



## Optimización por diseño de mezclas de la aceptabilidad de una barra energética a base de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) evaluada en niños

Optimization by mixtures design of the acceptability of an energy bar from quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) evaluated in children

Yesica Caipo Infantes<sup>a,\*</sup>, Anghela Gutiérrez Figueroa<sup>a</sup>, Alejandro Julca Gonzales<sup>a</sup>

*a. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú*

\* Autor para correspondencia: [gimena\\_177@hotmail.com](mailto:gimena_177@hotmail.com) (J. Caipo).

Recibido 3 Febrero 2015; Aceptado 3 Mayo 2015

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue formular una barra energética de alta aceptabilidad formulada a base de quinua, kiwicha y cañihua; la evaluación de la aceptabilidad general de la barra energética fue realizada por 30 panelistas de cinco años de edad. Para la optimización se empleó un Diseño de Mezclas Simplex con Centroide Ampliado. En este sentido, diez tipos de barra energética fueron evaluadas, encontrando que se logra la optimización de la aceptabilidad general, cuando los componentes se encuentran en los siguientes rangos: 21% - 30% de quinua, 021% - 30% de kiwicha y 21% - 30% de cañihua.

**Palabras clave:** Optimización, diseño de mezclas, barra energética, granos andinos, evaluación sensorial infantil.

### ABSTRACT

The objective of this work was to develop a high acceptability energy bar made from quinoa, amaranth and cañihua; evaluating the overall acceptability of the energy bar it was conducted by 30 panelists of age five. Design Optimization for Simplex Mixing with Expanded centroid was used. Here, ten types of energy bar were evaluated and found that the optimization of overall acceptability is achieved when the components are in the following ranges: 21 % - 30 % quinoa, 021 % - 30% amaranth and 21 % - 30% cañihua.

**Keywords:** Optimization, mix design, energy bar, andean grains, infant sensory evaluation.

### 1. Introducción

En los últimos años, por la tendencia mundial de buscar una buena alimentación, se están produciendo distintos productos naturales, con alto aporte calórico y nutrientes necesarios para satisfacer las necesidades del hombre en cada etapa de su vida; es por eso que al mercado se ha incorporado alimentos de fácil acceso y consumo

como son las barras energéticas (Placentino, 2004). Éstas son alimentos funcionales; enriquecidos o fortificados; debido a los compuestos bioactivos del producto contribuyen al beneficio de la salud (Inarritu *et al.*, 2001).

La carencia del consumo de alimentos nutritivos ricos en: proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales son la causa fundamental de la

desnutrición en la niñez, ocasionando problemas serios en el aprendizaje como la falta de concentración en el ámbito escolar. Las barras nutricionales contribuyen a optimizar el rendimiento por su composición nutritiva, son muy prácticas, pesan poco, caben en cualquier bolsillo, son resistentes a altas temperaturas y al frío sin necesidad de un aislante térmico, se deshacen en la boca casi sin esfuerzo y se digieren fácilmente (Alimentación sana, 2013). Es por ello que se formularon barras energéticas a base de granos andinos (quinua, kiwicha y cañihua) utilizando como aglutinante miel de abeja, la cual contiene fructosa y glucosa (60 - 85%), además compuestos fenólicos, minerales, proteínas, aminoácidos libres, enzimas y vitaminas (Pérez *et al.*, 2007).

La quinua es una planta andina, que se originó en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia (Tapia, 2000). Según la FAO así como la OMS, han calificado a la quinua como un alimento único, por su altísimo valor nutricional que permite sustituir las proteínas de origen animal (MINAG, 2013), pues provee proteínas (12.6-17.8 % / 100 g) y aminoácidos esenciales para el ser humano como la metionina (18 mg/100 g), fenilamina (79 mg/100 g), treonina (40 mg/100 g), triptófano (16 mg/100g) y valina (76 mg/100g).

La kiwicha fue el sustento alimenticio más importante de la cultura Inca, Azteca y Maya. Ésta tiene una composición más equilibrada que los cereales convencionales, una mayor cantidad de proteínas de calidad (13.5 g/100g), calcio (236 mg/100), hierro (7.5 mg/100) y fósforo (453 mg/100) (Collazos *et al.*, 1996).

La cañihua es una planta nativa de la altiplanicie andina, originaria de los Andes del Sur del Perú y Bolivia (INIA-Puno, 2002). Se caracteriza por contener proteínas de alto valor biológico, mayor que el de la quinua, además de fibra. Es un alimento

considerado nutracéutico o alimento funcional, con un elevado contenido de proteínas (15.7 a 18.8%) y una proporción importante de aminoácidos esenciales, entre los que destaca la lisina (7.1%), aminoácido escaso en los alimentos de origen vegetal, que forma parte del cerebro humano.

El delineamiento y el análisis de mezclas es una metodología importante para el desarrollo y optimización de los productos alimenticios. Las proporciones de los diversos ingredientes de una mezcla no son variables independientes, ya que la suma de los ingredientes siempre es 100 % (Dingstad *et al.*, 2004).

Es así que el objetivo de este trabajo fue formular una barra energética de alta aceptabilidad en niños, con diferentes proporciones de granos (quinua, kiwicha y cañihua), empleando la metodología del Diseño de Mezclas; asimismo el producto se evaluó composicionalmente.

## 2. Materiales y métodos

### Formulación base para la elaboración de barras energéticas

La formulación consistió en los siguientes porcentajes: granos andinos 85% (quinua, kiwicha y cañihua solos o en mezcla) y miel de abeja 15 %. Las barras fueron elaboradas en el Laboratorio de Cereales y Leguminosas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo, siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 1.

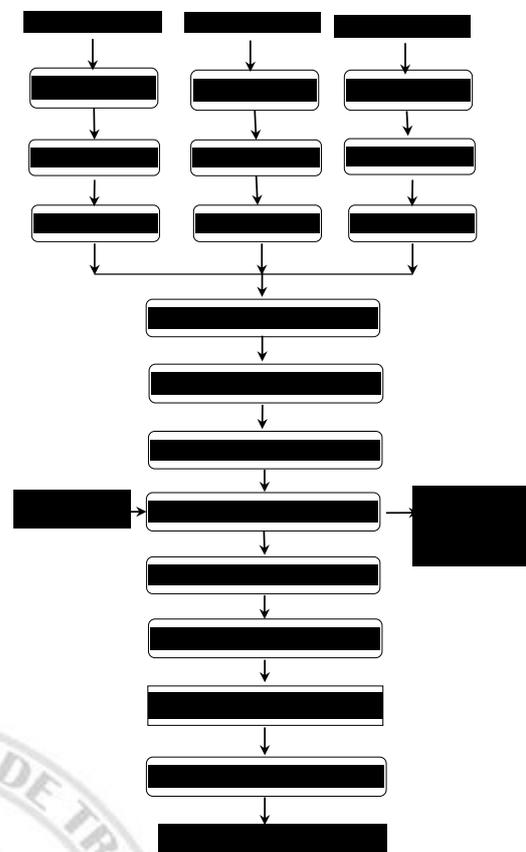
### Evaluación sensorial en niños

Esta evaluación fue realizada en dos oportunidades con 30 niños de 5-6 años del jardín infantil "San Andrés" de la ciudad de Trujillo, utilizando escala hedónica gráfica facial de 10 puntos, donde el máximo agrado correspondió a 10 puntos y el máximo desagrado a 1 punto (Wittig de Penna, 2001). Conjuntamente con las educadoras de

párvulos se entrenó, previo a las evaluaciones, a los niños durante dos semanas con todo tipo de alimentos, incluyendo la barra, en horarios de refrigerio, con el propósito que ésta les fuese familiar al momento de la evaluación.

**Análisis estadístico**

Se emplea el Diseño de mezclas Simplex con Centroide ampliado, del paquete estadístico STATSOFT STATISTICA 7.0 que nos da una adecuada representación estadística respecto al universo de mezclas, considerando una región experimental restringida.



**Figura 1.** Flujograma del proceso de elaboración de barras energéticas.

El diseño definido anteriormente corresponde a un triángulo que representa todo el universo de posibilidades de mezclas, donde el 1 equivale al 100% de la sustancia, 0 al 0% de la sustancia en la mezcla, ½ al 50%, y así sucesivamente.

Posteriormente se aplicó el análisis de varianza para ver la influencia de los modelos matemáticos ( $p < 0.05$ ) y se calculó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). El modelo escogido fue el que presentó mayor  $R^2$ .

**Análisis composicionales**

Se realizaron exámenes para la determinación del porcentaje de cenizas, fibra, grasas totales, humedad, proteínas y carbohidratos, estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Química bajo los métodos de referencia de las AOAC (2005).

**Análisis de costos unitarios**

Se evaluaron los costos unitarios de cada tratamiento, a partir de los precios por cantidad de cada ingrediente, sumándole el sueldo mínimo de un trabajador en el Perú, de acuerdo a Ley y otros gastos incurridos en la elaboración del producto.

La finalidad de este análisis fue comprobar que el producto puede ser comercializado en un amplio mercado y competir con otros productos de bajo precio.

**3. Resultados y discusión**

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y organoléptico realizado a las barras energéticas elaboradas en la presente tesis se plasman a continuación.

Kimmel *et al.* (1999) describe que la evaluación sensorial en niños requiere de un diseño introductorio específico a la metodología del test a utilizar y un entrenamiento más extenso. A la edad de 4 a 10 años los niños comprenden perfectamente el concepto de me gusta o no me gusta. También estudios han reflejado que los niños de 4 años o mayores pueden entender una escala hedónica de 10 puntos con expresiones faciales “prueba hedónica de caritas” y palabras que expresen gusto o disgusto. Como podemos observar en la Tabla 1, según los resultados arrojados de la

**Tabla 1.** Resultados de las evaluaciones realizadas a las barras energéticas cada tratamiento

T	Variables Independientes (%)			Respuesta	Datos de Control (%)						
	Quinoa	Kiwicha	Cañihua	Aceptabilidad general	Costo Unitario (S./ 25g)	Agua	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra	Hidratos de Carbono
1	0.85	0	0	2.73	1.65	6.50	4.14	11.45	5.23	4.08	68.60
2	0	0.85	0	3.67	1.82	7.95	4.84	12.98	6.04	4.76	65.83
3	0	0	0.85	4.93	1.82	8.28	6.22	15.37	3.61	8.76	64.82
4	0.43	0.43	0	4.47	1.74	2.86	3.76	12.21	5.63	4.42	67.22
5	0.43	0	0.43	3.93	1.74	3.94	4.61	13.41	4.42	6.42	66.71
6	0	0.43	0.43	5.47	1.82	10.70	4.36	14.18	4.82	6.76	65.33
7	0.57	0.14	0.14	6.07	1.71	2.85	8.18	12.36	5.09	4.97	67.51
8	0.14	0.57	0.14	7.93	1.80	5.95	4.25	13.12	5.50	5.31	66.13
9	0.14	0.141	0.57	8.73	1.80	3.34	4.97	14.32	4.29	7.31	65.62
10	0.28	0.28	0.28	9.33	1.77	2.77	7.34	13.27	4.96	5.87	66.42

escala hedónica aplicada, el tratamiento que tuvo mayor aceptabilidad por los panelistas fue el T10, el cual estuvo elaborado con un la mezcla de los tres componentes (quinua, kiwicha y cañihua) en proporciones iguales. Mientras que las muestras constituidas por un solo grano (T1, T2 y T3) son las menos aceptadas sensorialmente.

Los costos unitarios de cada muestra fluctúan entre 1.65 y 1.82 nuevos soles, lo cual nos indica que es un producto apto para ser comercializado en el mercado local y extranjero, ya que los precios de una barra energética (elaborada a partir de granos andinos) no son menores de 2.50 nuevos soles, generando así un buen margen de ganancia.

Las barras energéticas elaboradas tienen una composición equilibrada y un tanto diferente unas de otras pero en términos generales aportan cada 100 gramos: 64.82 – 68.60% de carbohidratos, pues los hidratos de carbono no deben encontrarse por debajo del 50% de la energía total (González *et al.*, 2006); 11.45–15.37% de proteínas, lo recomendable es consumir de 12–38g/día, acuerdo a la edad y peso (Salge, 2014). Contiene fibra de 4.08–8.76% (lo recomendable es una ingesta de más de 25 g/día). Grasa 3.61 - 6.04% (no debe sobrepasar de los 50 g/día). Cenizas de 3.76–8.18%. Agua de 2.77–

10.70%, estos resultados concuerdan con lo que indican Astiasarán y Martínez (2003) respecto a que el contenido de agua en los cereales no puede superar el 14%; factor que se toma en cuenta debido a que estas barras constan de 85% de cereales en su formulación.

#### Análisis de varianza

Se puede observar en la Tabla 2, que tanto el modelo lineal como el cuadrático poseen valores de  $p > 0.05$ , es decir no presentan significancia y por lo tanto no son válidos, sin embargo al observar los parámetros para el modelo cúbico, éstos expresan significancia puesto que el valor  $p < 0.05$  y el valor de  $R^2$  sobrepasa el 85% necesario (Hour *et al.*, 1980).

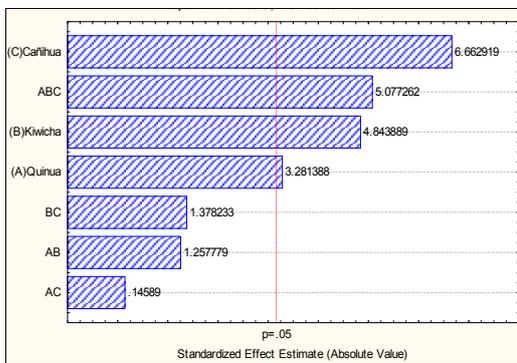
En la Tabla 3 tenemos a los coeficientes del modelo cúbico que es el que más se ajusta al comportamiento de la variable de respuesta, sin embargo se observa que el efecto de las interacciones entre dos de las variables no es significativa dado que sus valores de  $p$  son mayores que 0.05. A partir de estos datos se obtiene un modelo matemático, en el cual se consideran todas las variables:

$$\begin{aligned} \text{Acept. General} = & 2.56*Q + 3.78*K + \\ & 5.19*C + 4.94*Q*K + 0.57*Q*C + \\ & 5.41*K*C + 131.36*Q*K*C \\ & \text{(Ec. 1)} \end{aligned}$$

**Tabla 2.** Significancia de los modelos lineal, cuadrático y cúbico especial

	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p	R-Sqr	R-Sqr Adjusted
Linear	5.592	2	2.796	40.146	7	5.735	0.488	0.634	0.122	0.000
Quadratic	21.427	3	7.142	18.719	4	4.680	1.526	0.337	0.591	0.079
Special Cubic	16.767	1	16.767	1.951	3	0.650	25.779	0.0148	0.957	0.872
Total Adjusted	45.737	9	5.082							

Los coeficientes de la ecuación 1, tienen signos positivos, los que sugieren sinergia, indicando que los efectos combinados o de interacción generan respuestas mayores cuando se mezclan esos componentes (Cho *et al.*, 2009). Teniendo en cuenta que en este modelo para la aceptabilidad se consideró todas las variables y sus interacciones de las variables, y se obtuvo un R<sup>2</sup> Ajustado = 0.872, el cual es considerado alto, luego se realizó un gráfico de Pareto para distinguir de mejor manera cuáles de estas presentan significancia y cuáles no. A partir de esto se elaboró un modelo matemático final en el que solo se considera las variables que tienen influencia significativa.



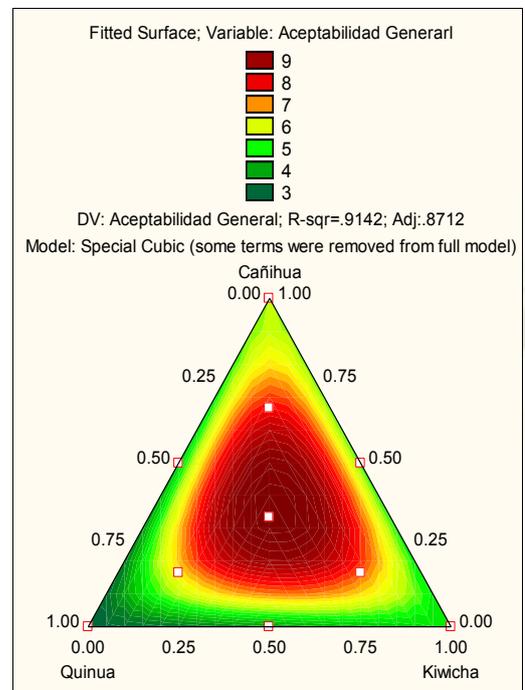
**Figura 2.** Diagrama de Pareto para la Variable Aceptabilidad General.

En la Tabla 3 y la Figura 1 se observa que la quinua, la kiwicha y la cañihua de manera independiente así como la combinación de las tres tienen influencia significativa ( $p < 0.05$ ), entonces se elaboró el modelo matemático final, el cual presenta un R<sup>2</sup> ajustado de 0.8712:

$$Aceptabilidad\ General = 2.83*Q + 4.58*K + 5.52*C + 153.2*Q*K*C$$

(Ec. 2).

El modelo matemático mostrado, para la aceptabilidad general después de eliminar las variables no significativas, es menos complejo y ha sido validado al tener un valor  $p=0.0013$  y un R<sup>2</sup> de 0.8712 (menos 0.0008 del anterior R<sup>2</sup>), pero que sobrepasa el 85% necesario, lo cual hace que este modelo sea válido.



**Figura 3.** Gráfico de Contorno para la Variable Aceptabilidad General.

En la Figura 2, la región de interés que indica la máxima aceptabilidad general está representada por la zona de color rojo (Cornell, 2002). De esta forma se observa que los límites para la proporción de granos en los que se presenta una mayor aceptabilidad son de 8% a 48% para la quinua, 9% a 54% para la kiwicha y 13% a 57% para la cañihua.

**Tabla 3.** Coeficientes de regresión para la aceptabilidad general en un modelo cúbico especial ( $R^2 = 0.9573$ ;  $R^2$  Ajustado = 0.872)

	Coeff.	Std.Err.	t(3)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Quinoa	3.0098	0.91722	3.281388	0.046377	0.0908	5.9288
(B)Kiwicha	4.4429	0.91722	4.843889	0.016787	1.5239	7.3619
(C)Cañihua	6.1114	0.91722	6.662919	0.006892	3.1924	9.0304
AB	6.8321	5.43187	1.257779	0.297468	-10.4545	24.1187
AC	0.7925	5.43187	0.145890	0.893260	-16.4942	18.0791
BC	7.4864	5.43187	1.378233	0.261933	-9.8002	24.7730
ABC	213.9055	42.13008	5.077262	0.014758	79.8288	347.9822

Cabe recalcar que dentro de estos límites se encuentran los valores máximos para aceptabilidad es decir de 8 a 9.

Luego se realizó una validación experimental preparando barras energéticas con mezclas entre los rangos determinados, encontrando que no hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la aceptabilidad general modelada y la aceptabilidad general experimental. Este caso de aplicación de la metodología de diseño de mezclas, permitió optimizar la aceptabilidad general y constituye una herramienta que permitirá satisfacer las exigencias del consumidor actual por nuevos y mejores productos alimenticios. La industria alimentaria, debe responder a estas exigencias optimizando la calidad sensorial de sus productos, lo que se traduce en maximizar el valor de la aceptación del alimento obtenido a partir de ingredientes determinados, sin que ello suponga un coste excesivo de la producción (Wittig de Pena y Villaroel, 2001).

#### 4. Conclusiones

Se evaluaron las proporciones de granos andinos (quinua, kiwicha y cañihua), en la elaboración de una barra energética, obteniendo mejor aceptabilidad general (realizada en niños) en la muestra que contenía igual proporción de granos (28.33%), la cual obtuvo la mayor calificación de 9.33 equivalente al carácter de “Me gusta mucho” (representado en una escala hedónica facial). El modelo más adecuado para

representar el comportamiento de la variable respuesta fue el modelo cúbico, ignorando las interacciones no significativas, con un valor de  $R^2=0.9142$  y un  $R^2$ ajustado=0.8712. Así mismo se obtuvo una barra energética con un costo unitario de 1.77 nuevos soles y en términos composicionales con 13.3% de proteína, 5.9% de fibra, 66.4% de carbohidratos, 5% de grasa, 7.3% de cenizas, 2.8% de humedad y 363.4% de kcal, todos estos valores hacen que sea un alimento equilibrado, nutritivo y de bajo costo en el mercado.

#### Referencias

- Alimentación Sana. 2013. La Importancia de las Proteínas. Disponible desde: <http://www.alimentacion-sana.org/informaciones/vejez/proteinas.html>
- AOAC Oficial Methods of Analyses. 2005. Assoc. Offic. Analyst Chemistry. 18va Edic. Washington DC.
- Astiasarán, I.; Martínez, J. 2003. Alimentos Composición y Propiedades., 2da. Edic. Editorial McGraw-Hill – Interamericana de España S.A. Distrito Federal – México.
- Cho, R.; Shin, S.; Choi, Y.; Kovach, J. 2009. Development of a multidisciplinary optimization process for designing optimal pharmaceutical formulations with constrained experimental regions. *International journal of advanced manufacturing technology* 44: 9-10.
- Collazos, C.; Alvistur, J.; Vásquez, G.; Quiroz, M.; Herrera, A.; Roca, N.; Hernández, F. 1996. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud.
- Cornell, J. 2002. Experiments with Mixtures: Design, Models and the Analysis of Mixtures. 3rd Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Dingstad, G.; Westad, F.; Naes, T. 2004. Three case studies illustrating the properties of ordinary least squares and partial least squares regression in different mixture models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 71, 33-45.
- González, J.; Sánchez, P.; Mataix, J. 2006. *Nutrición en el deporte: ayudas ergogénicas y dopaje*. Fundación Universitaria Iberoamericana. Ediciones Díaz de Santos. España.
- Hour, S.; Ahmed, P.; Rao, C. 1980. Formulation and sensory evaluation of a fruit punch containing watermelon juice. *Journal of Food Science*, 45: 809 – 813.
- Inarritu, M.; Vega L. 2001. Las barras de cereales como alimento funcional en los niños. *Revista Mexicana de Pediatría* 68(1): 8-12.
- INIA. 2004. Informe de Investigación. Project IFAD-NUS (I phase); Puno, Perú. Biodiversity International, Maccaresse. Roma, Italia.
- Kimmel, S.; Sigman - Grant, M.; Guinar, J. 1999. Sensory Testing with Young children, *food technology*, 48 (3): 92-99.
- Kimmel, S.; Sigman - Grant, M.; Guinar, J. 1999. Sensory Testing with Young children, *food technology*, 48 (3): 92-99.
- MINAG. 2013. Ministerio de Agricultura. Quinoa, principales aspectos de la cadena productiva. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de <http://minag.gob.pe/>
- Pérez R.; Iglesias M.; Pueyo E.; González M. y de Lorenzo C. 2007. Amino Acid Composition and Antioxidant Capacity of Spanish Honeys. *Journal Agric. Food Chem*, 55: 360-365.
- Placentino, C. 2004. Barras de cereal: ¿una opción saludable? Departamento de Dietética y Alimentación Hospital de Clínicas José de San Martín.
- Tapia, M. 2000. *Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación*. 2da Ed. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Salge, J. 2014. *Nutrición y usted*. 3ra Edición. Benjamin-Cummings Publishing Company. Boston, USA.
- Wittig de Penna, E. 2001. Evaluación Sensorial. Una metodología actual para tecnología de alimentos. Universidad de Chile. Disponible en: [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/wittinge\\_01/](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge_01/)
- Wittig de Penna, E.; Villaroel, M. 2001. *Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud; Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos*. Editora e Liuraria LTDA. Varela.

