

EFFECTO DE LA HUMEDAD DE ALIMENTACIÓN Y TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN SOBRE EL CONTENIDO NUTRICIONAL DE UN SNACK A BASE DE MAÍZ, CHOCHO Y PAPA

MSc. Armando Manosalvas¹, Ing. Richard Taimal¹, MSc. Elena Villacrés²

¹Ingeniería Agroindustrial/Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales/Universidad Técnica del Norte

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP- Ecuador.

*Autor para correspondencia: lamanosalvas@utn.edu.ec; rmtaimal@utn.edu.ec; elena.villacres@iniap.gob.ec

Recibido: 22-7-2019 / Aceptado: 9-9-2019 / Publicación: 31-12-2019

Editor Académico: Dr. Stalin Santacruz

RESUMEN

Los efectos de diferentes parámetros operativos de extrusión en equipos de un solo tornillo sobre los cambios nutricionales del snack fueron estudiados. Los parámetros de extrusión investigados fueron: temperatura del barril (110 – 140°C), contenido de humedad (15% - 20%) y matriz alimentaria: maíz (*Zea mays*), chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) y papa (*Solanum tuberosum*) en proporción 80/10/10 y 70/15/15 (p/p). Los snacks que registraron mayor contenido nutricional fueron con la matriz en proporción 70/15/15 a 15% de humedad y extruida a 110°C, con valores de humedad 6.06%, proteína 18.69%, grasa 2.01%, fibra 2.28%, cenizas 1.00% y carbohidratos 72.24%, con relación al tratamiento control, (100% maíz) que registró contenidos de humedad de 5.13%, proteína 8.32%, grasa 0.54%, fibra 0.55%, cenizas 0.57% y carbohidratos 85.44%. Las condiciones de extrusión aplicadas en este estudio mostraron efectos significativos sobre el contenido nutricional del snack extruido obtenido. El incremento del nivel de adición/sustitución de leguminosas y tubérculos a la matriz con maíz, mejora significativamente el contenido nutricional del producto extruido.

Palabras clave: extrusión, matriz alimentaria, humedad, temperatura, snack.

EFFECT OF FEEDING MOISTURE AND EXTRUSION TEMPERATURE ON THE NUTRITIONAL CONTENT OF A SNACK BASED ON CORN, LUPINE AND POTATO

ABSTRACT

The effects of different extrusion operational parameters in one screw equipments on the nutritional changes of the snack were studied. The studied extrusion parameters were: barrel temperature (110 - 140°C), moisture content (15% - 20%) and food matrix: corn (*Zea mays*), lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet) and potato (*Solanum tuberosum*) in proportions 80/10/10 and 70/15/15 (w/w). The highest nutritional content reported was for the 70/15/15 w/w food matrix snacks at 15% of humidity and extruded at 110°C, which resulted with 18.69% of protein, 2.01% of fat, 72.24% of carbohydrates, 2.28% of fiber, 1.00% of ashes and 6.06% of moisture with respect to control snacks (100% corn) which reported a nutritional analysis of 8.32% of protein, 0.54% of fat, 85.44% of carbohydrates, 0.55% of fiber, 0.57% of ashes and 5.13% of moisture. The extrusion conditions applied in this study showed significant effects on the extruded snack obtained. The increase of the addition/substitution level of legumes and tubers in the corn matrix, significantly improves the extruded product nutritional content.

Keywords: extrusion, moisture, temperature, snack, food matrix.

EFEITO DA UMIDADE DE TEMPERATURA DE ALIMENTOS E EXTRUSÕES NO CONTEÚDO NUTRICIONAL DE MILHO, SNACK E SNACK POPULAR

RESUMO

No processo de análise, foram estudados os efeitos de diferentes parâmetros operacionais de extrusão em equipamentos de parafuso único sobre as alterações nutricionais do lanche. Os parâmetros de extrusão investigados foram: temperatura do barril (110 - 140°C), teor de umidade (15% - 20%) e matriz alimentar: milho (*Zea mays*), chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) e batata (*Solanum tuberosum*) na proporção 10/10/10 e 70/15/15 (p / p). Os lanches que registraram o maior conteúdo nutricional foram com a matriz na proporção 70/15/15 a 15% de umidade e extrudados a 110 ° C, com valores de umidade 6,06%, proteína 18,69%, gordura 2,01%, fibra 2,28%, cinzas 1,00% e carboidratos 72,24%, em relação ao tratamento controle (100% milho) que registrou teores de umidade de 5,13%, proteína 8,32%, gordura 0,54%, fibra 0,55%, cinzas 0,57% e carboidratos 85,44%. As condições de extrusão aplicadas neste estudo mostraram efeitos significativos no conteúdo nutricional do lanche extrusado. Aumentar o nível de adição / substituição de leguminosas e tubérculos à matriz com milho melhora significativamente o conteúdo nutricional do extrudado.

Palavras-chave: extrusão, matriz alimentar, umidade, temperatura, lanche.

Citación sugerida: Manosalvas, A., Taimal, R., Villacrés, E. (2019). Efecto de la humedad de alimentación y temperatura de extrusión sobre el contenido nutricional de un snack a base de maíz, chocho y papa. Revista Bases de la Ciencia, 4(3), 67-80. DOI:https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.2138

Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2138>

Orcid IDs:

Armando Manosalvas: <https://orcid.org/0000-0002-4263-2853>

Stalin Santacruz: <https://orcid.org/0000-0003-0801-9876>

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, gracias a su versatilidad y bajo costo de producción, la extrusión en caliente se ha convertido en la tecnología de procesamiento más importante de la industria alimentaria. Esta tecnología ha permitido desarrollar snacks extruidos de mayor aceptabilidad para la población infantil. El bajo valor nutricional que presentan los productos a base de maíz, ha provocado un incremento en la malnutrición de los consumidores (Freire, 2014).

El interés en desarrollar snacks con mayor valor nutricional ha hecho que se inicie una intensa actividad científica en sustituir el maíz con leguminosas y tubérculos ricos en proteína y almidón. Es así, que en el presente estudio se consideró utilizar chocho (leguminosa), debido a que su contenido en proteína (51.00% en base seca) y grasa (20.40% en base seca), es superior al de la soya y otras leguminosas (Villacrés, Peralta, y Álvarez, 2003). Además, Güenes-Vera et al., (2004) indican que el chocho posee un notable contenido de lisina (7.30 %) pero carece de aminoácidos sulfurados como metionina y cisteína (Chirinos-Arias, M.C., 2015); en contraste con la proteína del maíz que es rica en metionina (Villacrés et al., 2003). Por tanto, su combinación permite obtener una proteína más completa. Asimismo, adicionar papa (tubérculo) a la fórmula proporciona mejores características físicas (densidad aparente e índice de expansión) y texturales en el snack extruido, ya que posee gránulos de almidón grandes (60-100 μm), un contenido de amilosa de 20-25% y contenido de lípidos bajo (0.10-0.20%) (Guy, 2001).

Por otra parte, la extrusión en caliente minimiza las pérdidas de los nutrientes de las materias primas utilizadas, y extiende la vida de anaquel de los productos extruidos, ya que es un proceso que involucra temperaturas altas en tiempos relativamente cortos (HTST). Por lo tanto, permite desarrollar nuevos productos alimenticios con mayor calidad nutricional (Obradovi, Babi, y Jozinovi, 2014).

La demanda actual por alimentos nuevos y saludables junto con el incremento de las enfermedades causadas por el estilo de vida, ha impulsado una intensa investigación en extrusión de grits de pseudocereales, leguminosas y de raíces – tubérculos, debido a sus altos contenidos de proteína y fibra bruta, enfocados al desarrollo de snacks expandidos con bajo índice glucémico (Patil & Kaur, 2018). Numerosos estudios se han llevado a cabo con la sustitución de los grits de maíz con harinas de leguminosas y raíces, tales como arveja, lenteja, habas, fréjol, soya, papa, yuca, camote y otros, con el fin de mejorar el valor nutricional de los snacks expandidos (Valenzuela, 2017; Adamidou, I. Nengas, K. Grigorakis, et al. 2011; Ghumman, A. Kaur, A. Singh, N., et al. 2016). Por lo tanto, el presente estudio fue diseñado para evaluar los efectos de la temperatura de extrusión, humedad y formulación de la matriz (maíz, chocho y papa) sobre los cambios del contenido nutricional del snack.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materias Primas

Se utilizaron grits de maíz amarillo duro, chocho variedad INIAP 450 y papa variedad súper chola, todos con un tamaño de partícula de 2.80 mm de diámetro, previamente obtenidos por procesos de deshidratación, molienda y tamizado, requeridos para el funcionamiento del extrusor de un tornillo.

Las mezclas del material a extruir se acondicionaron de acuerdo al contenido de humedad establecido en los tratamientos (**Tabla 1**). El acondicionamiento se realizó en un tambor giratorio (Mavi, China) y se dejó reposar durante 6 horas a temperatura ambiente para asegurar la difusión homogénea del agua en los grits.

Tabla 1. Modelo del Experimento Factorial

Tratamientos	Composición de la matriz (%)			Parámetros de Proceso	
	Factor A			Factor B	Factor C
	Maíz	Choco	Papa	Humedad (%)	Temperatura (°C)
T1	70	15	15	15	110
T2	70	15	15	15	140
T3	70	15	15	20	110
T4	70	15	15	20	140
T5	80	10	10	15	110
T6	80	10	10	15	140
T7	80	10	10	20	110
T8	80	10	10	20	140
Testigo	100	0	0	15	140

Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión se llevó a cabo utilizando un extrusor de un solo tornillo (marca Sermaconi, Ecuador) con un diámetro del dado de 2.50 mm. La velocidad del tornillo se mantuvo constante a 300 rpm. La humedad de las mezclas y el perfil de temperatura del barril se adaptaron de acuerdo con la **Tabla 1**. Luego, los extruidos se enfriaron a temperatura ambiente y se sellaron en bolsas de polietileno para posteriores análisis.

Análisis Químico Proximal

Los análisis de composición proximal como humedad, proteína ($N \times 6.25$), extracto etéreo, cenizas, fibra bruta y carbohidratos, tanto en materias primas como en producto extruido, se determinaron según la metodología AOAC 1999.

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental factorial, según la **Tabla 1**, donde **A**: Formulación de mezcla de maíz/chocho/papa en proporción (p/p): 80/10/10 y 70/15/15), **B**: Humedad de la matriz (15 - 20%) y **C**: Temperatura de Extrusión (110 - 140°C), totalmente al azar, con un total de 8 tratamientos y tres replicas más el control. El efecto de los factores en estudio se determinó mediante las variables de respuesta descritas en la **Tabla 3**. El análisis de varianza determina diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las medias de las muestras, la prueba Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para tratamientos y la prueba DMS ($\alpha \leq 0.05$) para factores.

Además, en los resultados obtenidos, se calculó la desviación estándar y el coeficiente de variación. Asimismo, para visualizar la magnitud de los efectos de los factores en estudio, se utilizó el diagrama de Pareto estandarizado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materias primas

Previo al proceso de extrusión se realizó la caracterización físico-química a las materias primas, con el fin de conocer los nutrientes que aportan cada uno de los materiales a la formulación, donde el chocho es fuente de proteína, lípidos y fibra, que aportará con el 41.20%, 16.34% y 10.46%, respectivamente. Mientras, los grits de papa aportaran con carbohidratos y cenizas (**Tabla 2**), dependiendo de la proporción en la mezcla.

La incorporación de chocho y papa a las formulaciones a extruir compuestas principalmente de maíz, generó productos extruidos con más del 12% de contenido de proteína (**Tabla 4**). Así mismo, debido a la naturaleza nutricional de las materias primas, se originaron valores superiores de fibra bruta, carbohidratos y minerales, con relación al snack testigo (maíz 100%). La modificación de los componentes proximales observados en las formulaciones en estudio, son adecuadas con niveles superiores del 60% de almidón y este con 70% de amilopectina, por lo que permite generar la interacción entre las macromoléculas y obtener extrudidos expandidos con un excelente perfil de textura, según Moscicki (2011); Bordoloi & Ganguly (2014).

Tabla 2. Composición nutricional de las materias primas (grits).

Parámetros	Unidad	Maíz	Chocho	Papa
Humedad	%	12,42	9,16	7,79
Proteína	%	9,42	41,20	5,31
Extracto etéreo	%	2,09	16,34	0,59
Cenizas	%	0,63	1,73	3,06
Carbohidratos	%	75,44	31,57	83,25
Fibra	%	0,89	10,46	1,56
Almidón	%	72,68	13,30	74,26
Amilosa	%	21,04	27,77	18,40
Amilopectina	%	78,96	72,23	81,60

Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad (INIAP) (2018)

Análisis Variables de Respuesta Cuantitativas

Análisis Proximal

El análisis de varianza realizado a los resultados, determinó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) para tratamientos, factor **A** y la comparación con el testigo, en todas las propiedades fisicoquímicas (**Tabla 3**).

Tabla 3. Análisis de Varianza de las propiedades físico-químicas del Snack

		Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Carbohidratos
F.V	GL	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Total	26						
Tratamientos	8	1598,86**	1392,35**	533,59**	1271,64**	85,70**	2164,05**
A (Tipo de mezcla)	1	85,25**	2325,08**	2433,32**	2474,85**	105,95**	2982,08**
B (Humedad en la mezcla)	1	9552,01**	187,30**	718,44**	36,71**	1,07 ^{ns}	539,46**
C (Temperatura de extrusión)	1	442,95**	0,52 ^{ns}	24,24**	21,38**	12,70**	62,71**
AxB	1	80,96**	93,99**	54,04**	1,63 ^{ns}	22,60**	57,50**
AxC	1	6,17*	152,61**	34,75**	3,08 ^{ns}	0,83 ^{ns}	108,48**
BxC	1	85,14**	1636,57**	182,04**	0,03 ^{ns}	37,90**	2036,95**
AxBxC	1	4,62*	121,24**	22,24**	0,64 ^{ns}	8,46**	159,15**
Testigo vs Resto	1	2533,75**	6621,48**	799,64**	87,10**	496,11**	11366,11**
E. exp.	18						
CV (%)		0,94	0,94	3,51	1,38	2,79	0,19

FV: Fuentes de Variación; F-valor: valor de prueba estadística F calculada; GL: Grados de libertad **: Altamente significativo; *: Significativo; ns: no significativo; CV (%): Coeficiente de Variación

Los factores **B** y **C** presentaron efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en los contenidos de cenizas y proteína, que no presentaron efectos significativos ($P > 0.05$).

Asimismo, el análisis estadístico mostró que las interacciones **AB** y **BC** presentaron efectos altamente significativos ($P \leq 0.01$) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en el contenido de fibra. Mientras, la interacción **AC**, generó un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) en los contenidos de proteína, lípidos y carbohidratos, además de un efecto significativo ($P \leq 0.05$) para el contenido de humedad. Sin embargo, para los contenidos de fibra y cenizas, no presentaron ningún efecto significativo ($P > 0.05$).

Tabla 4. Contenido nutricional de los extruidos correspondientes a los tratamientos

Tratamientos	Variables					
	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Carbohidratos
T1**	6.06±0.00 ^c	18.69±0.10 ^a	2.01±0.07 ^f	2.28±0.03 ^a	1.00±0.01 ^a	72.24±0.01 ^a
T2	5.13±0.08 ^a	15.17±0.01 ^c	1.89±0.02 ^f	2.20±0.03 ^b	0.95±0.01 ^{ab}	76.86±0.08 ^d
T3	8.59±0.04 ^f	14.61±0.27 ^{de}	1.13±0.05 ^d	2.32±0.04 ^a	0.87±0.03 ^{cd}	74.79±0.23 ^b
T4	8.27±0.00 ^e	16.70±0.01 ^b	1.62±0.02 ^e	2.26±0.03 ^{ab}	1.00±0.02 ^a	72.40±0.01 ^a
T5	6.42±0.05 ^d	14.26±0.12 ^e	1.08±0.02 ^d	1.72±0.04 ^d	0.83±0.04 ^d	77.41±0.11 ^e
T6	5.74±0.06 ^b	13.29±0.11 ^f	0.92±0.02 ^c	1.70±0.02 ^d	0.82±0.02 ^d	79.23±0.10 ^f
T7	8.59±0.03 ^f	12.43±0.05 ^g	0.61±0.07 ^a	1.80±0.02 ^c	0.85±0.04 ^{cd}	77.51±0.16 ^e
T8	8.29±0.14 ^e	14.68±0.03 ^d	0.74±0.03 ^b	1.77±0.02 ^{cd}	0.91±0.01 ^{bc}	75.39±0.03 ^c
Testigo	5.13±0.05 ^a	8.32±0.21 ^h	0.54±0.02 ^a	0.55±0.01 ^e	0.57±0.01 ^e	85.44±0.27 ^f
CV	0.94	0.94	3.51	1.38	2.79	0.19

Xm/DS; Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); **: Mejor Tratamiento; valores promedio ± S.D. (n=3)

Humedad

La humedad del producto extruido es considerada como el factor más importante con relación al almacenamiento y tiempo de vida útil, donde valores inferiores al 10% reduce el riesgo de crecimiento microbiano (Rehal, Kaur, Kaur y Singh, 2017).

Los valores de humedad obtenidos en los snacks extruidos oscilan de 5.13% a 8.59 % (**Tabla 4**), donde los valores más bajos se registraron en muestras extruidas con una humedad en la matriz del 15% y 140°C de temperatura de extrusión. En efecto, el contenido de humedad de la formula (**B**), resultó ser el factor más influyente sobre el contenido de humedad del extruido, con un 64.78% de importancia sobre esta propiedad fisicoquímica (**Figura 1a**). La humedad de la matriz tuvo un efecto positivo, es decir, a medida que se incrementó la humedad en la formula o matriz (**B** de 15 a 20%), aumentó el contenido de humedad en el producto extruido. Estudios anteriores registran que una mayor temperatura de extrusión provocó una mayor pérdida de humedad de los extruidos y el aumento de la humedad en la alimentación ayudó a disminuir la pérdida de humedad durante la extrusión (Patil, Anne, Sue, Charles, y Brennan, 2017; Brennan, Lan, y Brennan, 2016). La humedad en la formulación de la matriz actúa como plastificante sobre la masa extruida, que a su vez reduce la elasticidad del material y consecuentemente genera extruidos con baja expansión (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker, & Marson, 2006). La retención de humedad durante la extrusión afecta negativamente a la aceptabilidad del snack por el consumidor, al alterar las propiedades físicas del producto como la dureza y la densidad aparente (Patil, Brennan, Mason, y Brennan, 2016). Al respecto, Kasprzak et al. (2013) informaron que los extruidos con menor contenido de humedad desarrollaron células de aire con diámetros superiores y paredes celulares delgadas, generando una textura más crujiente y quebradiza.

Proteína

La calidad de la proteína depende de la cantidad, grado de digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales. El contenido de proteína de los snacks registraron valores que oscilan del 12.43% a 18.69%, superiores al del control (100% maíz), que presentó un valor de 8.32% (**Tabla 4**). Se puede aseverar que la formulación de la matriz (A), tuvo mayor efecto sobre el contenido de proteína del snack extruido, con un 40.80 % de importancia en esta propiedad (**Figura 1b**).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que conforme se sustituyó el contenido de maíz del 20 al 30% por chocho y papa en la matriz, el contenido de proteína en los snacks extruidos se incrementó. Esto pudiera explicarse debido al aporte proteico del chocho, ya que posee un contenido de proteínas mayor al maíz (**Tabla 2**), es así que los snacks obtenidos a partir de la formulación (p/p):70/15/15, presentaron valores superiores de proteína. Resultados similares fueron obtenidos por Patil et al. (2016), quienes registraron un aumento en el contenido de proteína del extruido, conforme adicionaban leguminosas (guisantes) a las muestras extruidas a base de cereales (trigo). Sin embargo, Patil et al. (2017) advierte que los materiales a extruir con altos contenidos de proteína, producen snacks con bajos índices de expansión, alta densidad aparente y por consiguiente mayor dureza.

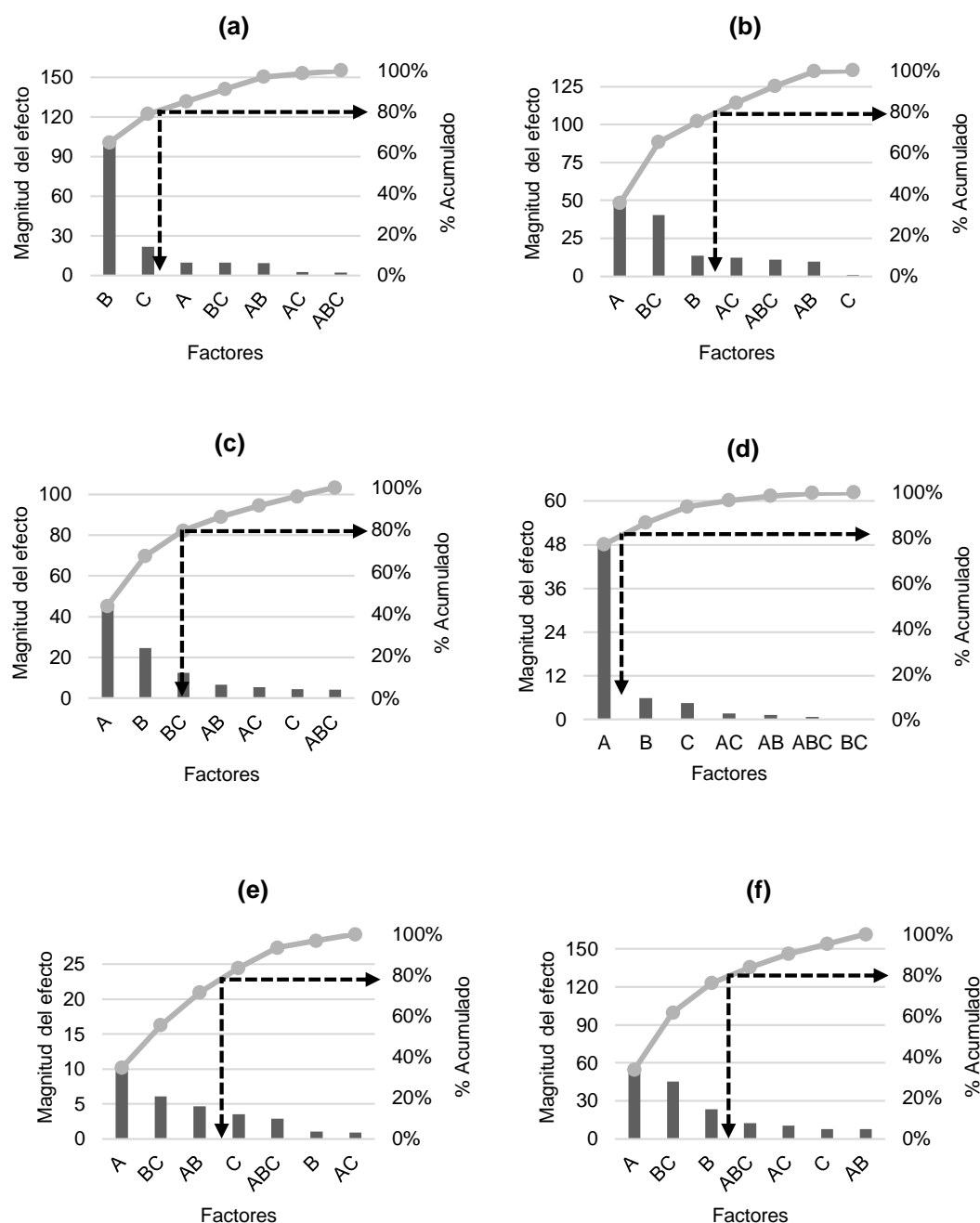


Figura 1. Diagramas de Pareto para variables de respuesta: **a)** Humedad; **b)** Proteína; **c)** Grasa; **d)** Fibra Bruta; **e)** Cenizas; **f)** Carbohidratos.

Por otro lado, se observó una disminución en el contenido proteico en los extruidos al incrementar la temperatura de extrusión y disminuir la humedad en la matriz. Al respecto, Guy (2001) indica que estas condiciones promueven las reacciones de Maillard durante la extrusión, donde los azúcares reductores incluidos los formados por cizallamiento del almidón y sacarosa pueden reaccionar con la lisina disminuyendo el valor nutricional de la proteína. La lisina es el aminoácido esencial limitante en los cereales y el agotamiento de este nutriente puede perjudicar el crecimiento en niños y jóvenes (Altan y

Maskan, 2012). A pesar que, estas condiciones de extrusión aumentan la digestibilidad de las proteínas debido a la desnaturalización, la cual expone más sitios accesibles al ataque enzimático de las proteasas intestinales (Altan y Maskan, 2012; Lupano, 2013; Ramachandra & Thejaswini, 2015). Sin embargo, temperaturas de extrusión inferiores a 140°C no generan efectos en la digestibilidad de las proteínas, que podría atribuirse al menor tiempo de residencia del alimento dentro de la extrusor (Singh, Gamalath, y Wakeling, 2007)

En la **Figura 1**, se observan la magnitud de los efectos de factores e interacciones en orden ascendente de izquierda a derecha sobre cada uno de los nutrientes evaluados en los snacks, cabe mencionar el incremento de sustitución de maíz por chocho y papa (factor **A**) tuvo efectos de mayor magnitud sobre los aumentos de proteína, lípidos, fibra y cenizas en los extruidos (**Figuras 1b, 1c, 1d y 1e**). Mientras, la disminución de humedad de la mezcla (Factor **B**) tuvo un efecto de mayor magnitud sobre la humedad del producto extruido (**Figura 1a**)

Lípidos

Los lípidos tienen un efecto lubricante en los grits de polímeros comprimidos durante la extrusión (Ilo, Schoenlechner & Berghofe, 2000). Se observó, que el contenido de lípidos en los snacks extruidos registraron valores que oscilan de 0.61% a 2.01%, superiores al control que presentó un valor de 0.54% (**Tabla 4**). Por lo tanto, se puede aseverar que la formulación de la matriz (**A**), tuvo un efecto del 43.84% de magnitud sobre el contenido de lípidos del producto extruido (**Figura 1c**)

Asimismo, se observó valores más altos de lípidos en los snacks de la formulación con mayor sustitución de maíz (del 20 a 30%) por papa y chochos en la matriz, debido al aporte de lípidos del chocho (leguminosa). El chocho es una fuente de ácidos grasos esenciales como son: oleico, linoleico y linolénico (Villacrés *et al.*, 2006). Resultados similares reportaron Guy (2001) y Moscicki (2011) en sus investigaciones. Sin embargo, la extrusión de materiales con contenidos de lípidos superiores al 3% disminuye significativamente la expansión del producto (Steel *et al.*, 2012). Además, se registró un ligero efecto de la humedad de la formulación y temperatura de extrusión. Por lo tanto, el contenido de lípidos disminuyó al aumentar la humedad en la formulación y reducir la temperatura de extrusión. Temperaturas altas en la compresión y bajos contenidos de humedad provocan mayor extracción de lípidos (Ilo *et al.*, 2000), información que contrasta con los resultados de ésta investigación. Al respecto, Ilo, Schoenlechner, & Berghofe (2000) manifiestan que bajo condiciones de extrusión, varios tipos de lípidos como monoglicéridos, ácidos grasos y sus ésteres forman complejos con fracciones de amilosa del almidón, que al enfriarse durante el corte y manejo posterior a la extrusión. Asimismo, un mayor tiempo de residencia y alta viscosidad de los materiales fundidos favorecen la formación de complejos (Singh *et al.*, 2007). Por otro lado, las temperaturas altas de extrusión provocan desnaturalización de las

lipasas, que impiden la hidrólisis de los triglicéridos y consecuentemente, la oxidación de ácidos grasos libres retenidos en la matriz de almidón (Singh *et al.*, 2007).

Fibra Bruta

Los productos extruidos presentaron un contenido de fibra que oscila de 1.70% a 2.32%, los extruidos de los tratamientos presentaron valores de fibra superiores al testigo con 0.55% (**Tabla 4**). De acuerdo a los resultados, se puede evidenciar que la formulación de la matriz (**A**), tuvo un efecto mayor del 77.23% de importancia sobre el contenido de fibra bruta del extruido (**Figura 1d**). En general, los valores de fibra más altos se registraron en los extruidos obtenidos de la formulación con mayor contenido de chocho (p/p: 70/15/15), ya que éste material aporta mayor contenido de fibra con relación al de la papa (tubérculo) y del maíz (**Tabla 2**). La extrusión produce cambios estructurales y en las propiedades fisicoquímicas de la fibra, siendo el principal efecto el aumento de la solubilidad en agua (Singh *et al.*, 2007). Este efecto se debe a la ruptura de enlaces covalentes y no-covalentes entre los carbohidratos y las proteínas asociadas a la fibra, que provoca la cizalladura del tornillo durante la extrusión, resultando en fragmentos moleculares más pequeños de fibra, según Steel *et al.* (2012). Por otra parte, Wang y Ryu (2013), indican que la incorporación de materiales ricos en fibra, reducen el índice de expansión y originan productos extruidos con estructuras más compactas y densas.

Cenizas

Los minerales son elementos sólidos cristalinos que no pueden descomponerse ni sintetizarse mediante reacciones químicas ordinarias (Singh *et al.*, 2007). El contenido de cenizas en los snacks extruidos resultantes de los efectos de los factores en estudio, registraron valores que oscilan de 0.82% a 1.00%, superiores al testigo que presentó un valor de 0.57% (**Tabla 4**). En definitiva, se puede aseverar que la formulación de la matriz (**A**), tuvo mayor efecto sobre el contenido de cenizas del extruido, con un 34.75 % de importancia en esta propiedad (Figura 1e).

Los snacks con valores más altos de cenizas se obtuvieron de la formulación con mayor sustitución de maíz (del 20 a 30%) por chocho y papa en la matriz, debido al alto contenido de minerales presentes en el chocho (**Tabla 2**). El alto contenido de calcio y hierro en el chocho podría contribuir al mayor contenido de minerales en el extruido (Villacrés *et al.*, 2006). Asimismo, se observó snacks con valores altos de minerales resultantes de mezclas tratadas a temperaturas altas. Además, se ha observado extruidos con contenidos de minerales altos a diferentes condiciones de extrusión, debido al incremento del hierro por el desgaste del cañón como consecuencia de la fricción producida (Altan & Maskan, 2012).

Carbohidratos

El contenido de carbohidratos en los snacks extruidos, presentaron valores que oscilan de 72.40% a 79.23%, inferiores al testigo (100% maíz) que presentó un valor superior de 85.44% (**Tabla 4**). En base a los resultados, se puede aseverar que la formulación de la mezcla **A** y el efecto combinado de la humedad de mezcla y temperatura de extrusión **AB** tuvieron mayor efecto sobre el contenido de carbohidratos del snack extruido, con un 33.81 y 27.95% de importancia en esta propiedad, respectivamente (**Figura 1f**). Valores superiores de carbohidratos se registraron en extruidos obtenidos de formulaciones con mayor contenido de maíz (cereal) en la mezcla, esto se debe a que tanto el maíz como la papa presentan en su composición altos contenidos de almidón.

Además, se observó que el contenido de carbohidratos aumenta al reducir la humedad de la mezcla e incrementar la temperatura de extrusión. Altan y Maskan, (2012) manifiestan que las condiciones de extrusión provocan cambios en la estructura molecular del almidón, produciéndose un rompimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina, así como también la modificación de la cristalinidad y degradación molecular debido a la gelatinización, por tanto, el contenido de carbohidratos se incrementa. No obstante, Singh et al. (2007) manifiesta que utilizar temperaturas superiores a los 170°C y humedades bajas (13%) generan pérdidas de azúcar debido a la conversión de sacarosa en glucosa y fructosa, los mismos que pueden perderse debido a la reacción de Maillard.

4. CONCLUSIONES

Las condiciones de proceso tuvieron un efecto significativo en el contenido nutricional de los snacks extruidos. Sin embargo, la formulación de mezcla (A) fue el factor que mayor efecto generó en el contenido nutricional del snack extruido. Donde, se registró que al incrementar la sustitución de 10 a 15 de grits de chocho (leguminosa) y papa (tubérculos) por los grits de maíz en la formulación, aumenta el contenido de proteínas, lípidos, minerales y fibra bruta del snack extruido. Por lo tanto, se determinó que las leguminosas y tubérculos poseen un gran potencial para producir snacks extruidos de alto valor nutricional con relación al producto comercial.

5. REFERENCIAS

- Advances in Food Extrusion Technology. (D.-W. Sun, Ed.).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bordoloi, R., & Ganguly, S. (2014). EXTRUSION TECHNIQUE IN FOOD PROCESSING AND A REVIEW ON ITS VARIOUS TECHNOLOGICAL PARAMETERS, 2(1), 1–3. Retrieved from <http://www.indjst.com>
- Brennan, M. A., Lan, T., & Brennan, C. S. (2016). Synergistic Effects of Barley, Oat and Legume Material on Physicochemical and Glycemic Properties of Extruded Cereal Breakfast Products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(3), 405–413. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12617>

- Chirinos-Arias M.C. (2015). Andean Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) a plant with nutraceutical and medicinal potential, 51(1), 163–172. Retrieved from <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/139>
- Ding, Q., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks, 73, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>
- Freire, V. (2014). La nueva situación epidemiológica de Ecuador. *Revista Informativa - Ops/Oms Representacion Ecuador*, 32, 1–100.
- Ghumman, A., Kaur, A., Sing, N., Sing, B. (2016). Effect of feed moisture and extrusion temperature on protein digestibility and extrusion behavior of lentil and horsegram. *LWT-Food Science and Technology*, YFSTL 5314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.032>
- Guy, R. (2001). *Extrusion cooking - Technologies and applications* (I). England.
- Ilo, S., Schoenlechner, R., & Berghofe, E. (2000). Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas y Aceites*, 51(1–2), 97–110. <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i1-2.410>
- Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Sykut-Domańska, E. & Błaszczak, W. (2013). Effect of fibre-protein additions and process parameters on microstructure of corn extrudates. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 488–494. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.002>
- Lupano, C. E. (2013). *Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento* (1st ed.). Buenos Aires (Argentina): Universidad Nacional de la Plata.
- Moscicki, L. (2011). *Extrusion-Cooking Techniques*. Weinheim, Germany.
- Obradovi, V., Babi, J., & Jozinovi, A. (2014). Improvement of nutritional and functional properties of extruded food products, 53(3), 189–206.
- Patil, S., and Kaur, C. (2018). Current trends in Extrusion: Development of functional Foods and Novel Ingredients. *Food Science and Technology Research*. 24(1), 23-34. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.23>
- Patil, S., Anne, M., Sue, B., Charles, M., & Brennan, S. (2017). Investigation of the combination of legumes and cereals in the development of extrudate snacks and its effect on physico-chemical properties and in vitro starch digestion, 56(1), 32–41.
- Patil, S., Brennan, M., Mason, S., & Brennan, C. (2016). The Effects of Fortification of Legumes and Extrusion on the Protein Digestibility of Wheat Based Snack. *Foods*, 5(2), 26. <https://doi.org/10.3390/foods5020026>
- Ramachandra, H. G., & Thejaswini, M. L. (2015). Extrusion Technology : A Novel Method of Food Processing. *IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(4), 358–369.
- Rehal, J., Kaur, G. J., Kaur, A., & Singh, A. (2017). Comparative Evaluation of Different Attributes of the Existing Extruded Snacks. *Journal of Krishi Vigyan*, 5(2), 15. <https://doi.org/10.5958/2349-4433.2017.00004.6>
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Steel, C. J., Gabriela, M., Leoro, V., Schmiele, M., Ferreira, R. E., & Chang, Y. K. (2012). Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In A. El-Sonbati (Ed.), *Thermoplastic Elastomers*. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/thermoplastic-elastomers/thermoplastic-extrusion-in-food-processing>

- Valenzuela-Lagarde, J.L., et al.(2017). botanas expandidas a base de mezclas de harinas de calamar, maíz y papa: efecto de las variables del proceso sobre las propiedades fisicoquímicas. CYTA - Journal of food. 15 (1), 118-124. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2016.1219391>
- Villacrés, E., Rubio, A., Egas, L., & Gabriela, S. (2006). Usos Alternativos del Chocho. INIAP-Estación Experimental Santa Catalina.
- Wang, Y., & Ryu, G. (2013). Physical properties of extruded corn grits with corn fibre by CO₂ injection extrusion. Journal of Food Engineering, 116(1), 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.041>