

Barras energéticas de sachá inchi: optimización de la formulación mediante diseño estadístico de mezclas

(Sacha Inchi Energy Bars: Formulation optimization with Statistical Mix Design)

Katherine Verduga¹, Jorge Luis Santamaría², Gilda Gordillo³, Carolina Montero⁴

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de optimización en la formulación de una barra energética de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*), aplicando el diseño estadístico de mezclas para el análisis de composición y poder calórico en la barra. Se desarrollaron barras energéticas constituidas por amaranto, quinua, piña deshidratada, avena, miel de abeja y sachá inchi. En cada composición se modificaron las cantidades de: miel de abeja y sachá inchi, seleccionando tres barras con mayor diferencia entre sus composiciones y poder calórico. Al realizar un análisis de aceptabilidad en base a la aplicación de una encuesta, los potenciales consumidores resultaron ser personas entre 19 y 24 años. Además de realizar una evaluación del aporte calórico a todas las barras elaboradas, a la barra con mayor aceptación se efectuó un análisis de composición o proximal sobre el cual se desarrollaron nuevas formulaciones manteniendo el valor de aporte calórico y validando la aceptación por el consumidor en cada nueva formulación. Se concluye que existen diferencias significativas respecto a la aceptación de la barra optimizada y no optimizada, pues la barra no optimizada tiene mayor contenido de sachá inchi que la no optimizada (35 % wt y 30 % wt, respectivamente) y, en cuanto al contenido de miel, la barra no optimizada tiene un contenido superior a la optimizada (30 % wt y 20 % wt, respectivamente). Se obtuvo una alternativa de barra energética que promueve el consumo de cereales y lípidos autóctonos que, además, tienen gran aporte nutricional.

Palabras clave

Sachá inchi, barras energéticas, diseño de mezclas, optimización, análisis sensorial, poder calórico, *Plukenetia volubilis*.

Abstract

In this work, the optimization results are presented in the formulation of an energy bar of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*), applying the statistical design of mixtures for the analysis of composition and caloric power in the bar. Energy bars consisting of amaranth, quinoa, dehydrated pineapple, oats, honey and sachá inchi were developed. In each composition, the amounts of honey and sachá inchi were modified, selecting three bars with the greatest difference between their compositions and caloric power. When conducting an acceptability analysis based on the application of a survey, the potential consumers turned out to be people between 19 and 24 years old. In addition to performing an evaluation of the caloric intake to all the bars produced, a compositional or proximal analysis was carried out on the bar with the greatest acceptance, on the basis of which new formulations were developed, maintaining the caloric intake value and validating the acceptance by the consumer in each new formulation. Concluding that there are significant differences regarding the acceptance of the optimized and non-optimized bar, since the non-optimized bar has a higher content of sachá inchi than the non-optimized one (35 % wt and 30 % wt, respectively) and in terms of honey content, the non-optimized bar has a higher content than the optimized one (30 % wt and 20 % wt, respectively). An alternative energy bar was obtained that promotes the consumption of native cereals and lipids that also have a great nutritional contribution.

Keywords

Sachá inchi, energy bars, mix design, sensory analysis, caloric power, *Plukenetia volubilis*.

1 Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. [katherinverduga@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7095-6938]
2 Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. [jsantamaria@uce.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-3982-2488]
3 Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. [gggordillo@uce.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-2574-5709]
4 Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. [cdmontero@uce.edu.ec, https://orcid.org/0000-0002-3683-8628]

Introducción

Sacha inchi (*Plukenetia volúbilis*) es una semilla originaria de países como Perú, Brasil, Colombia y Ecuador que tiene propiedades con grandes beneficios para el consumo humano. El grano o almendra presenta alrededor de 48-50 % de aceites y 27-28 % de proteínas altamente digeribles y ricas en aminoácidos esenciales: cisteína, tirosina, treonina y triptófano, excepto leucina y lisina (Follegatti-Romero et al., 2009). Del sacha inchi se obtiene harina y aceite que se utilizan en la elaboración de diferentes comidas y bebidas (Hanssen y Schmitz-Hübsch, 2011) y también se ha utilizado médicamente en el tratamiento reumático y dolencias musculares (Chirinos et al., 2013).

La composición proximal (Tabla 1) de semillas de sacha inchi (Ruiz et al., 2013) puede variar dependiendo del tipo de semilla y las condiciones en las que ésta se encuentre. Existen dos tipos principales de sacha inchi: *Plukenetia volúbilis* y *Plukenetia huayllabambana*, motivo por el cual no se puede generalizar la composición proximal del sacha inchi.

Tabla 1. Composición proximal (base seca) de semillas de *Plukenetia*

Componente	Semillas
Grasa	49.00 ±1.00
Proteínas	29.60 ± 0.50
Cenizas	2.70 ± 0.20
Fibra	6.60 ± 0.70
Carbohidratos	12.10 ±1.30

En Ecuador se estima que la siembra de sacha inchi se da en 13 provincias, pero la mayor producción estaría en la provincia del Napo. Cabe mencionar que solo la empresa Agroindustrias Ecuador G2 contaría con 1 100 ha sembradas y 800 ha en producción (Revista Líderes, 2020). La industria de esta semilla está enfocada en la exportación para la producción de subproductos con base en sacha inchi, sin embargo, en los últimos años el Ecuador está destacándose en cuanto a la extracción de aceite, existiendo actualmente la producción y comercialización de derivados como cremas corporales, aderezos para la comida, jabones y bebidas (Cárdenas y Viteri, 2015), lo cual la hace una variedad con alta tendencia de exportación, principalmente a mercados como Corea del Sur y Estados Unidos (Rodríguez et al., 2021). Incluso, a nivel local, la producción de aceite de sacha inchi está siendo considerada como alternativa para el dinamismo de la economía tradicionalmente ligada a la producción de aceite de palma africana (Preciado et al., 2021). Resultados de la caracterización del aceite obtenido por extrusión de semillas de la zona de San Vicente, Manabí (Valdiviezo et al., 2019), presentan un alto contenido de ácidos grasos insaturados (90.63 %) al ser comparado con los resultados obtenidos con semillas provenientes de Perú, aunque el contenido de los ácidos linoleico y oleico resultaron diferentes.

En el presente estudio se propone la utilización de sacha inchi para la elaboración de barras energéticas de consumo en personas entre 19 y 24 años. Las barras obtenidas se caracterizaron para verificar el contenido de humedad y el aporte calórico de los componentes sobre la formulación de la barra.

Se elaboraron nueve barras con diferentes composiciones, las cuales se analizaron aplicando el diseño estadístico de mezclas en el software estadístico Minitab, correlacionando entre la composición y el aporte calórico como variable de respuesta, obteniendo el modelo matemático para la determinación del aporte calórico en función de la composición.

Finalmente, se optimizó la mezcla con la finalidad de aprovechar el aporte calórico del sachu inchi, trabajando, además, sobre las características organolépticas para que sea agradable a los consumidores.

Metodología experimental

Formulación y elaboración de la barra energética

La experimentación se realizó en el Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador (Verduga, 2019). Las formulaciones se basan en composiciones de barras energéticas comerciales considerando el aporte energético de los ingredientes. Se utilizaron seis ingredientes; tres cereales (amaranto, avena y quínoa), piña deshidratada, miel de abeja y sachu inchi. El procedimiento para la elaboración de la barra se basó en la metodología según Ferreyra (Ruiz et al., 2013) y se detalla en la Figura 1. Previo a la formulación de las barras, las semillas de sachu inchi fueron tostadas y troceadas de manera que tengan un tamaño aproximado a los demás ingredientes (entre 3 y 5 mm) y para obtener una mezcla homogénea. Además, se utilizó miel de abeja con la finalidad de que sea aglutinante y proporcione el dulzor característico de este tipo de alimentos. Al no contar con una normativa local específica para las propiedades de barras energéticas, se estableció que los componentes cereales y la piña deshidratada cumplan el contenido de humedad <10 % (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2595:2011 Granolas. Requisitos, 2011).

En la Figura 2 se pueden apreciar las barras energéticas obtenidas a nivel de laboratorio. La composición de las diferentes formulaciones de barras energéticas se presenta en la Tabla 2.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de barras energéticas de sachu inchi

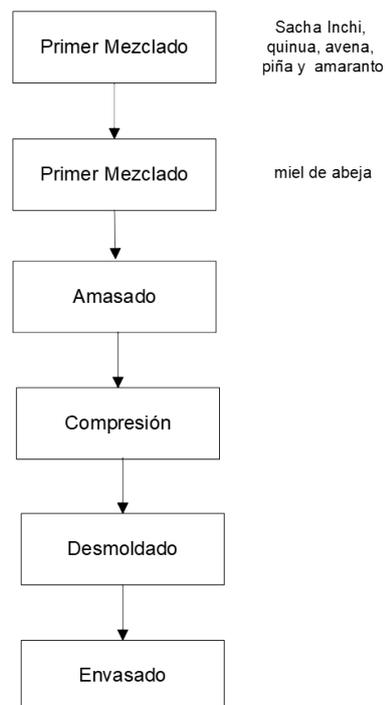


Figura 2. Barras energéticas de sachá inchi formuladas a nivel de laboratorio



Tabla 2. Composición porcentual de las barras energéticas

Barra	Sachá inchi, wt %	Miel, wt %	Piña, wt %	Avena, wt %	Amaranto, wt %	Quinoa, wt %
1	30.00	20.00	10.00	13.33	13.33	13.33
2	35.00	25.00	10.00	10.00	10.00	10.00
3	40.00	30.00	10.00	6.66	6.66	6.66
4	40.00	20.00	10.00	10.00	10.00	10.00
5	30.00	25.00	10.00	11.66	11.66	11.66
6	35.00	30.00	10.00	8.33	8.33	8.33
7	35.00	20.00	10.00	11.66	11.66	11.66
8	40.00	25.00	10.00	8.33	8.33	8.33
9	30.00	30.00	10.00	10.00	10.00	10.00

Caracterización de las barras energéticas

Para caracterizar las barras energéticas se determinó el porcentaje de humedad considerando la norma INEN 2595:2011 para granolas (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2595:2011 Granolas. Requisitos, 2011). En este experimento se utilizaron las barras terminadas de 35 g en una estufa. El contenido de cenizas experimental fue realizado siguiendo el procedimiento AOAC 923.03 (Dusán-Sarria et al., 2019) que consiste en colocar en la mufla una cantidad de la barra con masa conocida a varias temperaturas por un tiempo definido para, finalmente, pesar el contenido de materia orgánica residual (cenizas), proceso que se aplicó a las 9 diferentes barras energéticas. El poder calórico superior de las barras energéticas se analizó con la finalidad de medir el aporte energético de las barras formuladas. Este experimento se realizó en la bomba calorimétrica C2000 marca IKA en el Laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE). El análisis elemental de las barras energéticas se realizó en el equipo VARIO MACRO CUBE del Labo-

ratorio de Catálisis del área de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador. Con los resultados del contenido de oxígeno, hidrógeno, carbono, azufre y nitrógeno se realizó una aproximación del cálculo del poder calórico de las barras energéticas mediante la relación de Gaur-Reed de aplicación en biomásas (Regalado et al., 2017). Al igual que lo explicado para la bomba calorimétrica, estos ensayos permitieron tener una aproximación experimental de las barras energéticas. Adicionalmente, se utilizó la información de la base de datos para alimentos del *United States Department of Agriculture Agricultural Research Service* (USDA Agricultural Research Service, 2012) para determinar el aporte calórico de las barras energéticas en función del poder nutricional de cada uno de los componentes.

Encuesta de aceptabilidad del producto

Con la finalidad de determinar la aceptación del consumo de las barras de sachá inchi se realizó una encuesta de aceptabilidad tomando como muestra de estudio a jóvenes entre 19-24 años, considerándolos como posibles consumidores de las barras energéticas debido a la demanda energética de esta franja etaria. Se realizó una encuesta de aceptabilidad en la que los posibles consumidores debían probar una a una las barras, tomando agua entre cada una, de manera que se pueda seleccionar cuál de las tres presentaciones de barras preferían. Las barras fueron colocadas de forma aleatoria y con numeración diferente, de manera que no pueda existir ningún tipo de sesgo en la selección. Las muestras a analizar fueron las barras 3, 5 y 8 que presentaron mayores diferencias de aporte energético entre sí. Se realizó un muestreo no probabilístico en el que se seleccionaron los elementos de la muestra de acuerdo con criterios previamente establecidos, este tipo de muestreo se utiliza cuando el probabilístico resulta muy costoso (Otzen y Manterola, 2017). El tamaño total de la población de estudio fue de 120 personas, el cálculo del tamaño de la muestra se realizó considerando la ecuación estadística generalizada de la misma y se obtuvo una muestra de 73 personas, valor que considera un intervalo de confianza del 95 % (Torres et al., 2006).

Análisis de composición o proximal

Se realizó el análisis proximal o de composición en la barra energética con mayor percepción de aceptación para conocer el contenido de proteína, grasa, cenizas, humedad, fibras, carbohidratos y aporte energético. Además, permite conocer si el valor de humedad no excede el permitido (INEN 2595:2011 2011-07). Este ensayo se realizó en el laboratorio OSP de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador.

Resultados y discusión

Contenido de humedad y cenizas de las barras energéticas

En la Tabla 3 se presentan los resultados porcentuales de humedad y cenizas de las barras de sachá inchi. Se evidencia que las barras cumplen lo señalado respecto a la humedad de alimentos en la normativa local para galletas, valor que se considera aceptable ya que Ecuador no tiene norma técnica para la elaboración de barras energéticas. Un trabajo previo —en el cual se desarrolló una barra elaborada de avena, cebada y trigo, además de ciruela pasa y

espirulina— reportó un valor de 11.54 % de humedad (Badillo, 2011), superior al reportado en este trabajo. El valor reportado por Badillo es superior al obtenido en este estudio para la barra de sachá inchi, lo cual probablemente se deba a la presencia de ciruelas con mayor contenido de agua.

Para una barra de cereales con maní, jalea de mora y avena (Zenteno, 2014) se reporta un porcentaje de minerales totales de 1.73 %, similar al obtenido en este trabajo, lo que permite evidenciar que parte de este contenido inorgánico en las barras puede deberse al componente oleaginoso como es el maní y el sachá inchi en cada barra, además considerando que la semilla de sachá inchi tiene un 2.70 % de cenizas (Ruiz et al., 2013), mientras que el maní tiene un 3.40 % (Núñez, 2009). La presencia de altos valores de cenizas es un indicativo de posible contaminación de los alimentos en metales, generalmente provenientes de los procesos de producción en recipientes o contenedores metálicos (Márquez, 2014).

Tabla 3. Contenido de humedad y cenizas de las barras energéticas de sachá inchi

Número de barra	Porcentaje de humedad	Porcentaje de cenizas
1	6.21	1.78
2	7.07	1.81
3	9.06	1.89
4	6.56	1.73
5	7.27	1.76
6	8.54	1.84
7	6.02	1.75
8	7.41	1.83
9	8.42	1.79

Análisis elemental y poder calórico de las barras energéticas de sachá inchi

El análisis elemental de las barras energéticas permitió conocer el porcentaje de carbono, nitrógeno, hidrógeno, azufre y oxígeno de la mezcla. Además, permitió calcular una aproximación del poder calórico de cada muestra mediante la relación de Gaur-Reed que se utiliza para biomásas mediante la ecuación 1 que, en este caso, está siendo utilizada para estimar el aporte calórico que tendrían las barras a consumir.

$$PCS \left(\frac{MJ}{kg} \right) = 0,3491(\%C) + 1,1783(\%H) + 0,1005(\%S) - 0,1034(\%O) - 0,0151(\%N) - 0,0211(\%C_n) \quad (1)$$

En la Tabla 4 se presentan los resultados de análisis elemental, poder calórico calculado con la correlación de Gaur-Reed y poder calórico experimental con el método de bomba calorimétrica.

Tabla 4. Resultados del análisis elemental de las barras energéticas

Barra	N, %	C, %	H, %	S, %	O, %	Poder calórico superior calculado, kJ/kg	Poder calórico superior experimental, MJ/kg
1	2.48	47.42	12.61	0.32	37.17	27 520.00	19 766.86
2	2.74	49.31	13.22	0.24	34.50	29 170.00	20 996.86
3	2.25	46.81	13.03	0.19	37.72	27 730.00	20 622.00
4	2.95	49.52	13.08	0.21	34.24	29 080.00	21 044.86
5	2.66	48.21	12.62	0.19	36.32	27 880.00	19 738.86
6	2.48	45.83	13.40	0.14	38.15	27 770.00	20 954.00
7	1.66	41.84	11.81	0.14	44.55	23 860.00	20 828.00
8	2.37	46.63	12.90	0.17	37.94	27 480.00	21 248.86
9	1.95	43.75	12.97	0.14	41.19	26 250.00	19 760.00

Se evidencia que los valores de poder calórico obtenido mediante el método experimental de la bomba calorimétrica son mayores al calculado con la ecuación 1, se puede concluir que la ecuación de Gaur-Reed no se adapta a mezclas de alimentos. El poder calórico obtenido por el método experimental es comparable con valores energéticos (22 070 kJ/kg) reportados para barras comerciales de harina de grillo producidas en República Checa (Adámek et al., 2018).

Sin embargo, del análisis elemental se observa la presencia de una alta proporción de compuestos carbonados relacionados a las moléculas de carbohidratos, proteínas y azúcares propios de la formulación de la barra energética.

Aporte calórico de las barras formuladas, cálculo en función de los aportes de los componentes

Con la finalidad de analizar el aporte calórico de las barras energéticas al momento del consumo se realizó el cálculo teórico en función del aporte de cada ingrediente de la mezcla (Tabla 5), tomando como referencia la base de datos proporcionada por en el USDA *Food Composition Databases* (USDA Agricultural Research Service, 2012).

Tabla 5. Aporte energético teórico por componente

Componente	Aporte energético, kJ/100g	Aporte energético, kJ/kg
Sacha inchi	2 930.20	29 302.00
Miel	1 272.54	12 725.40
Amaranto	435.34	4 353.40
Quínoa	502.32	5 023.20
Avena	1 029.76	10 297.60
Pina deshidratada	1 255.80	12 558.00

Conocida la composición de la mezcla reportada en la Tabla 2 y los valores teóricos de cada componente para una barra, en la Tabla 6 se muestran los valores de aporte nutricional teórico por cada barra (35 g).

Tabla 6. Aporte energético de las barras de sachá inchi (35 g)

Barra	Aporte energético por barra kJ	Aporte energético por barra kcal
1	550.73	131.62
2	593.48	141.84
3	636.23	152.07
4	622.49	148.78
5	557.60	133.27
6	600.35	143.48
7	586.61	140.20
8	629.36	150.42
9	564.47	134.91

Mencionando algunas barras energéticas desarrolladas para el mercado y con objetivo de comparación, se citan desde aquellas dirigidas para deportistas de triatlón (Arruti et al., 2015) formuladas con dátiles, jarabe de glucosa y avena, presentando un aporte energético de 140.70 kcal/35 g; barras energéticas destinadas a deportistas de resistencia (Jijón y Araujo, 2018) constituidas por frutas como higos, manzanas y duraznos, presentando un aporte calórico de 117.00 kcal/35 g, determinando su composición en cantidades de globales de carbohidratos, proteínas y lípidos; barras energéticas de frutos tradicionales de Sudamérica como las barras con base de borjón, presentando un aporte de 376.25 kcal/35 g, hasta aquellas en base a uvilla (Lascano, 2013), presentando un aporte energético de 162.75 kcal/35 g.

Consecuentemente, se observa que las barras de sachá inchi desarrolladas en el presente estudio se encuentran en el intermedio de aporte calórico con respecto a las barras energéticas existentes en el mercado, alcanzando un aporte calórico de hasta 152.07 kcal/35 g de producto, lo cual las harían competitivas respecto a otras barras.

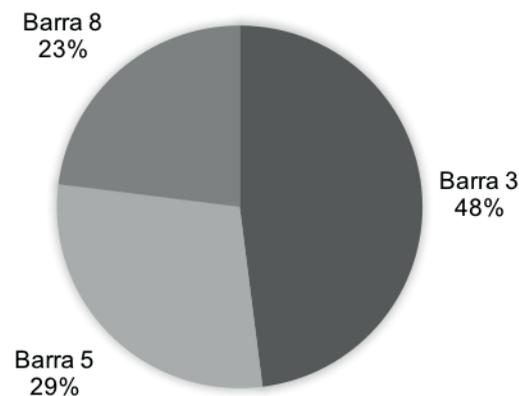
Encuesta de aceptabilidad

En el encuesta de aceptabilidad se seleccionaron las barras 3, 5 y 8 debido a que presentan diferentes composiciones entre sí. La barra 3 contiene 30 % de miel y 40 % de sachá inchi. La barra 5 tiene 25 % de miel y 40 % de sachá inchi. Mientras que la barra 8 tiene 25 % de miel y 40 % de sachá inchi. Los resultados de la encuesta de aceptabilidad de producto se presentan en la Figura 3.

El análisis reflejó una aceptación por la barra 3 que tiene mayor porcentaje de miel de abeja, lo cual refleja que la población encuestada tiene mayor tendencia favorable a los sabores dulces. Nótese que, a pesar de que esta barra contiene mayor porcentaje de sachá inchi, el sabor particular de esta oleaginosa no afectó a la preferencia respecto al dulzor. Estudios sensoriales realizados con barras formuladas con residuos de piña (Manjarrez y Sosa, 2020) concluyeron que las personas prefieren sensorialmente barras energéticas con ingredientes naturales

y un término de dulzor medio. Mientras que barras energéticas basadas en cereales como maíz expandido y germen de trigo obtuvieron muy buena aceptación sensorial en escolares de distintos niveles socioeconómicos en Argentina (Olivera C et al., 2012). Otras barras energéticas basadas en cereales andinos como la quinua tuvieron una calificación de 6/7 por parte del 50 % de encuestados de una muestra de 57 personas entre 11 y 40 años (Steffolani et al., 2017).

Figura 3. Resultados de la encuesta de aceptabilidad de las barras energéticas



Optimización de la formulación mediante diseño estadístico de mezclas

En función de la barra formulada en el laboratorio se ha realizado la optimización de la formulación de una barra con peso 35 g. Y el cálculo del diseño de mezclas se obtuvo realizando el módulo de diseño de mezclas del software Minitab (Minitab, 2021). Para el ajuste de la composición se usó un modelo de tipo $Y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 \dots \beta_nx_n$, en el que Y representa el aporte calórico, siendo la variable dependiente; β los coeficientes de ajuste y x los componentes de la mezcla. Los diseños de mezclas permiten analizar una superficie de respuesta (Salamanca et al., 2015) en los que el producto objeto de investigación se compone de varios componentes o ingredientes, estos diseños son utilizados para la elaboración de productos que involucran mezclas. La variable de respuesta va a depender de las proporciones de los componentes. El diseño de mezclas permite establecer los rangos de los valores de cada uno de los componentes de la mezcla, de manera que se define el diseño en función de los componentes. Cuando se tiene el diseño de mezclas, el objetivo de estudio se basa en estudiar si esta mezcla es la óptima, si se ha utilizado un procedimiento numérico y si la solución aproximada es lo suficientemente buena (Camacha Gutiérrez, 2017). La versatilidad de este modelo de experimentos ha permitido su uso en múltiples aplicaciones tan variadas como la optimización de composición orgánica en digestiones anaerobias de residuos sólidos municipales (Song et al., 2021), como en formulación de vegetales fermentados (Chekdid et al., 2021) y alimentos libres de gluten (Ammar et al., 2021). En este trabajo, en la optimización de la formulación mediante diseño estadístico de mezclas, los factores son los componentes. En el caso de las barras energéticas serían el contenido de miel y sachá ynchi y, por consiguiente, sus niveles no son independientes. Al realizar el diseño de mezclas se analiza que modelo se ajuste mejor a los componentes de la mezcla y muestra de forma significativa la interacción entre componentes y la variable respuesta que, en este caso, fue el aporte energético de las barras. Los coeficientes del modelo matemático (β) permanecen

invariantes con la optimización, puesto que esta se enfoca en la composición de los ingredientes de la mezcla.

Diseño de mezclas en función del poder calórico medido con bomba calorimétrica

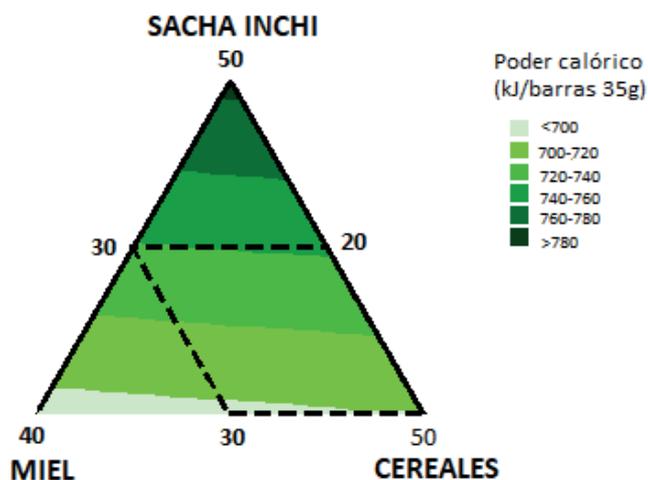
Se busca que el modelo optimice los datos de composición (Tabla 2) y aporte calórico medido experimentalmente con bomba calorimétrica (Tabla 4). El objetivo de analizar estos datos es obtener una correlación entre la formulación de las barras y su aporte energético, obteniendo como resultado la ecuación 2. En este caso, el modelo de mejor ajuste es de tipo lineal debido a que no existe interacción significativa entre el producto de las combinaciones de los componentes de la mezcla.

$$10,0495 * \%Sacha\ Inchi + 5,43651 * \%Miel + 5,79118 * \%Cereales = Poder\ Calorico \left(\frac{kJ}{35\ g} \right) \quad 2$$

Mediante esta regresión se obtiene como resultado del comportamiento de la mezcla una desviación estándar, $S = 13.08\ %$ y la regresión del modelo, $R^2 = 72.73\ %$. La alta variabilidad entre los resultados de composición y poder calórico medidos en la bomba calorimétrica podría deberse a que en el ensayo de poder calórico se asume que la mezcla es una pieza homogénea, lo cual no refleja lo que sucede en mezclas de alimentos. En mezclas de bebidas de frutas en las que se aplicó esta metodología para la predicción de variables (Akonor, 2020) se obtuvieron, para el ajuste de pH que es una propiedad global de la mezcla valores de regresión, $R^2 = 83.9\ %$. El parámetro P es el valor que tiene gran influencia en el modelo de regresión, presentando un valor muy cercano al cero para los tres componentes de la mezcla.

Si bien la bondad del ajuste no es la óptima, en la Figura 4 se presenta el gráfico de superficie de contorno de la mezcla que permite conocer la relación entre los componentes y la variable de respuesta. Un color más intenso en la superficie de respuesta corresponde a valores de poder calórico mayores. Por lo que se puede observar que un mayor contenido de sachá inchi promueve valores más altos de poder calórico.

Figura 4. Superficie de respuesta del diseño de mezcla de barras de sachá inchi



Trabajos previos que presentan un análisis de varianza (ANOVA) para barras energéticas de similares características (Delgado, 2015) obtienen valores que reflejan que no existiría efecto significativo de las formulaciones experimentadas con respecto a la aceptabilidad general y al aporte energético ($P > 0.05$). En este trabajo se evidencia un comportamiento similar respecto al poder calórico para la barra de sachá inchi. Sin embargo, si existió diferenciación respecto a la aceptación de la barra por parte de los consumidores.

Con los valores residuales de la experimentación (valores experimentales vs valores calculados con el diseño de mezclas) se realizaron pruebas de normalidad con tres métodos, cuyos resultados reflejaron valores 0.05 verificando la normalidad de los datos. Para la prueba de Anderson Darling se obtuvo 0.63, en la prueba de Ryan-Joiner 0.94 y con la prueba de Kolmogorov-Smirnov, 0.28. Trabajos previos que aplican los métodos de Ryan-Joiner y Kolmogorov-Smirnov (Santamaria et al., 2019) señalan que las dos pruebas confirman la normalidad de los datos, mostrando así que siendo métodos diferentes arrojan respuestas similares, asegurando la fiabilidad de los resultados.

Diseño de mezclas en función del aporte energético de los componentes

Siguiendo lo señalado en el apartado 4.1, se realizó el diseño de mezclas considerando como factor el aporte energético calculado a partir de los componentes (Método USDA), cuyos valores se encuentran en la Tabla 6. Se obtuvo la expresión de regresión que se observa en la ecuación 3.

$$10,256 * \%Sacha\ Inchi + 4,454 * \%Miel + 3,0801 * \%Cereales = Poder\ Calorico \left(\frac{kJ}{35\ g} \right) \quad 3$$

Los coeficientes de regresión que modelan el comportamiento de la mezcla con los valores de poder calórico expresados en las ecuaciones 3 y 4 no presentan una diferencia significativa. Por lo tanto, evidencian el mismo comportamiento de los componentes en el aporte energético. Sin embargo, el modelo de mezclas presenta una menor desviación estándar, $S = 0.00035\ %$ y la regresión del modelo, $R^2 = 100\ %$

Optimización de la composición de la barra de mayor aceptación

Se consideraron los valores de aporte calórico y se estableció un rango para la optimización de la barra energética que tuvo mayor aceptación. De modo que se pueda tener un producto final que cumpla su función de aporte energético, así como de satisfacción al consumidor. En la Tabla 7 se presentan los límites considerados para la optimización.

Tabla 7. Intervalo para la optimización de la mezcla de la barra 3

Aporte calórico(kJ/35 g)		
Valor mínimo	Valor objetivo	Valor máximo
690.87	721.77	743.72

La optimización permitió obtener nuevas composiciones porcentuales, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8

Tabla 8. Composición de la mezcla optimizada para barra energética de mayor aceptabilidad

Barra 3	Composición optimizada, w %
Sacha inchi	35.16
Miel	20.00
Cereales	44.83

Finalmente, para conocer el efecto de la optimización de la formulación en el producto final se realizó una nueva encuesta de aceptabilidad de la barra 3, probando la formulación original (Tabla 2) y optimizada (Tabla 8). Los resultados de la encuesta de aceptabilidad arrojaron como resultado que el 65 % de encuestados prefieren la mezcla no optimizada y el 35 % prefieren la optimizada. Analizando las diferencias entre las dos composiciones se observa que la barra optimizada tiene un 5 % menos de sachá inchi y un 10 % menos de miel. Por lo cual, se determina que al disminuir el dulzor en la barra optimizada esta no tuvo la aceptabilidad esperada (Manjarrez y Sosa, 2020).

Análisis proximal o composición de la barra con mayor aceptación entre consumidores.

En la Tabla 9 se presentan los resultados del análisis proximal realizado a la barra 3 de mayor aceptación, este análisis fue realizado por un laboratorio externo (OSP, Facultad Ciencias Químicas, UCE). Previo al análisis de la muestra se realizó un muestreo utilizando la técnica del cuarteo (Jiménez y Elizondo, 2014).

Tabla 9. Análisis proximal de barra energética de sachá inchi

Componente	Porcentaje, wt %
Proteínas	14.21
Grasa	23.93
Cenizas	1.82
Fibra	13.74
Carbohidratos	50.30
Humedad	9.74

Otros autores como Zenteno (2014) presentan el análisis proximal o de composición de una barra de avena de 26 g/barra, en la cual el porcentaje de carbohidratos es de 45.32 %, proteínas de 14.37 % y fibra de 20.56 %. Barras energéticas formuladas con quinua, kiwicha y linaza presentaron valores de proteínas del 11.00 % y de grasa del 26.00 % (Castro et al., 2019).

Contrarrestando con los resultados de este estudio, como se observa en la Tabla 9, se determina que la cantidad de carbohidratos obtenidos son mayores a los de la literatura citada, logrando con este análisis garantizar un aporte inmediato de energía a las personas que consumirán las barras desarrolladas, así como se recalca que las cantidades de proteína y grasa se encuentran entre los mejores valores a pesar de que la cantidad de fibra es menor comparado con las otras barras energizantes citadas. Se puede mencionar que el producto obtenido en este estudio es adecuado para el consumo humano.

Conclusiones

Se formuló una barra energética a partir de sachá inchi, una oleaginosa propia de Ecuador, la misma que no ha sido aprovechada masivamente en la elaboración de productos con valor añadido. Se han aplicado varios métodos para caracterizar el aporte calórico de barras energéticas, sin embargo, se evidenció que los métodos experimentales como el uso de bomba calorimétrica y el análisis elemental no lograron ser apropiados debido a que la mezcla fue heterogénea. El cálculo del aporte calórico por el método de la USDA, basado en la composición, presenta menor error que los métodos basados en la combustión de la barra. Analizando la relación entre los componentes (miel y sachá inchi) y el aporte calórico, se observa que el contenido de sachá inchi es el que más incide; pero, comparado con barras energéticas analizadas por otros autores, se obtuvo menor contenido energético (152 kcal/barra) y con mayor porcentaje de proteínas (14 %). Respecto a la aceptación del producto se observó una tendencia favorable hacia las barras con mayor porcentaje de miel, el sabor característico herbal del sachá inchi no fue decisivo al momento de la elección por parte de los consumidores. El modelo estadístico de mezclas permitió obtener una correlación (ecuación 3) con una bondad de ajuste que permitirá estimar el aporte calórico de la barra energética a partir de los componentes, permitiendo extrapolar este proceso a nivel industrial y brindando una herramienta estadística validada para los productores de este tipo de alimentos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador por las facilidades para el desarrollo del presente trabajo. K. Verduga agradece al Laboratorio del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) por las facilidades en el uso de la bomba calorimétrica.

Referencias

- Akonor, P. (2020). Optimization of a Fruit Juice Cocktail Containing Soursop, Pineapple, Orange and Mango Using Mixture Design. *Scientific African*, 8: e00368. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00368>
- Ammar, I., et al. (2021). Optimization of Gluten-Free Sponge Cake Fortified With Whey Protein Concentrate Using Mixture Design Methodology. *Food Chemistry*, 343: 128457. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128457>
- Arruti, I.; Fernández, M., y Martínez, R. (2015). Diseño y desarrollo de una barra energética para deportistas de triatlón. *Enfermería: Cuidados Humanizados*, 4(1): 27-31. <https://doi.org/10.22235/ECH.V4I1.528>
- Adámek, M., et al. (2018). Acceptability and Sensory Evaluation of Energy Bars and Protein Bars Enriched With Edible Insect. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1): 431-437. <https://doi.org/10.5219/925>
- Badillo, M. (2011). *Elaboración de una barra energética con cereales como: avena, cebada y trigo, adicionando espirulina y ciruela pasa* (tesis de grado). Universidad UTE, Ecuador. <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4914>
- Camacha Gutiérrez, I. (2017). *Diseño óptimo de experimentos para modelos de mezclas aplicados en la ingeniería y las ciencias experimentales* (tesis de doctorado). Universidad Castilla La Mancha, España. https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/16595/TESIS_García-Camacha_Gutiérrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cárdenas, V., y Viteri, J. (2015). *Elaboración y caracterización de una bebida a partir de la semilla de sacha inchi* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5982>
- Castro, L., et al. (2019). Optimization in the Elaboration of an Energy Bar Based on Germinated Guinoa (Chenopodium quinoa Willdenow). *Agroindustrial Science*, 9(2): 163-172. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2019.02.09>
- Chekidid, A. A., et al. (2021). Mixture Design Applied for Formulation and Characterization of Vegetal-based Fermented Products. *LWT*, 146: 111336. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111336>
- Chirinos, R., et al. (2013). Sacha Inchi (Plukenetia volubilis): A Seed Source of Polyunsaturated Fatty Acids, Tocopherols, Phytosterols, Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*, 141(3): 1732-1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- Delgado, L. (2015). Efecto de la proporción de chenopodium quinoa (Quinoa), Amaranthus Caudatus (Kiwicha) y Plukenetia Volubilis L. (sacha inchi) en la aceptabilidad general y el análisis proximal de una barra energética. *Cientifi-K*, 2(2): 56-70.
- Dussán, S.; De la Cruz, R., y Godoy, S. (2019). Study of the Amino Acid Profile and Proximal Analysis of Extruded Dry Pastas Based on Quinoa Flour and Peach Palm Flour. *Informacion Tecnologica*, 30(6): 93-100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600093>
- Follegatti, L., et al. (2009). Supercritical CO₂ Extraction of Omega-3 Rich Oil From Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Seeds. *Journal of Supercritical Fluids*, 49(3): 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.03.010>
- Hanssen, H., y Schmitz, M. (2011). Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Nut Oil and Its Therapeutic and Nutritional Uses. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 991-994). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10117-3>
- INEN-Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2595:2011 Granolas. Requisitos, (2011). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2595.pdf>
- Jijón, G., y Araujo, P. (2018). *Formulación y elaboración de una barra energética para deportistas de resistencia* (tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16223>
- Jiménez, M., y Elizondo, F. (2014). Método de reducción de muestra para ensayos de laboratorio en mezcla asfáltica en caliente. *Métodos y Materiales*, 4(1): 11-16. <https://doi.org/10.15517/mym.v4i1.21096>
- Lascano, A. (2013). *Aprovechamiento de los residuos insdustriales de uvilla (Physalis peruviana) para la elaboración de barras energéticas en la asociación artesanal Tierra Productiva*. (tesis de maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/8586>
- Manjarrez, Y., y Sosa, M. (2020). Análisis sensorial de una barra energética desarrollada a partir de cáscaras de piña (Ananas comosus). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5: 474-478.
- Minitab, R. (2021). *Diseño de mezcla - Minitab*. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/mixture-designs/what-is-a-mixture-design/>
- Márquez, M. (2014). *Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Núñez, R. (2009). *Evaluación de dos variedades de maní (Arachis Hypogaea) a dos temperaturas de tostado en la elaboración de mantequilla*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Olivera C, M., et al. (2012). Desarrollo de barras de cereales nutritivas y efecto del procesado en la calidad proteica. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(3): 18-25. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000300003>
- Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1): 227-232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

- Preciado, J., et al. (2021). Condiciones de mercado para la demanda nacional del sachá inchi en Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(1): 290-301. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7817699&info=resumen&idioma=ENG>
- Regalado, D.; Marin, K., y Montero, C. (2017). *Determinación de parámetros cinéticos en la combustión de raquis de banano y tallos de rosas* (tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. <http://200.12.169.19/bitstream/25000/11535/1/T-UCE-0017-0026-2017.pdf>
- Revista Líderes. (2020, January 23). Agroindustrias Ecuador G2 crece con el aceite de sachá inchi. <https://www.revistalideres.ec/lideres/industrializacion-sacha-inchi-planta-empresa.html>
- Rodríguez, J.; Vega, K., y Solorzano, S. (2021). Aceite de sachá inchi: potenciador de exportaciones no tradicionales en el Ecuador. *Revista Científica de Investigación Actualización del Mundo de Las Ciencias*, 5(1): 491-510. [https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/5.\(1\).ENE.2021.491-510](https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/5.(1).ENE.2021.491-510)
- Ruiz, C., et al. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de sachá inchi (*Plukenetia Volubilis* Y *Plukenetia Huayllabambana*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(1): 29-36.
- Salamanca, G., et al. (2015). Diseño experimental de mezclas como herramienta para la optimización de cremolácteos de mango. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 2(1): 16-24. <https://doi.org/10.23850/24220582.166>
- Santamaria, J.; Huerta, G., y Valentin, V. (2019). Quantifying the Effect of Construction Site Factors on Concrete Compressive Strength Using Designed Experiments. *International Journal of Experimental Design and Process Optimisation*, 6(1): 26. <https://doi.org/10.1504/ijedpo.2019.10018636>
- Song, Y., et al. (2021). Application of Mixture Design to Optimize Organic Composition of Carbohydrate, Protein, and Lipid on Dry Anaerobic Digestion of OFMSW: Aiming Stability and Efficiency. *Biochemical Engineering Journal*, 172: 108037. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108037>
- Steffolani, M., et al. (2017). Evaluation of Technological, Nutritional and Sensory Quality of Cereal Bars with Quinoa. *AgriScientia*, 34(2): 33-43. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v34.n2.19039>
- Torres, M.; Paz, K., y Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín Electrónico*, 02: 1-13. http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02_DETERMINACION_TAMAÑO_MUESTRA.pdf
- USDA Agricultural Research Service. (2012). *Food Surveys Research Group*. Beltsville Human Nutrition Research Center. <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/food-surveys-research-group/docs/main-service-page/>
- Valdiviezo, C.; Romero, L., y Bonilla, S. (2019). Caracterización del aceite de la semilla de sachá inchi (*Plukenetia Volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión. *La Granja*, 30(2): 77-87. <https://doi.org/10.17163/LGR.N30.2019.07>
- Verduga, K. (2019). *Elaboración de una barra energética a partir de sachá inchi* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19677>
- Zenteno, S. (2014). Barras de cereales energéticas y enriquecidas con otras fuentes vegetales *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2): 58-66. <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/678>