptima y obtener productos de origen animal de mejor calidad para los consumidores, contribuyendo a un medio ambiente más limpio y a asegurar la competitividad de los productores.

Considerando que el alimento representa los mayores costos en la alimentación de estas especies animales, siendo la energía y proteína los de mayor impacto (Cerrate *et al.*, 2010), existe la necesidad de optimizar la utilización de los ingredientes y para ello el adecuado conocimiento de su composición nutricional (entre ellos la proteína y aminoácidos) es de suma importancia (Soomro *et al.*, 2018). La harina de soya es la principal fuente de proteína en dietas para aves y cerdos, a dicha harina, generalmente se le analiza para conocer su contenido de fibra cruda, proteína bruta y la actividad ureásica, prestando poca atención a factores como el origen, genotipo, tipo de suelo, prácticas agronómicas y condiciones ambientales, mismas que también afectan la composición del frijol de soya observándose variaciones en el contenido de proteína cruda y aminoácidos en función a su lugar de procedencia (Karr-Lilienthl *et al.*, 2004; García-Rebollar *et al.*, 2016). Sobre esto Ravindran *et al.*, (2014) indican que el perfil de aminoácidos de la harina de soya varía según el origen puesto que las soyas provenientes de Estados Unidos y Argentina, contienen mayor cantidad de lisina y aminoácidos azufrados totales si se compara con la soya proveniente de Brasil; Thakur & Hurburgh (2007), concluyeron que la harina de soya proveniente de Estados Unidos presenta un perfil de aminoácidos y digestibilidad superior a las harinas provenientes de Sudamérica.

Dietas altas en proteína generan impactos sobre la salud de los animales y también sobre el ambiente; la reducción de la proteína dietaria puede reducir la contaminación por nitrógeno y reducir la pérdida de energía (Pedersen *et al.*, 2019) al mejorar la eficiencia de utilización del nitrógeno se impacta en la respuesta productiva, cuando se maneja adecuadamente el balance de aminoácidos (Zaman *et al.*, 2008; Kamran *et al.*, 2011; Laudadio *et al.*, 2012), mejorando la eficiencia del uso de nitrógeno y la deposición de proteína corporal (Eits *et al.*, 2002; Musigwa *et al.*, 2020); sin embargo esta reducción puede conllevar a una pobre respuesta productiva (Hilliar *et al.*, 2020), que puede ser atribuida a una limitada disponibilidad de los aminoácidos (Dean *et al.*, 2006), este efecto ha sido observado en diferentes condiciones, cuando se reduce hasta en un 70% el nivel de aminoácidos azufrados en gallinas de postura, en las que el crecimiento, desarrollo óseo, mineralización y consumo de alimento se ve afectado (Castro *et al.*, 2020).

Para lograr una nutrición de precisión es necesaria la formulación exacta de raciones, empleando el concepto de proteína ideal con el cual los aminoácidos de la dieta cubren los aminoácidos requeridos por el animal, sin excesos ni déficit, considerando factores como: genética, alimentación, ambiente y valor nutricional para el cual se utiliza el análisis proximal y el NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) (Paulino, 2017).

Formular concentrados en los cuales no se considera el valor exacto real de cada componente nutricional, lleva a obtener dietas que, aunque se aproximan bastante bien al requerimiento de los animales, no logran suplir de manera exacta cada nutriente causando problemas de desbalance que traen consigo consecuencias que afectan la producción, y tomando en consideración que las estrategias alimenticias en cerdos y aves en la actualidad tienen una nueva percepción al tomar en cuenta los problemas ambientales actuales relacionados a la contaminación por nitrógeno, se requiere tener un ajuste en la suplementación de proteína/aminoácidos en función a los requerimientos para obtener los menores niveles de excreción de nitrógeno (Schutte & Jong, 1999; Alagawany *et al.*, 2014).

Todo ello implica que el adecuado conocimiento del balance de aminoácidos dietarios es fundamental ya sea para mejorar la respuesta productiva, en condiciones sanitarias adecuadas y con bajo impacto en el medio ambiente, para ello es necesario tener claramente establecido el contenido de aminoácidos en los ingredientes empleados para la formulación, siendo uno de estos la harina de soya.

Por todo lo antes expuesto, en el presente trabajo se evaluó la composición química, contenido de aminoácidos y solubilidad de la proteína de la harina de soya procedente de cuatro diferentes países suramericanos (Brasil, Argentina, Bolivia y Paraguay), buscando obtener datos que permitan hacer formulaciones más exactas según los requerimientos de los animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras

Para el ensayo se utilizaron datos de laboratorio provenientes de 405 muestras de soya (Argentina 97, Bolivia 92, Brasil 124 y Paraguay 92), que fueron analizadas del año 2016 al 2018, en cuanto a su contenido de materia seca (deseccación), lípidos (extracción con Soxhlet), fibra cruda (hidrólisis ácida y alcalina), nitrógeno (micro-Kjeldahl) utilizando el análisis proximal. El contenido de proteína fue calculado multiplicando el contenido de N x 6.25, el contenido de aminoácidos (aminograma) utilizando la espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS).

Variables evaluadas

Se utilizó el contenido de nitrógeno de la muestra multiplicado por el factor 6.25 para conocer su contenido de proteína. Para el contenido de aminoácidos se utilizaron los valores de Lisina, Metionina, Cistina, Treonina, Triptófano, Valina, Isoleucina, Leucina, Fenilalanina, Histidina, Arginina, obtenidos con el NIRS. Además, se comparó el contenido de lisina y aminoácidos azufrados totales entre las muestras de cada país y la solubilidad de la proteína.

Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar, considerando los países origen como tratamientos, inicialmente los datos fueron trabajados en una hoja de Excel (Microsoft Excel 2016). Las variables dependientes fueron examinadas por normalidad, y homogeneidad de varianzas con las

pruebas de Shapiro Wilks y Levene respectivamente, se utilizó estadística descriptiva para el análisis de las variables. Las variables que cumplieron con estos supuestos fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANOVA) y posterior al ANOVA se aplicó una prueba de rangos múltiples de Tukey. Las variables que no cumplieron con uno o ambos supuestos, fueron analizadas con la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y comparadas con la prueba de Wilcoxon. Se realizó un análisis de correlación y regresión lineal para establecer la relación entre la variación de los niveles de proteína cruda y los aminoácidos. Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De todas las muestras analizadas, se puede apreciar que la variabilidad en el contenido de macronutrientes fue mayor en la grasa y proteína cruda, es destacable resaltar que la solubilidad de la proteína es alta, pero muestra un rango muy amplio. En cuanto a los aminoácidos, la Lisina representó en general el 6.09% de la proteína cruda, con una variación de 0.41% entre los valores más bajos y altos; la Metionina representó el 1.37% de la proteína cruda, en este caso la variación fue menor (0.11%). Cuando los aminoácidos son expresados como fracción de la harina de soya, los aminoácidos que muestran mayor variabilidad en su contenido son la Arginina, Isoleucina, Leucina, Fenilalanina e Histidina y los aminoácidos que tienen valores más constantes son la Metionina, Cistina y Triptófano seguidos de la Lisina, Treonina y Valina (Tabla 1).

El contenido de Lisina expresado como porcentaje de la proteína cruda es en promedio de 6.09% (rango de 5.90 a 6.31%), diversos estudios reportan valores diferenciados al presente estudio (Solano *et al.*, 2012; Ravindran *et al.*, 2014; Karr-Lilienthal *et al.*, 2004; Thakur & Hurburgh, 2007) al igual que para los otros aminoácidos, coincidiendo todos ellos en que el tipo de variedad, procedencia y procesamiento son los factores determinantes para estas variaciones.

Tabla 1. Variación de la composición nutricional de la harina de soya, %.

Componente, %	Nº	Promedio	DS	Mínimo	Mediana	Máximo
Materia seca	405	89.82	0.44	88.68	89.77	91.39
Proteína cruda	405	47.00	0.96	43.49	47.13	49.38
Proteína soluble KOH	405	79.53	3.26	68.00	79.50	89.00
Fibra cruda	405	4.12	0.64	3.07	3.94	6.35
Grasa	405	2.12	0.60	0.98	2.07	6.91
Lisina/PC	405	6.09	0.05	5.90	6.09	6.31
Metionina/PC	405	1.37	0.02	1.30	1.37	1.41
Lisina	405	2.87	0.05	2.67	2.86	2.97
Metionina	405	0.64	0.01	0.58	0.65	0.66
Cistina	405	0.71	0.01	0.66	0.71	0.74
Treonina	405	1.85	0.03	1.68	1.86	1.91
Triptófano	405	0.67	0.02	0.61	0.67	0.71
Valina	405	2.32	0.13	2.32	0.29	2.63
Isoleucina	405	2.18	0.13	0.29	2.19	3.22
Leucina	405	3.60	0.10	2.15	3.61	3.77
Fenilalanina	405	2.38	0.08	2.22	2.37	3.54
Histidina	405	1.22	0.07	1.14	1.22	2.32
Arginina	405	3.40	0.27	0.45	3.41	3.72

DS: desviación estándar; Nº: número de observaciones.

En cuanto a la procedencia de la harina de soya, los valores de humedad son mayores en las muestras provenientes de Argentina ($p < 0.01$) siendo menores en las muestras bolivianas; para la fibra, la harina de Bolivia tuvo el menor contenido (4.40%) frente al de los otros países ($p < 0.01$). La proteína cruda, fue mayor en las harinas procedentes de Bolivia y Brasil, siendo inferior en la Paraguaya y Argentina ($p < 0.01$); en cambio el contenido de grasa es superior en las harinas provenientes de Brasil, Bolivia y Paraguay frente a la de Argentina que tiene el porcentaje más bajo ($p < 0.01$), la variabilidad más elevada para el contenido de grasa fue en las harinas Brasileñas y Paraguayas llegando a porcentajes de hasta 6.91 y 5.21% respectivamente (Tabla 2).

El contenido de Lisina como porcentaje de la proteína cruda es inferior en las harinas Paraguayas, Bolivianas y Brasileñas frente a la Argentina que tiene el contenido más alto ($p < 0.01$); de igual manera el nivel de Metionina como porcentaje de la proteína cruda, es mayor en las harinas provenientes de Argentina frente a los otros orígenes ($p < 0.01$) (Tabla 2). En términos generales la mayor variabilidad en el contenido nutricional se dio en las harinas provenientes de Brasil para la fibra cruda, proteína cruda y grasa; en cuanto a la humedad y Lisina la mayor variabilidad se dio en las harinas Bolivianas y para la metionina en las harinas Paraguayas.

El estudio muestra que el contenido de proteína y los otros nutrientes varía en función al lugar de procedencia, fueron más bajos los valores de proteína en las muestras de Argentina y mayores en las provenientes de Bolivia y Brasil coincidiendo con lo reportado por Thakur & Hurburgh (2007) y Ravindran *et al.*, (2014) dichas variaciones son atribuibles a las diferentes condiciones climáticas en las cuales son producidas, combinado con la diferencia en las variedades y prácticas agrícolas empleadas, generando con ello que la soya tenga diferentes parámetros de calidad. Adicionalmente las diferencias en las condiciones de procesamiento como es la humedad, temperatura y tiempo de secado afectan la composición y la calidad de la soya (Thakur & Hurburgh, 2007) como lo apreciado en el presente estudio, donde el contenido de humedad es menor en la soya Boliviana, lo que habría determinado una mayor concentración de nutrientes, la soya Argentina presenta el mayor porcentaje de humedad (10.96%) frente a los otros países, determinando ello que el contenido de grasa sea superior en las soyas Bolivianas (2.13%), Brasileñas (2.25%) y Paraguayas (2.09%).

Tabla 2. Variación de la composición nutricional de la harina de soya en función a su país de origen, %.

Variable, %	Procedencia	N°	Promedio	DS	Mínimo	Mediana	Máximo
Humedad	ARG	97	10.96 ^A	1.09	8.45	11.36	12.40
	BOL	92	9.92 ^C	1.00	7.91	9.81	12.43
	BRA	124	10.10 ^B	0.67	8.32	10.07	11.70
	PAR	92	10.26 ^B	0.80	8.57	10.35	12.44
Fibra Cruda	ARG	97	4.66 ^A	0.38	3.85	4.65	5.57
	BOL	92	4.40 ^B	0.32	3.91	4.31	5.66
	BRA	124	4.65 ^A	0.58	3.90	4.42	6.87
	PAR	92	4.70 ^A	0.61	3.73	4.54	6.65
	ARG	97	45.92 ^C	0.60	44.35	46.00	46.97

Proteína cruda	BOL	92	47.90 ^A	1.19	45.56	48.13	50.21
	BRA	124	47.35 ^A	1.29	42.71	47.84	49.51
	PAR	92	46.57 ^B	1.39	43.82	46.51	49.23
Solubilidad de la Proteína cruda	ARG	97	77.23 ^C	1.29	73.50	77.50	80.90
	BOL	92	81.83 ^A	2.30	75.90	82.15	86.10
	BRA	124	79.88 ^B	4.09	68.00	80.70	85.70
	PAR	92	79.20 ^B	2.50	70.00	79.40	89.00
Grasa	ARG	97	1.99 ^B	0.30	1.37	2.10	2.35
	BOL	92	2.13 ^A	0.30	1.21	2.12	2.86
	BRA	124	2.25 ^A	0.85	1.26	2.06	6.91
	PAR	92	2.09 ^A	0.63	0.98	1.90	5.21
Lisina/PC	ARG	97	6.12 ^A	0.04	6.03	6.12	6.24
	BOL	92	6.08 ^B	0.05	5.99	6.07	6.31
	BRA	124	6.08 ^B	0.05	5.90	6.08	6.19
	PAR	91	6.10 ^B	0.06	5.99	6.09	6.28
Metionina/PC	ARG	97	1.38 ^A	0.02	1.34	1.38	1.41
	BOL	92	1.37 ^B	0.02	1.33	1.36	1.40
	BRA	124	1.36 ^B	0.02	1.31	1.37	1.40
	PAR	92	1.36 ^B	0.02	1.30	1.37	1.41

DS: desviación estándar; N°: número de observaciones; ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; PAR: Paraguay.
Los valores dentro de las filas con letras diferentes en superíndice son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Un parámetro de calidad a tomar en consideración es la solubilidad de la proteína cruda cuyo rango adecuado varía entre 70 y 85%, cuando es superior indica un deficiente procesamiento y valores inferiores indican sobre procesamiento (Batal *et al.*, 2000; Araba & Dale, 1990), afectando con ello el crecimiento de los animales, en el presente estudio se aprecia que los valores promedio de solubilidad están dentro de los valores considerados como aceptables, sin embargo la harina proveniente de Argentina tiene rangos de variación más estrechos (mínimo 73.50% y máximo 80.90%), en cambio las otras harinas tienen rango más amplios que muestran menor uniformidad en el procesamiento, con valores por encima del 85% (Boliviana, Brasileña y Paraguaya) y también valores inferiores al 70% como es el caso de la soya Brasileña (68%), estos resultados permitirían inferir que a pesar de que la soya Argentina tiene menor contenido de proteína cruda (45.92%) sería más adecuada para su utilización en la alimentación animal.

Como se aprecia en la Tabla 3, existen diferencias en el contenido de aminoácidos y lugares de procedencia, mostrando mayor variabilidad el contenido de Lisina, Leucina y Fenilalanina, apreciándose valores más constantes en la Metionina, Cistina y Triptófano, siendo este efecto el mismo para todas las procedencias.

Tabla 3. Variación de la composición de aminoácidos en la harina de soya en función a su origen, %.

Aminoácido	Procedencia	N°	Promedio	DS	Mínimo	Mediana	Máximo
Lisina	ARG	97	2.83	0.03	2.77	2.82	2.89
	BOL	92	2.90	0.04	2.81	2.90	2.97
	BRA	124	2.88	0.05	2.67	2.89	2.97
	PAR	92	2.84	0.05	2.48	2.84	2.92
Metionina	ARG	97	0.64	0.01	0.61	0.64	0.66
	BOL	92	0.65	0.01	0.63	0.65	0.66
	BRA	124	0.64	0.02	0.58	0.65	0.66
	PAR	92	0.64	0.02	0.60	0.64	0.66
Cistina	ARG	97	0.70	0.01	0.66	0.70	0.72
	BOL	92	0.72	0.01	0.68	0.72	0.74
	BRA	124	0.71	0.01	0.67	0.72	0.73
	PAR	92	0.70	0.02	0.67	0.70	0.73
Treonina	ARG	97	1.84	0.02	1.79	1.84	1.88
	BOL	92	1.86	0.02	1.81	1.87	1.90
	BRA	124	1.85	0.04	1.68	1.86	1.91
	PAR	92	1.84	0.04	1.74	1.85	1.90
Triptofano	ARG	97	0.66	0.01	0.64	0.66	0.68
	BOL	92	0.68	0.01	0.65	0.68	0.71
	BRA	124	0.68	0.02	0.61	0.68	0.70
	PAR	92	0.67	0.01	0.63	0.67	0.69
Valina	ARG	97	2.29	0.04	2.00	2.30	2.36
	BOL	92	2.36	0.05	2.26	2.37	2.63
	BRA	124	2.34	0.06	2.09	2.36	2.41
	PAR	92	2.28	0.24	0.29	2.32	2.40
Isoleucina	ARG	97	2.14	0.19	0.29	2.16	2.20
	BOL	92	2.23	0.11	2.10	2.22	3.22
	BRA	124	2.20	0.05	2.01	2.21	2.27
	PAR	92	2.17	0.12	1.16	2.19	2.26
Leucina	ARG	97	3.53	0.15	2.15	3.55	3.66
	BOL	92	3.64	0.06	3.44	3.64	3.76
	BRA	124	3.63	0.07	3.35	3.65	3.77
	PAR	92	3.60	0.06	3.44	3.61	3.70
Fenilalanina	ARG	97	2.33	0.13	2.26	2.32	3.54
	BOL	92	2.41	0.05	2.27	2.42	2.52
	BRA	124	2.40	0.05	2.22	2.41	2.52

	PAR	92	2.36	0.05	2.23	2.36	2.45
Histidina	ARG	97	1.21	0.12	1.17	1.20	2.32
	BOL	92	1.23	0.02	1.17	1.23	1.27
	BRA	124	1.23	0.02	1.14	1.23	1.28
Arginina	PAR	92	1.22	0.10	1.16	1.22	2.11
	ARG	97	3.28	0.22	1.20	3.30	3.44
	BOL	92	3.48	0.34	0.48	3.53	3.72
	BRA	124	3.47	0.11	3.18	3.50	3.72
	PAR	92	3.37	0.32	0.45	3.40	3.55

DS: desviación estándar; N°: número de observaciones; ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; PAR: Paraguay.

Los resultados muestran que, para todos los aminoácidos evaluados, las muestras provenientes de Bolivia tienen el mayor contenido frente a las muestras de los otros países ($p < 0.01$), solo para el caso de la Leucina e Histidina la soya Bolivia es similar en su contenido con la soya Brasileña. Para la soya brasileña, las demás variables presentaron el segundo nivel de contenido de proteína y aminoácidos más alto, sin diferencias significativas respecto a las muestras provenientes de Paraguay en lo referente al contenido de Isoleucina. Las muestras Paraguayas presentaron el menor nivel en el contenido de Valina, mientras que las muestras Argentinas presentaron los menores niveles de Proteína Cruda, Lisina, Treonina, Triptófano, Fenilalanina y Arginina, sin diferencias significativas para los contenidos de Metionina, Cistina y Azufrados (Met + Cis) con respecto a las muestras Paraguayas (Tabla 4).

Tabla 4. Valores medios de Proteína Cruda, Lisina, Metionina, Cistina, Azufrados (met + cis), Treonina, Triptófano, Valina, Isoleucina, Leucina, Fenilalanina, Histidina, Arginina en la soya proveniente de cuatro países diferentes.

Variable	País de origen			
	ARG	BOL	BRA	PAR
Lisina (g/100g)	2.83 ^D	2.90 ^A	2.87 ^B	2.84 ^C
Metionina (g/100g)	0.64 ^C	0.65 ^A	0.64 ^B	0.64 ^C
Cistina (g/100g)	0.70 ^C	0.72 ^A	0.71 ^B	0.70 ^C
Azufrados (Met + Cis) (g/100g)	1.34 ^C	1.37 ^A	1.35 ^B	1.34 ^C
Treonina (g/100g)	1.83 ^D	1.86 ^A	1.85 ^B	1.84 ^C
Triptófano (g/100g)	0.66 ^D	0.68 ^A	0.67 ^B	0.67 ^C
Valina (g/100g)	2.29 ^C	2.36 ^A	2.33 ^B	2.28 ^D
Isoleucina (g/100g)	2.13 ^C	2.23 ^A	2.19 ^B	2.17 ^B
Leucina (g/100g)	3.53 ^C	3.64 ^A	3.62 ^A	3.59 ^B
Fenilalanina (g/100g)	2.34 ^D	2.41 ^A	2.39 ^B	2.36 ^C
Histidina (g/100g)	1.21 ^C	1.23 ^A	1.23 ^A	1.22 ^B
Arginina (g/100g)	3.27 ^D	3.49 ^A	3.45 ^B	3.37 ^C

ARG: Argentina; BOL: Bolivia; BRA: Brasil; PAR: Paraguay.

Los valores dentro de las filas con letras diferentes en superíndice son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tomando en consideración la evidenciada diversidad en la composición de aminoácidos entre tipos de soya, se desarrollaron modelos para predecir el contenido de aminoácidos en función a las variaciones en los niveles de proteína cruda, puesto que la concentración de aminoácidos sigue la misma tendencia de la proteína cruda (Karr-Lilienthal *et al.*, 2004). En la (Tabla 5), los resultados de dichos modelos muestran que, para la Lisina, Triptófano y Cistina tienen una alta precisión y adecuada relación lineal (R^2 de 82.4%, 78.2%, 71.5% respectivamente), el modelo para la Metionina presenta un R^2 de 60.3% y los modelos para los otros aminoácidos no predicen adecuadamente, atribuible a la alta variabilidad existente entre los rangos y/o concentraciones de estos nutrientes.

Tomando en cuenta que los primeros aminoácidos limitantes en cerdos y aves son la Lisina y Metionina respectivamente, se aprecia que de ambos el modelo que predice mejor es el de la Lisina (Figura 1 y 2), por que guarda estrecha relación con los niveles de proteína cruda, cuya mayor concentración está en el rango de 46 a 48% de PC, para la Lisina la mayor concentración se encuentra en el rango de 2.80 a 2.95%, por lo que se puede usar la valoración de la proteína cruda para calcular el contenido de aminoácidos tomando como referencia la Lisina y a partir de ella calcular los otros aminoácidos.

Tabla 5. Modelos de predicción de la concentración de aminoácidos en función al nivel de proteína cruda (%).

Variable	Modelo	R^2 , %	DS	Valor P
Lisina, %	$Y = 0.7461 + 0.0450 X$	82.4	0.02	0.001
Metionina, %	$Y = 0.1052 + 0.0114 X$	60.3	0.01	0.001
Cistina, %	$Y = 0.1066 + 0.0128 X$	71.5	0.01	0.001
Treonina, %	$Y = 0.6145 + 0.0263 X$	59.3	0.02	0.001
Triptófano, %	$Y = 0.0011 + 0.0143 X$	78.2	0.01	0.001
Valina, %	$Y = -0.2398 + 0.0545 X$	17.3	0.11	0.001
Leucina, %	$Y = 0.6102 + 0.0636 X$	38.18	0.08	0.001
Isoleucina, %	$Y = 0.3338 + 0.0394 X$	8.8	0.12	0.001
Fenilalanina, %	$Y = 0.0590 + 0.0519 X$	37.1	0.07	0.001
Histidina, %	$Y = 0.3007 + 0.0196 X$	6.2	0.07	0.001
Arginina, %	$Y = -2.075 + 0.1166 X$	17.3	0.24	0.001

Y: variable respuesta; X: proteína cruda, %; DS: desviación estándar.

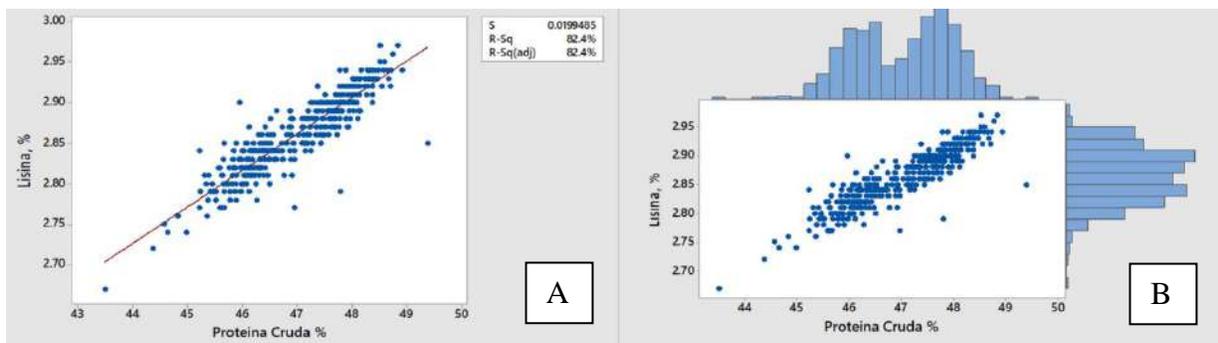


Figura 1. (A) Variación en los niveles de Lisina en función al nivel de Proteína Cruda $Lisina, \% = 0.7461 + 0.04501 \text{ Proteína Cruda } \%$. (B) Rango de valores de Lisina, % vs valores de Proteína Cruda %.

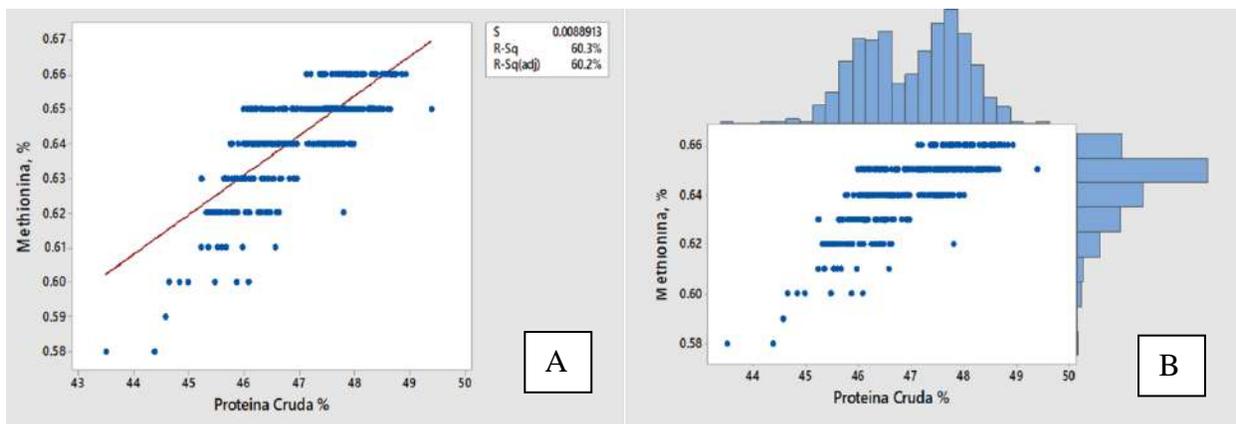


Figura2. (A) Variación en los niveles de Metionina en función al nivel de Proteína Cruda $Metionina, \% = 0.1052 + 0.01143 \text{ Proteína Cruda } \%$. (B) Rango de valores de Metionina, % vs valores de Proteína Cruda %.

CONCLUSIONES

- El contenido nutricional de la harina de soya varía dependiendo del lugar de origen y el tipo de procesamiento efectuado.
- Existe una relación positiva entre el contenido de proteína cruda y su composición de aminoácidos, principalmente para la Lisina, Triptófano, Cistina y Metionina.

REFERENCIAS

- Alagawany, M., El-Hack, M. E. A., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2014). Effect of low-protein diets with crystalline amino acid supplementation on egg production, blood parameters and nitrogen balance in laying Japanese quails. *Avian Biology Research*, 7(4), 235-243.
- Araba, M., & Dale, N. M. (1990). Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. *J Poult Sci*, 69, 76–83.
- Batal, A. B., Douglas, M. W., Engram, A. E., & Parsons, C. M. (2000). Protein dispensability index as an indicator of adequately processed soybean meal. *J Poult Sci*, 79, 1592–1596.
- Castro, F.L.S., Kim, Y., Xu, H., & Kim, W.K. (2020). The effect of total sulfur amino acid levels on growth performance and bone metabolism in pullets under heat stress. *Poultry Science*, 99, 5783 – 5791.
- Cerrate, S., & Coon, C. (2010). Estimation of net energy values of Feedstuffs by simulation of biochemical reactions in broiler chicks. *J. Anim. Sci.* Vol. 88: E-Suppl. 2.

- Dean, D., Bidner, T. D., & Southern, L. L. (2006). Glycine supplementation to low crude protein, amino acid supplemented diets supports optimal performance of broiler chicks. *Poult. Sci.* 85:288–296.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., & Robledo C.W. (2008). *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Eits, R. M., Kwakkel, R. P., Verstegen, M. W. A., Stoutjesdijk, P., & De Greef, K. H. (2002). Protein and lipid deposition rates in male broiler chickens: separate responses to amino acids and protein-free energy. *Poultry Science*, 81(4), 472-480.
- García-Rebollar, P., Cámara, L., Lázaro, R.P., Dapoza, C., Pérez-Maldonado, R., & Mateos, G.G. (2016). Influence of the origin of the beans on the chemical composition and nutritive value of comercial soybean meals. *Animal Feed Science and Technology* 221 (2016) 245 – 261.
- Hilliari, M., Hargrave, G., Girish, C.K., Barekatin, R., Wu, S-B., & Swick, R.A. (2020). Using crystalline aminoacid to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poultry Science* 99: 1551 – 1563.
- Kamran, Z., Ahmad Nadeem, M., Sarwar, M., Shakil Amjid, S., Hussain Pasha, R., & Shahid Nazir, M. (2011). Effect of low crude protein diets with constant metabolizable energy on performance of broiler chickens from one to thirty-five days of age. *Indian Journal of Animal Sciences*, 81(11), 1165.
- Karr-Lilienthal, L.K., Grieshop, C.M., Merchen, N.R., Mahan, D.C., & Fahey Jr., G.C. (2004). Chemical composition and protein quality comparisons of soybeansand soybean meals from five leading soybean-producing countries. *J. Agric. Food Chem.* 52, 6193–6199.
- Laudadio, V., Dambrosio, A., Normanno, G., Khan, R. U., Naz, S., Rowghani, E., & Tufarelli, V. (2012). Effect of reducing dietary protein level on performance responses and some microbiological aspects of broiler chickens under summer environmental conditions. *Avian Biology Research*, 5(2), 88-92.
- Musigwa, S., Morgan, N., Swick, R. A., Cozannet, P., & Wu, S. B. (2020). Energy dynamics, nitrogen balance, and performance in broilers fed high-and reduced-CP diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(4), 830-841.
- Paulino, J. (2017). Nutrición de precisión para pollo de engorde de alto desempeño. Artículos técnicos. Engormix. Disponible en: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/nutricion-precision-pollo-engorde-t40378.htm>.
- Pedersen, T. F., Chang, C. Y., Trottier, N. L., Bruun, T. S., & Theil, P. K. (2019). Effect of dietary protein intake on energy utilization and feed efficiency of lactating sows. *Journal of animal science*, 97(2), 779-793.

- Ravindran, V., Abdollahi, M. R., & Bootwalla, S. M. (2014). Nutrient analysis, metabolizable energy, and digestible amino acids of soybean meals of different origins for broilers. *Poultry science*, 93(10), 2567-2577.
- Schutte, J.B., & Jong, J. (1999). Ideal amino acid profile for poultry. Bru fau J. (ed.), Tacon A. (ed.). *Feed manufacturing in the Mediterranean region: Recent advances in research and technology*. Zaragoza: CIHEAM. p. 259 -263 (Cahiers Option s Méditerran éen n es; n. 37).
- Solano, G., Fonseca, R., & Santiesteban, R. (2012). Proteína, aminoácidos y grasa en el grano de variedades de soya (*Glycine max* (L.) Merry) cultivadas en el oriente de cuba. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 19(4).
- Soomro, R. N., Yao, J., El-Hack, A., Asif Arain, M., Abbasi, I. H. R., Saeed, M., & Tufarelli, V. (2018). Significance of endogenous amino acid losses in the nutrition of some poultry species: a review. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(6).
- Thakur, M., & Hurburgh, C.R. 2007. Quality of US Soybean Meal compared to the quality of Soybean Meal from other origins. *J. Am. Oil Chem. Soc.* (2007) 84: 835 – 843.
- Zaman, Q.U., Mushtaq, T., Nawaza H., Mirza, M.A., Mahmoodb, S., Ahmadc, T., Babar, M.E., & Mushtaq, M. (2008). Effect of varying dietary energy and protein on broiler performance in hot climate. *A F Sc and Tech* 146 (2008) 302–312.