

Determinación de la ganancia de peso, calidad proteica y digestibilidad de ocho dietas a base de dos leguminosas, maní (*Arachis hypogaea* L.) y ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en ratas Wistar

Determination of weight gain, protein quality and digestibility of eight diets based on two legumes, peanut (*Arachis hypogaea* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in Wistar rats

Miguel Cuj^{1,2}, Jessica Dardón de Richardson¹, Manolo Mazariegos^{1,2}, Wilton Pérez Corrales², Edward Fischer^{1,3}, Ana Victoria Román Trigo^{1,2}.

¹Proyecto Maní+ ²Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Guatemala.

³Vanderbilt University, EE.UU

miguel@maniplus.org

Recibido: 25 de mayo 2017 Aceptado: 29 de agosto 2017

Resumen

El maní y ajonjolí, son dos fuentes importantes de macronutrientes y micronutrientes. El objetivo del estudio fue evaluar la ganancia de peso, calidad proteica y digestibilidad en ocho dietas compuestas a base de dos leguminosas, en ratas Wistar durante cuatro semanas. Las dietas se clasificaron en dieta control; dieta A (leche descremada), dieta B (libre de nitrógeno), dietas C, D, E, F (conformadas por 100%, 75%, 50%, 25% de maní complementadas con leche descremada), y dietas G, H, I, J (conformadas por 100%, 75%, 50%, 25% de ajonjolí, complementadas con leche descremada). Se encontraron diferencias significativas en la ganancia de peso en relación a la dieta control, principalmente en los grupos de ratas que consumieron la dieta D, maní 75% con un valor medio después de las cuatro semanas de 226.00 g (SD=55.29)($p<.05$), dieta H, ajonjolí 75%, con un valor medio de 218.16 g (SD=56.28)($p<.05$), y dieta I, ajonjolí 50%, con un valor medio de 216.83 g (SD=45.86)($p<.05$). Las dietas formuladas con leche y leguminosas fueron de alta digestibilidad (96% - 100%), con un índice de eficiencia proteica de 2.73, muy similar al encontrado en la dieta control. Estas formulaciones basadas en leguminosas podrían tener potencial uso en la nutrición humana.

Palabras claves: semillas, proteína, nutrición, macronutrientes, micronutrientes

Abstract

Peanuts and sesame are two important sources of macronutrients and micronutrients. The objectives of this study were to evaluate the weight gain, protein quality and digestibility of eight legume-based diets in Wistar rats during a period of four weeks. The diets were classified as: control diet, diet A (skim milk), diet B (nitrogen free), diets C, D, E, F (with peanuts in a proportion that varied from 100%, 75%, 50% to 25%, mixed with skim milk), diets G, H, I, J (with sesame in a proportion that varied from 100%, 75, 50% to 25%, mixed with skim milk). The study showed significant differences in weight gain when comparing with the control diet, particularly with diet D (75% peanut) with 226 g (SD=55.29) ($p<0.05$), diet H (75% sesame) with 218.16 g (SD=56.28) ($p<0.05$), and diet I (50% sesame) with 216.83 g (SD=45.86) ($p<0.05$). The study showed that the diets with skim milk and legumes were highly digestible (96% - 100%), with protein efficiency ratio (PER) of 2.73, very similar to the control diet. These formulations are promising and have potential implications for human nutrition.

Keywords: seeds, protein, nutrition, macronutrients, micronutrients.

Introducción

En la formulación de alimentos complementarios, el maní y ajonjolí han recibido atención debido a su potencial como fuente de macronutrientes, especialmente como fuente proteica (Menchú & Méndez, 2007). El maní contiene 23.68% de proteína y 49.6% de grasa, mientras que el ajonjolí contiene 17% de proteína y 49.6% de grasa por cada 100 g (Menchú & Méndez, 2007; United States Department of Agriculture [USDA], 2016). La calidad de proteína en las leguminosas es óptima en relación a su composición de aminoácidos esenciales (análisis proximal y bromatológico) (Rodas & Bressani, 2009; World Health Organization [WHO], 2007; Snyderman, Holt, & Boyei, 1960). Sin embargo, se sabe poco sobre estudios que evalúen la calidad proteica y la digestibilidad de estas leguminosas complementadas con proteína de origen animal (leche) en diseños experimentales en bioterio. En Guatemala, la mayoría de referencias de estudios biológicos en cereales fueron desarrollados por el Dr. Ricardo Bressani,

principalmente para determinar la calidad proteica de combinaciones de maíz y plantas autóctonas (Rivas, 2014; Dardon & Bressani, 2012; Rodas & Bressani, 2009). Por otro lado, los estudios con leguminosas reportados en otras regiones se han enfocado en evaluar la calidad biológica de la semilla pura sin combinación con proteína de origen animal (Dreyer, 1968; Joseph et al, 1962; Singh, B., & Singh, U., 1991). Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo determinar el valor biológico de formulaciones con maní y ajonjolí en combinación con proteína de origen animal en ratas Wistar, y evaluar su uso potencial en la nutrición humana (McDonough et al., 1990).

Materiales y métodos

Generalidades. El estudio se realizó durante 28 días en el bioterio del INCAP. Un total de sesenta ratas Wistar de cepa homocigota fueron utilizadas para evaluar la efectividad en la ganancia de peso, calidad proteica, digestibilidad de las dietas formuladas a base de leguminosas y medición de heces fecal para la

determinación del índice de eficiencia proteica (PER), del consumo de alimento formulado.

Preparación y composición de las dietas

El estudio utilizó diez dietas diferentes, de las cuales una dieta fue el control a base de leche descremada (como dieta con adecuada calidad de proteína), una dieta libre de nitrógeno base de sémola de maíz (como patrón de dieta sin proteína) y ocho fueron mezclas de leguminosas (semillas oleaginosas, maní o ajonjolí) con leche descremada.

Con el fin de obtener el aislado de la proteína del maní y ajonjolí, se extrajo el aceite de las leguminosas aplicando el método mecánico a través de una prensa hidráulica, utilizando una presión de 10,000 lb por plg cuadrada (PSI por sus siglas en inglés) por un periodo de 30 min a lotes de 500 g de semilla. Seguidamente las semillas fueron molidas con un molino mecánico, con el fin de volverlo harina, la cual fue tamizada a través de una malla de 1mm para obtener la harina, materia prima utilizada en la formulación de las dieta del estudio (figura 1).

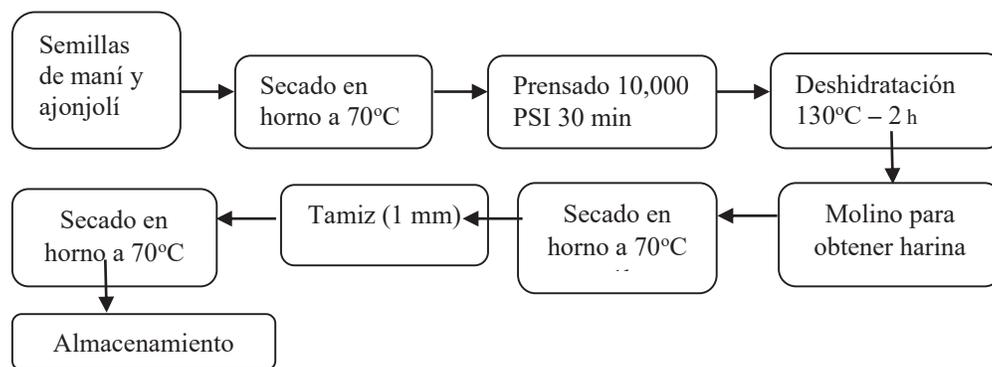


Figura 1. Diagrama de flujo aislamiento de proteína de las oleaginosas estudiadas

Formulación de la dietas del estudio.

En total se prepararon 10 dietas: dieta control A (leche descremada), dieta libre de nitrógeno dieta B (sémola de maíz) y ocho a base de leguminosas, las cuales se mezclaron en diferentes proporciones con leche descremada. Estas se distribuyeron en cuatro dietas a base de maní: dieta C (maní 100%), dieta D (maní 75% y leche 25%), dieta E (Maní 50% y leche 50%), dieta F (maní 25% y leche 75%); y cuatro dietas a base de ajonjolí: dieta G (ajonjolí 100%), dieta H (ajonjolí 75% y leche 25%), dieta I (ajonjolí 50% y leche 50%) y dieta J

(ajonjolí 25% y leche 75%). En la tabla 1 se detallan los tipos de dietas experimentales con el aporte proteico de cada una.

La proteína de la leche ha sido considerada como la mejor proteína, de modo que la calidad de otras proteínas puede compararse en su contenido de aminoácidos esenciales (Joseph et al., 1962; Sarwar, Peace, Botting, & Brul, 1989; World Health Organization [WHO], 2007). En este estudio, la leche descremada fue el componente principal de la dieta A, dieta control. Para poder medir la capacidad de la proteína para mantenimiento y crecimiento

Tabla 1. Tipos de dietas experimentales (%)

Tipo de dieta	* Proteína (%), en 100 g dieta
A Control (leche)	12.23
B Libre de nitrógeno (sémola de maíz)	0.00
C (maní 100%)	34.81
D (maní 75% / leche 25%)	34.31
E (maní 50% / leche 50%)	32.94
F (maní 25% / leche 75%)	31.25
G (ajonjolí 100%)	26.38
H (ajonjolí 75% / leche 25%)	27.38
I (ajonjolí 50% / leche 50%)	27.75
J (ajonjolí 25% / leche 75%)	29.44

Nota: Las dietas contenían minerales al 4% y un suplemento vitamínico completo Anti-stress®, para su balanceo al 1% en vitaminas y 4% en minerales por 100 g de dieta (tabla 2)

*The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence® (AOAC).

(NPR) y la digestibilidad de las dietas, fue necesario elaborar una dieta libre de nitrógeno (dieta B) como patrón de dieta sin adecuada calidad de proteína. Con esto se comparó tanto la dieta A y B con el resto de dietas de leguminosas.

Con el fin de homogenizar el contenido de vitaminas y minerales presente en las dietas, se agregó el equivalente al 1% de la dieta en vitaminas y 4% en minerales (Anti-estress®, tabla 2, composición nutricional).

Animales de experimentación

Se realizó el estudio con 60 ratas Wistar de 22 días de nacidas, cepa homocigota, con un peso medio inicial de 46.00 g, (SD ± 4.00 g), (machos y hembras). Las ratas se colocaron individualmente dentro de jaulas de acero inoxidable, cada uno con su comedero y un bebedero con capacidad de 100 ml de agua pura. La temperatura dentro del bioterio osciló entre 22°C y 25°C, con un ciclo de 10 h de luz solar (día) y 12 h de oscuridad (noche).

Tabla 2. Composición nutricional, fórmula Anti-stress*

Vitamina A	2880 UI
Colecalciferol	1152 UI
Alpha-Tocoferol	2 mg
Bisulfito Sódico	3 mg
Riboflavina (B2)	3 mg
Cianocobalamina (B12)	6 mg
Nicotinico Acido	12 mg
Fólico Acido	1 mg
Ascórbico Acido	6 mg
Calcio Pantotenato	9 mg
Lisina	1 mg
Metionina	1 mg
Ferroso Sulfato	0 mg
Manganeso Sulfato	0 mg
Zinc Sulfato	29 mg
Butilhidroxitolueno	1 mg
Oxitetraciclina clorhidrato	29 mg
Cobre Sulfato	14 mcg
Cobalto Sulfato	4 mcg
Sodio Cloruro	7 mcg
Potasio Lactato	58 mcg
Magnesio Sulfato	9 mcg
Calcio carbonato	13 mcg

Nota: *5% sobre el total de composición de dieta (en 100 g de dieta)

Se inició seleccionando el tipo de dieta que se administraría en cada una de las jaulas (dieta A, B, C, D, E, F, G, H, I, J), cada jaula contenía una rata en módulos de seis jaulas según el tipo de dieta.

Las ratas se distribuyeron dentro de las jaulas al azar para evitar sesgos de que una misma cepa de ratas quedara condicionada a una misma dieta, figura 2, el peso entre grupos fue similar (con una variación de 4.00 g). Cada uno de los diez grupos estuvo constituido por seis ratas, tres machos y tres hembras.

En todos los casos se administró el alimento y agua *ad libitum*, registrando el consumo del alimento y la ganancia de peso durante 28 días.

En el día 21 del estudio se inició con la recolección de heces de las ratas machos de cada grupo de dietas, con el fin de evaluar la calidad de la proteína de la dieta a través

de métodos biológicos. Este procedimiento se realizó durante siete días, colocando una bandeja de acero inoxidable debajo de las jaulas. Las muestras de heces recolectadas se pesaron y colocaron en bolsas de plástico con su respectiva identificación (tipo de dieta y número de rata). Estas muestras fueron secadas en horno a una temperatura de 60°C durante

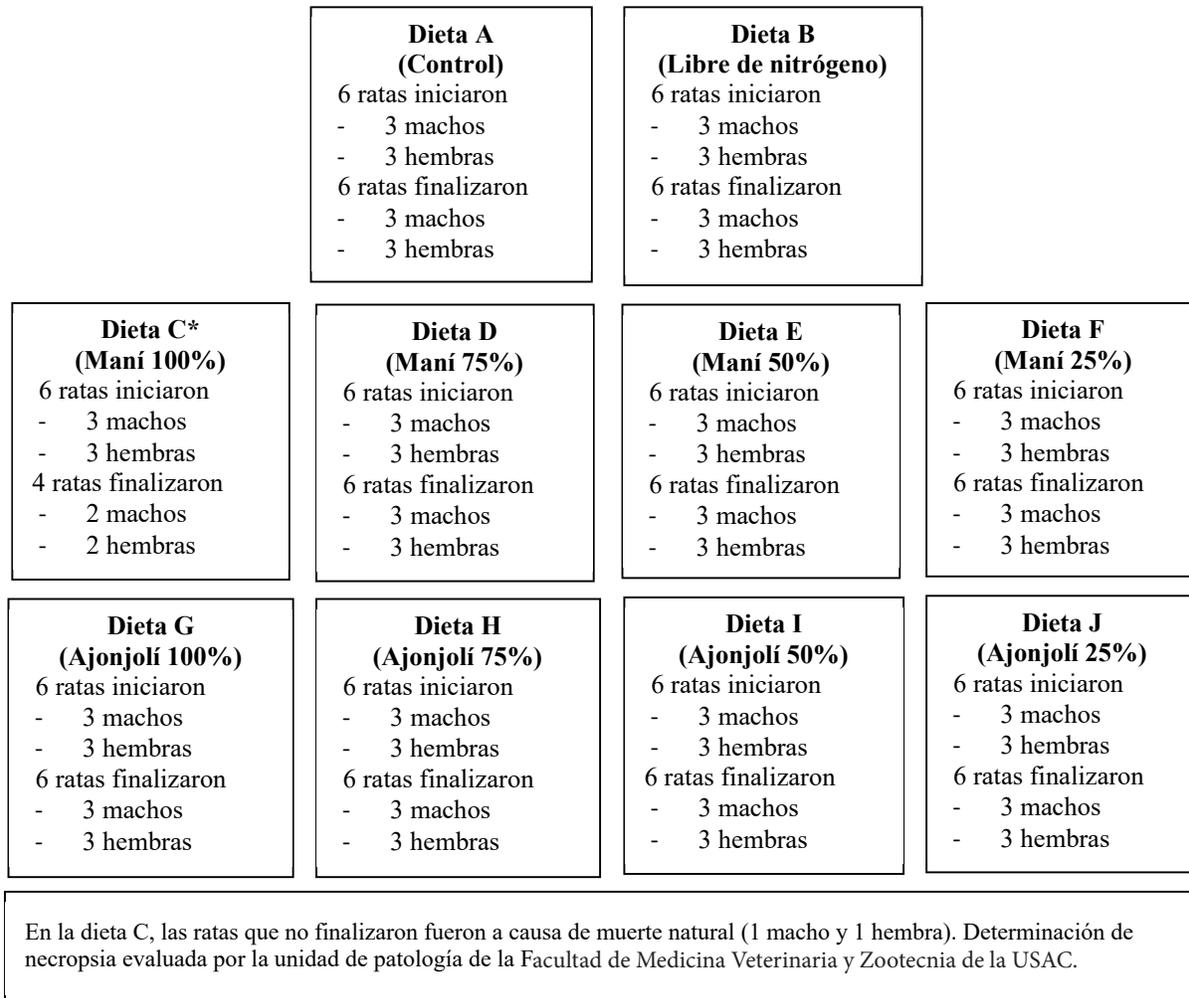


Figura 2. Distribución de grupos de ratas en función de dietas.

8 h; luego se procesaron, y se determinó por medio del método oficial de análisis de AOAC 950.62 18 Ed. la cantidad de nitrógeno contenido en heces, necesario para determinar la digestibilidad de la dieta, índice de eficiencia proteica (PER) y razón proteica neta (NPR).

Se calculó el índice de eficiencia proteica (PER), para evaluar la calidad de la proteína en alimentos. Se utilizó la siguiente fórmula: $PER = \text{ganancia peso grupo experimental} / \text{ingesta de proteína grupo experimental}$. Al ser una relación del peso ganado de un animal por cada unidad de

proteína dada en el alimento. Un alimento con mejor cantidad de proteína tendría mayor eficiencia que otro con proteína de menor calidad. Por lo que se puede comparar entre el grupo de dietas evaluadas en el presente estudio la dieta con mejor tasa de crecimiento será superior en comparación a las dietas de menor razón de crecimiento (Hackler, 1979).

Además, se evaluó el valor nutricional de la proteína basada en el cambio de peso corporal de los animales experimentales, es decir la capacidad de la proteína para mantenimiento y crecimiento por medio de la razón proteica neta (NPR), utilizando la siguiente fórmula:
$$\text{NPR} = (\text{ganancia de peso grupo experimental} - \text{pérdida de peso grupo dieta libre de nitrógeno}) / \text{Proteína consumida por grupo experimental}.$$
 Al ser una relación derivada del PER (peso ganado de un animal por cada unidad de proteína dada en el alimento). El NPR puede compararse entre el grupo de dietas evaluadas en el presente estudio, la dieta con mayor NPR será superior en comparación a las dietas de menor NPR (Hackler, 1979).

La digestibilidad de las diferentes dietas se determinó en función de cuánto de la dieta ingerida se queda en el organismo de la rata:
$$\text{Digestibilidad Verdadera (DV)\%} = \frac{\text{N ingerido} - \text{N fecal} - \text{N endógeno}}{\text{N ingerido}} \times 100$$
 En donde N endógeno está definido como el nitrógeno encontrado en las heces de animales alimentados con dietas libres de nitrógeno. La digestibilidad verdadera (DV%) tiene tres rangos: alto de 93 a 100%, intermedia con valores de 86–92% y valores bajos entre 70–85% (Singh, B., & Singh, U., 1991; Alid, Yanez, Aguilera, Monckeberg, & Chichester, 1981; Hackler, 1979).

La metodología utilizada fue válida para medir el PER, calidad proteica y digestibilidad, sin embargo también se puede utilizar el PDCAAS

(Protein digestibility-corrected amino acid score) que es un método más agudo de análisis de calidad proteica en función de medición de los requerimientos de aminoácidos (WHO, 2007).

El protocolo de investigación fue registrado por el Comité de Ética del INCAP. Ref. IN-CIE-REV-14-00.

Análisis estadístico

Se determinó el promedio y Desviación estándar de los pesos de las ratas (g) y del alimento consumido (g) por cada grupo de dietas por semana. Se utilizaron cuatro modelos de regresión múltiple con ecuaciones de estimación generalizada para determinar las diferencias de ganancia de peso entre cada tipo de dieta (ajonjolí y maní) con la dieta control, así como, con la dieta libre de nitrógeno. En el modelo se incluyó el sexo de la rata y el consumo de la dieta como cofactores para obtener estimaciones ajustadas. Un valor de $p < .05$ fue considerado como significativo en el estudio. Durante el seguimiento del estudio dos ratas fallecieron, por lo que el valor del peso y del consumo faltante fue imputado utilizando una regresión lineal simple, a través de la información del sexo, peso de las ratas en las mediciones anteriores y el consumo. Los análisis estadísticos fueron elaborados usando STATA 12.0 (Stata Corporation College Station, TEXAS).

Resultados

Número total de ratas que finalizaron el estudio: el estudio inició con un total de 60 ratas Wistar (30 machos y 30 hembras) y finalizó con 58 ratas (29 machos y 29 hembras; 96%), con dos muertes a causas no atribuibles al estudio ($N = 2$).

En la tabla 3, se muestra el peso promedio de la ganancia de peso semanal de las ratas a lo

largo del estudio, en cada una de la dietas. Este cuadro muestra mayor ganancia de peso en las dieta D (maní 75%, 226.00 g), dieta H (ajonjolí 75%, 218.16 g) y dieta I (ajonjolí 50%, 216.83 g).

Al comparar la ganancia de peso de las dietas a base de ajonjolí o maní con la dieta control y libre de nitrógeno, utilizando un intervalo de confianza del 95%, se determinó que la dieta D (maní 75%), dieta H (ajonjolí 75%) y dieta I (ajonjolí 50%) son las que presentan mayor ganancia de peso con respecto a la dieta A (control) y dieta B (libre de nitrógeno) (tabla 4).

En la tabla 5, se muestra los valores de PER, NPR y digestibilidad (D) de las dietas. Los valores de digestibilidad de los diferentes grupos se encuentran entre 83% para la dieta A (control) y 100% dieta G (ajonjolí al 100%), indicando que todas las dietas son de alta digestibilidad. El valor PER más bajo correspondió a la dieta F (maní 25%, PER = 1.33), mientras que el mayor valor correspondió a la dieta A (control, PER = 2.73), seguido de la dieta H (ajonjolí al 75%, PER = 2.18), dieta D (maní 75%, PER = 1.67).

Tabla 3. Peso promedio g desviación estándar semanal en los grupos de ratas asignados a cada una de las dietas (N = 6 ratas por grupo).

Días	Dieta A Control	Dieta B Libre Nitrógeno	Dieta C Maní 100 %	Dieta D Maní 75 %	Dieta E Maní 50 %	Dieta F Maní 25 %	Dieta G Ajonjolí 100 %	Dieta H Ajonjolí 75 %	Dieta I Ajonjolí 50 %	Dieta J Ajonjolí 25 %
0	47.00 (2.09)	45.33 (1.03)	46.33 (2.33)	46.33 (2.38)	46.33 (2.33)	46.00 (1.26)	45.66 (0.81)	45.33 (1.03)	45.33 (1.03)	45.33 (1.03)
7	86.66 (5.50)	37.66 (1.86)	85.66 (5.42)	89.83 (7.19)	85.00 (7.07)	83.33 (5.68)	82.16 (6.08)	83.83 (5.77)	86.33 (5.68)	73.66 (12.37)
14	128.16 (11.87)	37.00 (11.89)	119.83 (24.70)	140.33 (19.35)	131.66 (15.14)	117.66 (10.93)	81.33 (8.82)	131.33 (16.76)	134.33 (17.69)	119.16 (15.87)
21	159.00 (18.14)	33.00 (1.78)	160.00 (35.97)	185.50 (33.12)	174.66 (23.91)	155.83 (22.64)	98.83 (9.53)	178.83 (38.04)	181.16 (29.29)	159.00 (18.11)
28	184.00 (29.71)	29.16 (0.98)	175.00 (65.12)	226.00 (55.29)	199.83 (33.91)	188.16 (34.05)	126.50 (15.74)	218.16 (56.28)	216.83 (45.86)	194.66 (37.95)

Discusión

En el presente estudio, las mediciones de peso entre los grupos de ratas fueron comparables estadísticamente entre sí al momento de la primera medición. Al momento de la última medición el grupo de ratas que consumieron las dietas D (maní 75%), dieta H (ajonjolí

75%), dieta I (ajonjolí 50%) combinadas con leche, mostraron el promedio más alto de ganancia de peso al final de cuatro semanas de estudio, respecto a las dietas control. Sin embargo, de las tres dietas mencionadas, la dieta D (maní 75%) fue la que mostró la mayor ganancia de peso ($p < .05$) sobre la dieta A (control). Estudios previos describen que la

Tabla 4. Ganancia de peso de las ratas, según grupo de dietas a base de maní o ajonjolí en comparación con la dieta control y la libre de nitrógeno durante un período de semanas usando modelos de estimación generalizada.

Dieta	Control	Libre de Nitrógeno
	Coefficiente A¹ Diferencia entre promedios de ganancia de peso, respecto a dieta A (dieta control) Promedio g [IC 95%]	Coefficiente B¹ Diferencia entre promedios de ganancia de peso, respecto a dieta B (libre de nitrógeno) Promedio g [IC 95%]
	Modelo 1	Modelo 3
Dieta C, maní 100%	7.47[-4.70, 19.64]	60.86[47.99, 73.72]
Dieta D, maní 75%	26.07[17.85, 34.29]*	72.96[65.30, 80.50]*
Dieta E, maní 50%	14.97[9.54, 20.41]*	61.04[53.10, 68.90]*
Dieta F, maní 25%	3.81[-0.48, 8.10]	48.34[40.42, 56.26]*
	Modelo 2	Modelo 4
Dieta G, ajonjolí 100%	-11.30 [-22.25, -0.35]	39.41[32.90, 45.80]
Dieta H, ajonjolí 75%	24.90 [16.57, 33.23]*	65.12[57.80, 72.43]*
Dieta I, ajonjolí 50%	23.05[15.93, 30.18]*	60.60 [53.98, 67.21] *
Dieta J, ajonjolí 25%	7.17 [1.98, 12.30]	43.48[35.89, 51.08]

Nota: Modelo ajustado por sexo y consumo individual

1 IC 95%: Intervalo de confianza al 95%

* Valores estadísticamente significativos $p < .05$

ganancia de peso (g) obtenida con una dieta con adecuada proporción de proteína animal (leche) compensando con fuente proteica de cereales y leguminosas muestra resultados positivos de crecimiento en relación a dietas monótonas a base de cereales (Bressani, 2010; De Souza, Elias, & Bressani, 1970; Singh, B., & Singh, U., 1991; Arimond et al, 2015; Sen & Bhattacharyya, 2001). Es importante recalcar que la dieta G (ajonjolí 100%) tuvo un desempeño negativo en relación a la dieta control mas no estadísticamente significativo, esto podría especular que las diferencias de

las semillas en la composición de nutrientes es un factor a considerar dentro de los ensayos experimentales para estimar el desempeño en la ganancia de peso (Dreyer, 1968; Singh, B., & Singh, U., 1991).

Los hallazgos con formulaciones de maní y ajonjolí del presente estudio son consistentes con los reportes de la literatura sobre calidad proteica de combinaciones de semillas leguminosas, las cuales muestran que estas formulaciones son equiparables a la calidad proteica de origen animal (Singh, B., & Singh, U., 1991; Arimond et al, 2015).

Tabla 5. Valores promedio para índice de eficiencia proteica, razón proteica neta y digestibilidad según grupos de dieta¹

Grupo según tipo de dieta	PER ^{2*}	NPR ^{3*}	D ⁴ (%)
Dieta A, control	2.73	4.66	83
Dieta C, maní 100%	1.55	4.54	96
Dieta D, maní 75% leche 25%	1.67	5.63	98
Dieta E, maní 50% leche 50%	1.45	5.08	96
Dieta F, maní 25% leche 75%	1.33	4.98	98
Dieta G, ajonjolí 100%	1.74	3.58	100
Dieta H, ajonjolí 75% leche 25%	2.18	6.81	96
Dieta I, ajonjolí 50% leche 50%	1.96	6.67	98
Dieta J, ajonjolí 25% leche 75%	1.55	5.54	99

Nota: ¹Dieta B, no reportada (libre de nitrógeno), valores de PER y NPR no equiparable, ²PER: índice de eficiencia proteica, ³NPR: razón proteica neta, ⁴D: digestibilidad.

*Los valores corresponde a un valor promedio de grupo de dieta, por lo que los valores PER, NPR son el resultado del cálculo de un valor promedio de las muestras de laboratorio, dado el costo de cada análisis (Costo de análisis de nitrógeno en heces por grupo de dieta, no fue individual por rata de laboratorio).

Estas mismas dietas (D, H, I) mostraron valores óptimos en términos de los indicadores biológicos de PER y NPR. En las condiciones de este experimento, la alta calidad biológica de las leguminas en su variedad de semillas oleaginosas, maní y ajonjolí, desarrollaron un rendimiento positivo cuando se combinan con leche (proteína animal) en proporciones adecuadas, como las del presente estudio. Con respecto al valor de PER de la dieta C (maní 100%) de 1.55, la literatura reporta un PER para harina de maní al 100% de 1.59, el cual es comparable al valor reportado en literatura (Dreyer, 1968; Joseph et al, 1962).

La digestibilidad de todas las dietas del estudio a base de leguminas (96 al 100%) demostró ser mayor que la reportada en la dieta control (83%), lo cual permite clasificar a las dietas evaluadas como de alta digestibilidad dentro del grupo de dietas estudiadas (Hackler, 1979).

Esto podría sugerir que la combinación o presencia de semillas de leguminas en la composición de dietas mejora el rendimiento de digestibilidad al combinarse con proteína animal. Esta clasificación se determinó con base a estudios en animales en donde clasifican los valores de digestibilidad verdadera (DV%) en tres rangos: alto de 93 a 100%, intermedia con valores de 86–92% y valores bajos entre 70–85% (Singh, B., & Singh, U., 1991; Alid, et al., 1981; Hackler, 1979).

Los resultados tienen implicaciones importantes en cuanto a su potencial utilidad en el desarrollo de formulaciones basadas en oleaginosas para aplicación en nutrición humana.

Limitaciones del estudio

Los resultados analizados se obtuvieron de un 96% de ratas que finalizaron el estudio. Una rata hembra y una rata macho tuvieron

que ser descartados del estudio durante la segunda semana por causas de muerte natural. Como se ha reportado en otros estudios, los animales de laboratorio son susceptibles a más de 50 virus, bacterias y parásitos, y en muchos casos no aparecen señales clínicas si algún animal experimental se infecta, alterando los resultados en la investigación (Jacoby & Lindsey, 1998; Suckow, Weisbroth, & Craig, 2006). Otros datos también reportan que la incidencia de enfermedades infecciosas y neoplásicas en ratas machos en laboratorios es de 29% mientras que en ratas hembras es de 15% (Suckow, et al., 2006; Jacoby & Lindsey, 1998), por ende se consideró que podría haber una tasa de mortalidad dentro del estudio (descartándose dos ratas).

La metodología utilizada fue válida para medir el PER, calidad proteica y digestibilidad, sin embargo también se puede utilizar el PDCAAS (Protein digestibility-corrected amino acid score) que es un método más agudo de análisis de calidad proteica en función de medición de los requerimientos de aminoácidos (WHO, 2007).

Agradecimientos

Esta investigación es parte de la alianza entre el INCAP y Fundación Cristiana Shalom para la niñez de Guatemala. Se obtuvo asesoría técnica del Center for Latin American Studies, Vanderbilt University.

† Eterno agradecimiento al Dr. Ricardo Bressani (QEPD), quien contribuyó al diseño de la metodología del presente estudio y sirvió de inspiración para su culminación.

También se obtuvo apoyo institucional por parte de Licda. Pilar López, Licda. Sofía Mazariegos, Inga. Gabriela Araujo, Sr. Víctor Chacón (Técnico de bioterio) para la recolección y monitoreo de muestras biológicas durante la fase de implementación.

Declaración de conflicto de interés

Todos los autores de esta investigación participaron en la escritura y revisión del manuscrito. Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses en el desarrollo de este estudio. El estudio fue financiado en parte por el Proyecto Mani+, la Fundación Shalom y Vanderbilt University US, Center for Latin American Studies.

Referencias

- Alid G., Yanez E., Aguilera J., Monckeberg F., & Chichester C. (1981). Nutritive value of an extrusion texturized peanut protein. *Journal of food Science*, 46(3), 948-949.
- Arimond, M., Zeilani, M., Jungjohann, S., Brown, K. H., Ashorn, P., Allen, L. H., ... Dewey, K. G. (2015). Considerations in developing lipid-based nutrient supplements for prevention of undernutrition: experience from the International Lipid-Based Nutrient Supplements (iLiNS) Project. *Maternal & Child Nutrition*, 11(4), 31-61.
- Bressani, R. (2010). Studies of vegetable proteins for human consumption. *Food and Nutrition Bulletin*, 31(1), 95-110.
- Dardon J. & Bressani, R. (2012). *Evaluación de la calidad nutritiva del maíz QPM en la ganancia de peso de ratas Wistar* (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- DeSouza, N., Elias, L. G., & Bressani, R. (1970). Studies in rats of the effect of a basic rural Guatemalan diet supplemented with cow's milk and a protein mixture. *Archivos. Latinoamericanos de Nutricion*, 20(3) 293-307.

- Dreyer, J. J. (1968). Biological assessment of protein quality: digestibility of the proteins in certain foodstuffs. *South African medical journal*, 42(48), 1304-13.
- Hackler, L. R., (1979). Methods of measuring protein quality: a review of bioassay procedure. *Journal Cereal Chemist*, 54(5), 984-995.
- Jacoby, R. O., & Lindsey, J. R. (1998). Risks of infection among laboratory rats and mice at major biomedical research institutions. *Journal National Research Council, Institute of Laboratory Animal Resources*, 39(4), 266-271.
- Joseph, A. A., Tasker, P. K., Kantha, J., Narayana Rao, M., Swaminathan, M., Sankaran, A. N., ... Subrahmanyam, V. (1962). La utilización neta de proteínas y la relación de eficiencia proteica de sseame proteínas suplementadas con lisina a los niveles presentes en el patrón de proteína de referencia de la FAO y la leche. *Anales de Bioquímica y Medicina Experimental*, 22(5), 113-116.
- McDonough, F. E., Steinke, F. H., Sarwar, G., Eggum, B. O., Bressani, R., Huth, P. J., ... Phillips, J. G. (1990). In vivo rat assay for true protein digestibility: collaborative study. *Journal Association of Official Analytical Chemists*, 73(5), 801-805.
- Rivas, J. (2014). *Determinación nutricional y calidad proteica de dietas a base de maíz y frijol complementadas con tres plantas autóctonas de Guatemala (chipilín, hierbamora y bleado)*. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landivar, Guatemala.
- Rodas, B. & Bressani, R. (2009). The oil, fatty acid and squalene content of varieties of raw and processed amaranth grain. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 82-7.
- Sarwar, G., Peace, R. W., Botting, H. G., & Brul, D. (1989). Relationship between amino acid scores and protein quality indices based on rat growth. *Plant Foods for Human nutrition*. 39(1), 23-32.
- Sen M. & Bhattacharyya DK. (2001). Nutritional quality of sesame seed protein fraction extracted with isopropanol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2641-2446.
- Singh, B. & Singh , U. (1991.). Peanut as a source of protein for human foods. *Plant Foods for Human nutrition*. 41 (2), 165-177.
- Snyderman, S. E., Holt, L. E., & Boyei, A. (1960). Amino acid reference patterns: a comparison of the pattern of human milk with the fao pattern in human nutrition. *The Journal of Nutrition*. 72(4), 404-408.
- Suckow M, Weisbroth S., & Craig L. (2006). *The Laboratory Rat*. Burlington: Elsevier.
- World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University. (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition* (Technical Report Series 935). Geneva: Autor.
- United States Department of Agriculture. (2016). Food Composition [versión virtual]. Recuperado de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>