

Leucaena leucocephala (Lam) of Wit and *Moringa oleifera* Lam: Species with high protein value for the release of bioactive peptides

Leucaena leucocephala (Lam) de Wit and *Moringa oleifera* Lam: Especies con alto valor proteico para la liberación de péptidos bioactivos

León-Espinosa, Erika B.; Cruz-Monterrosa, Rosy G.*; Díaz-Ramírez, Mayra; Jiménez-Guzmán, Judith; García-Garibay, Mariano; Miranda de la Lama, Genaro; Hernández-Jabalera, Anaid; Mena-Martínez, María E.; Rayas-Amor Adolfo A.

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. México.

*Autor de correspondencia: r.cruz@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: to evaluate the high nutritional value of *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* to be used as a source of protein to produce protein concentrates, isolates or hydrolysates.

Design/methodology/approach: A search of the bioactive peptides obtained through *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* was carried out in different databases such as Scopus, Elsevier, NCBI, among others.

Results: The different studies carried out provide information that suggests that they can give rise to fragments susceptible to the release of peptides with various activities, which could be an appropriate strategy to produce bioactive peptides with bio-functional activity. However, further research is required on the characteristics of the fragments released to determine the mechanisms and properties of the sequences responsible for the various activities.

Study limitations/implications: The study of the peptides obtained through *L. leucocephala* and *M. oleifera*, so far is limited, so it is necessary to implement methodologies for obtaining, purification and application in food matrices.

Findings/conclusions: According to the literature, the peptides have been shown to exercise biological and functional activities, in the organism and food matrices respectively. The biological activities that they can present are antioxidant, antihypertensive, anti-cancer, immunomodulatory.

Keywords: hydrolyzed, bioactive peptides, hydrolysis, Moringa, Leucaena

RESUMEN

Objetivo: Divulgar el valor nutricional de *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleifera* para ser utilizadas como fuente de proteína en la producción de concentrados, aislados o hidrolizados proteicos.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una búsqueda de los péptidos bioactivos obtenidos de *L. leucocephala* y *M. oleifera*, en diferentes fuentes científicas.

Resultados: Los diferentes estudios realizados sobre estas especies, sugieren que pueden dar lugar a fragmentos susceptibles para la liberación de pépticos con diversas actividades, lo que podría ser una estrategia adecuada para la producción de péptidos bioactivos con actividad bio-funcional.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El estudio de los péptidos obtenidos a través de *Leucaena* y *Moringa*, hasta el momento es limitado, por lo que es necesario implementar metodologías para su obtención, purificación y aplicación en matrices alimentarias.

Hallazgos/conclusiones: Los péptidos tienen actividades biológicas funcionales, en el organismo y matrices alimentarias respectivamente, tales como la antioxidante, antihipertensiva, anticancer, inmunomoduladora; sin embargo, se requiere más investigación sobre las características de los fragmentos liberados para determinar los mecanismos y propiedades de las secuencias responsables de las diversas actividades.

Palabras clave: hidrolizado, péptidos bioactivos, hidrólisis, *Moringa*, *Leucaena*

partir de éstas se pueden obtener hidrolizados proteicos (HP) que se definen como una mezcla de polipéptidos, oligopéptidos y aminoácidos que se producen a partir de diversas fuentes proteicas mediante hidrólisis parcial enzimática, química, fermentación microbiana, fraccionamiento o enriquecimiento de péptidos (Schaafsma, 2009). Los HP, son ricos en péptidos y además son muy apreciados como ingredientes en la formulación de diversos alimentos ya que presentan un alto valor nutricional y son digeridos y absorbidos de modo más eficiente que la proteína nativa (Gonçalves *et al.*, 2010) ya que existen sistemas de transporte específicos para péptidos a través de la membrana de las células intestinales (Li-Chan, 2015).

Los HP presentan, en ocasiones, mejores propiedades biológicas y tecno funcionales (solubilidad, capacidad emulsionante y gelificante) que las proteínas de las que proceden (De Leo *et al.*, 2009). Los HP tienen diversas aplicaciones en nutrición humana al emplearse como ingredientes en bebidas energéticas, en productos para deportistas, para dietas de control de peso o dirigidos a ancianos (Frokjaer, 1994; Schaafsma, 2009), así como para la alimentación clínica de personas con malnutrición (Nesse *et al.*, 2014) o desórdenes de la digestión, absorción y del metabolismo de aminoácidos (Clemente, 2000; McCarthy *et al.*, 2013).

Las características de los hidrolizados que se obtienen están determinadas evidentemente por el uso al que estén destinados, así como por el grado de hidrólisis (GH), es decir, el número de enlaces peptídicos rotos en relación a la proteína original, que va a determinar en gran medida

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 20 años los hábitos dietéticos han variado. Actualmente, no sólo se trata de cubrir necesidades y evitar alimentos perjudiciales, sino de buscar aquellos que influyan de manera positiva en nuestra salud y ayuden a prevenir enfermedades. Se ha demostrado que una alimentación, rica en grasa animal saturada y productos refinados, se relaciona con alta morbilidad y mortalidad ocasionadas por enfermedades cardiovasculares, cáncer o diabetes; en contraste a este panorama, también se ha observado que personas que siguen dietas con un alto contenido en alimentos de origen vegetal (fabáceas, frutas y verduras) tienen un riesgo más bajo de presentar enfermedades cardiovasculares y cáncer que personas que seguían dietas pobres en estos alimentos (Illanes, 2015). En los últimos años, los hábitos de consumo en los países desarrollados han cambiado debido a mayor conciencia del consumidor respecto a la relación entre dieta y salud. De hecho, los consumidores en la actualidad ven los alimentos no solo como un medio para satisfacer el hambre y proporcionar los nutrientes necesarios, sino como un modo de mejorar el bienestar físico y la salud (Siró, Kápolna, Kápolna, & Lugasi, 2008). Por tal motivo, la industria alimentaria ha dirigido gran parte de sus esfuerzos al desarrollo de alimentos funcionales, que contienen ingredientes bioactivos desarrollados tecnológicamente, y que están encaminados a ejercer un efecto benéfico específico sobre una o más funciones fisiológicas del organismo, más allá de sus efectos nutricionales (Bataller Leiva & Esther, 2015). De acuerdo a lo que se ha mencionado anteriormente, es necesario estudiar más componentes que puedan fungir como ingredientes funcionales además de los probióticos y nutraceuticos que se encuentran ya en el mercado, tales como los hidrolizados proteicos.

Las proteínas de origen alimentario constituyen una alternativa eficiente y económica para la producción de ingredientes/alimentos funcionales. A

las características restantes del hidrolizado. El GH final está determinado por las condiciones utilizadas, es decir, concentración de sustrato, relación enzima/sustrato, tiempo de incubación y condiciones fisicoquímicas, así como el pH y la temperatura; otro factor que también lo va a determinar es la naturaleza de la actividad de la enzima, debido a su actividad específica y tipo de actividad (Vioque & Millán, 2005).

Esta estrategia implica la hidrólisis del sustrato proteico mediante una o más enzimas en las condiciones de temperatura y pH óptimas para cada proteasa, ocasionando la liberación de péptidos y aminoácidos libres (Power et al., 2013). Es el procedimiento más común, rápido y seguro de producir hidrolizados proteicos con actividad biológica (de Castro y Sato, 2015). En función de su grado de hidrólisis, los hidrolizados proteicos pueden clasificarse en hidrolizados de bajo grado de hidrólisis (<10%), que presentan mejores capacidades espumante y emulsionante que las proteínas parentales; hidrolizados de grado de hidrólisis variable, que se emplean como saborizantes, e hidrolizados de elevado grado de hidrólisis (>10%) que, generalmente, se emplean como ingredientes en suplementos alimentarios, fórmulas infantiles hipoalergénicas o fórmulas destinadas a personas con necesidades nutricionales especiales (Vioque et al., 2000).

En los últimos años las investigaciones están dirigidas al estudio de las proteínas y sus productos. Algunos péptidos obtenidos de diferentes fuentes alimenticias han mostrado efectos marcadamente positivos a la salud al funcionar como antihipertensivos, antioxidantes, anticancerígenos, antimicrobianos y anticariogénicos, por mencionar algunos ejemplos, además de que tienen la capacidad de regular diversos procesos fisiológicos, alterando el metabolismo celular y actuando como hor-

monas o neurotransmisores a través de interacciones hormona-receptor y cascadas de señalización (Betancur-Ancona, Sosa-Espinoza, Ruiz-Ruiz, Segura-Campos, & Chel-Guerrero, 2013).

Las proteínas de origen alimentario constituyen una alternativa eficiente y económica para la producción de ingredientes y alimentos funcionales. Cualquier proteína independientemente de sus funciones y calidad nutricional puede ser empleada como fuente de péptidos con actividad biológica. De esta forma, se puede establecer la generación de biopéptidos como un nuevo criterio para establecer el valor de una proteína. Entre las proteínas alimentarias precursoras de biopéptidos, destacan las lácteas como la caseína y el suero, además de otras como las de huevo, pollo y pescado, de las cuales se han obtenido péptidos con actividad antihipertensiva, opioide, antimicrobiana y antitrombótica (Darewicz, Dziuba, & Minkiewicz, 2007). Sin embargo, el uso de estas fuentes implica mayores costos, aumento de la demanda en la producción y nuevas tecnologías que restringen la cantidad de materia a utilizar, siendo este último criterio una limitante para la obtención de biopéptidos. Alternativamente a las proteínas animales, las especies de la familia botánica Fabaceae (antes leguminosas), representan un producto económico y altamente sostenible debido a su alta biodisponibilidad. Entre estas especies están la alfalfa (*Medicago sativa* L.), el trébol (*Trifolium* sp.), el altramuz (*Lupinus albus*), haba (*Vicia faba* L.), judías y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cacahuetes (*Arachis hypogaea* L.), soya (*Glycine max* L.), garbanzos (*Cicer arietinum* L.) y lentejas (*Lens culinaris* L.), que representan un alimento importante en la dieta de la población mundial, en especial en los países menos desarrollados donde es una fuente indispensable de proteínas (Bouchenak & Lamri-Senhadji, 2013).

En México ha crecido el interés por el aprovechamiento de los residuos agroindustriales ricos en proteínas, principalmente semillas o aquellos que son generados durante los procesos de molienda de diversos granos. Estas harinas o residuos son usadas generalmente para la alimentación del ganado; sin embargo, representan uno de los reservorios de proteínas con mayor potencial para la industria alimentaria. El interés en el aprovechamiento de estas proteínas ha impulsado el desarrollo de procesos de obtención y mejora de las mismas mediante la producción

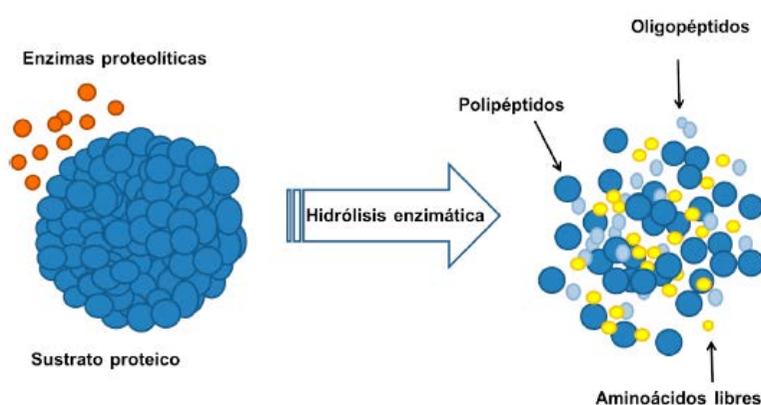


Figura 1. Producción de hidrolizados proteicos mediante hidrólisis enzimática.

de concentrados y aislados proteicos (Vioque, Alaiz, & Girón-Calle, 2012). Existen numerosos estudios *in vitro* que demuestran las distintas actividades biológicas que ejercen los hidrolizados proteicos, fracciones peptídicas o péptidos de las fabáceas. Por ejemplo, los péptidos RQSHFANAQP, DHG y VGDI obtenidos por hidrólisis enzimática de las proteínas de garbanzo, han demostrado tener actividad antioxidante (Ghribi *et al.*, 2015), algunos otros obtenidos de soya y lenteja exhiben actividad antihipertensiva, antiinflamatoria y antioxidante (Boschin, Scigliuolo, Resta, & Arnoldi, 2014). Otra de las fuentes potenciales es el frijol que ha demostrado tener efectos antifúngicos, actividad antihipertensiva, antioxidante (Yea *et al.*, 2014). Si bien las leguminosas más comunes están siendo investigadas, en México hay especies de interés las cuales únicamente se utilizan para alimentación del ganado, tal es el caso de *Moringa oleífera* (originaria de la india) y *Leucaena sp.*, que pueden ser una fuente potencial para la obtención de péptidos bioactivos.

Las plantas de *Moringa* (Moringaceae), es una de las plantas más populares en el sur de Asia, es conocido como árbol milagroso debido a cada una de las partes de la planta, incluidas las raíces, hojas, vainas, flores y semillas que contienen un alto valor nutricional (Saucedo-Pompa *et al.*, 2018). *M. oleífera* fue introducida con fines ornamentales, se encuentra abundantemente en la costa del pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, incluyendo el sur de la península de Baja California (Olson & Carlquist, 2001). Estudios previos han reportado el alto valor nutricional y los beneficios a la salud de los compuestos bioactivos, lo que conlleva a que puedan utilizar-

se para la innovación de productos alimenticios funcionales y para otras aplicaciones alimentarias industriales (Oyeyinka & Oyeyinka, 2018). Sus beneficios podrían atribuirse a la composición de compuestos fenólicos, o a la interacción con algún otro componente de la planta, los cuales muestran actividad antioxidante tanto *in vitro* como *in vivo* (Rodríguez-Pérez, Quirantes-Piné, Fernández-Gutiérrez, & Segura-Carretero, 2015a). Debido a la calidad y cantidad de compuestos bioactivos de las plantas de moringa, éstas podrían utilizarse en varias tecnologías de alimentos como agentes antimicrobianos, factores antioxidantes y fortificantes de alimentos. El Cuadro 1 muestran los diferentes compuestos bioactivos de *Moringa* y su potencial como producto o fortificante alimenticio y sus beneficios a la salud.

En lo que se refiere a la obtención de péptidos bioactivos de *M. oleífera*, se ha reportado que el contenido de proteína en las semillas está en un rango de 22 a 36.7 g de proteína 100 g⁻¹ de peso seco (Gopalakrishnan, Doriya, & Santhosh Kumar, 2016; Nouman *et al.*, 2016). Adicionalmente se han identificado péptidos alcalinos con un rango de 6 a 16 kDa y lectinas

con propiedades aglutinantes para purificación de agua (Hassan Bichi, n.d.). Recientemente, González Garza *et al.* (2017) reportaron un incremento en propiedades nutracéuticas como la antioxidante, antihipertensiva y antidiabética obtenidas de la digestión con pepsina-tripsina; este incremento fue asociado con la composición de aminoácidos y el amplio espectro de péptido generados por el posible efecto sinérgico de estas enzimas (Saucedo-Pompa *et al.*, 2018). Por otra parte, Aderinola *et al.* (2018) demostraron que los hidrolizados de moringa tratados con tripsina y fraccionados a pesos moleculares de 3 y 5 Kda, exhibieron propiedades antioxidantes con diferentes métodos como DPPH (Difenil-picrilhidrazilo), actividad atrapadora del radical hidroxilo y quelación de hierro y cobre, así como actividad antihipertensiva e inhibición de la renina. Sin embargo, muestran que los hidrolizados no tienen la capacidad de inhibir el radical DPPH ya que solo lo captaron en un rango del 4%. Similarmente, en otros estudios, se observó que los hidrolizados no detectan actividad contra el radical DPPH (Akinyede, Girgih, Osundahunsi, Fagbemi, & Aluko, 2017). Esto puede confirmar que la habilidad de los hidrolizados

Cuadro 1. Compuestos funcionales de *Moringa oleífera* y su actividad funcional.

Componente	Actividad funcional o tecnológica	Referencia
Compuestos fenólicos	Actividad antioxidante	(Pinto <i>et al.</i> , 2015)
	Propiedades antiinflamatorias	(Rodríguez-Pérez, Quirantes-Piné, Fernández-Gutiérrez, & Segura-Carretero, 2015b)
Carbohidratos	Efecto inmunomodulador	(Anudeep, Prasanna, Adya, & Radha, 2016)
	Actividad hipoglicémica	(Chen, Zhang, Huang, Fu, & Liu, 2017)
Proteínas	Actividad antimicrobiana	(Shebek <i>et al.</i> , 2015)
	Actividad antioxidante	(Nouman <i>et al.</i> , 2016)
	Actividad antihipertensiva Propiedades antidiabéticas	(González Garza <i>et al.</i> , 2017)

proteicos en captar los radicales depende de factores como la especificidad de la enzima, composición de aminoácidos y el tamaño del péptido (Pownall, Udenigwe, & Aluko, 2010). En los estudios más recientes sobre hidrolizados y fracciones peptídicas de moringa obtenidos con Alcalasa se demostró que además de mostrar actividad antioxidante por diversos métodos, también exhiben propiedad inhibidora de la enzima convertidora de angiotensina e inhibición de la renina (Aderinola et al., 2019).

En relación con *Leucaena leucocephala* (Fabaceae) es una especie forrajera originaria de América Central y la península de Yucatan en México (Nehdi et al., 2014) capaz de producir rendimientos superiores a 300 Kg. de proteína cruda ha año⁻¹. Las hojas jóvenes, semillas y vainas se utilizan en ensaladas o para preparar platillos en Indonesia, India y Tailandia. *L. leucocephala* genera una goma similar a la arábica la cual se utiliza en helados, cosméticos y en la industria farmacéutica (Lim, 2012). Otros estudios han mostrado que las semillas contienen aceite que consta principalmente de ácido oleico y linoleico. También se ha reportado que contienen un antinutriente, la mimosina un aminoácido libre que puede provocar intoxicaciones en los animales cuando la consumen en cantidades excesivas (Soedarjo & Borthakur, 1998). Por otra parte, también se ha demostrado que las semillas muestran actividad antiinflamatoria y antidiabética (Aljarah & Hameed, 2018). Si bien se han reportado las diversas actividades de los compuestos funcionales de la leucalena, en el ámbito de los péptidos bioactivos la investigación es escasa. Uno de los reportes que se enfoca en la obtención de concentrados proteicos es el realizado por Farinu et al. (1992), el cual mostró un contenido de proteína del 65.91% y aminoácidos esenciales como lisina, histidina, arginina, isoleucina, leucina. Además, informó que la proteína de su semilla mostró buena digestibilidad *in vivo* comparado con la proteína de soya.

El estudio más reciente muestra las propiedades funcionales de su concentrado proteico y cómo influye la separación de los péptidos por ultrafiltración de membranas. Se demostró que la proteína implicada es un polipéptido compuesto de una serie de aminoácidos con un peso molecular entre 8000 y 1000 Da. Dicho polipéptido puede tener distintas aplicaciones dependiendo de sus propiedades funcionales como absorción de agua, capacidad de absorción de aceite, poder emulsificante y poder de espuma.

CONCLUSIONES

Dadas las propiedades funcionales de estas dos especies, se pretende que en mediano plazo se incluyan concentrados en alimentos como aditivos en salsas, postres y bebidas (Rosida, Hapsari, & Hidayah, 2016), por lo que es importante generar proyectos de investigación y divulgación que estén ligados a determinar las propiedades funcionales y biológicas de las proteínas con mayor precisión, con el fin de que puedan ser destinados al sector salud o a la industria alimentaria.

LITERATURA CITADA

- Aderinola, T. A., Fagbemi, T. N., Enujiugha, V. N., Alashi, A. M., & Aluko, R. E. (2018). Amino acid composition and antioxidant properties of *Moringa oleifera* seed protein isolate and enzymatic hydrolysates. *Heliyon*, 4(10), e00877. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00877>
- Aderinola, T. A., Fagbemi, T. N., Enujiugha, V. N., Alashi, A. M., & Aluko, R. E. (2019). *In vitro* antihypertensive and antioxidative properties of trypsin-derived *Moringa oleifera* seed globulin hydrolyzate and its membrane fractions. *Food Science and Nutrition*, 7(1), 132–138. <http://doi.org/10.1002/fsn3.826>
- Akinyede, A. I., Girgih, A. T., Osundahunsi, O. F., Fagbemi, T. N., & Aluko, R. E. (2017). Effect of Membrane Processing on Amino Acid Composition and Antioxidant Properties of Marble Vine Seed (*Dioclea reflexa*) Protein Hydrolysate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12917. <http://doi.org/10.1111/jfpp.12917>
- Aljarah, A. K., & Hameed, I. H. (2018). *In Vitro* Anti-diabetic Properties of Methanolic Extract of *Thymus vulgaris* Using α -glucosidase and α -amylase Inhibition Assay and Determination of its Bioactive Chemical Compounds. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 9(3), 388. <http://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.00241.3>
- Anudeep, S., Prasanna, V. K., Adya, S. M., & Radha, C. (2016). Characterization of soluble dietary fiber from *Moringa oleifera* seeds and its immunomodulatory effects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 656–662. <http://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.06.013>
- Bataller Leiva, E., & Esther. (2015). Búsqueda de nuevos ingredientes bioactivos en obesidad para el diseño de nuevos alimentos funcionales, en base a la demanda del consumidor. Retrieved from <http://roderic.uv.es/handle/10550/49740>
- Betancur-Ancona, D., Sosa-Espinoza, T., Ruiz-Ruiz, J., Segura-Campos, M., & Chel-Guerrero, L. (2013). Enzymatic hydrolysis of hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein concentrates and its effects on biological and functional properties. *International Journal of Food Science & Technology*, n/a-n/a. <http://doi.org/10.1111/ijfs.12267>
- Boschin, G., Scigliuolo, G. M., Resta, D., & Arnoldi, A. (2014). ACE-inhibitory activity of enzymatic protein hydrolysates from lupin and other legumes. *Food Chemistry*, 145, 34–40. <http://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.07.076>
- Bouchenak, M., & Lamri-Senhadj, M. (2013). Nutritional Quality of Legumes, and Their Role in Cardiometabolic Risk Prevention:



- A Review. *Journal of Medicinal Food*, 16(3), 185–198. <http://doi.org/10.1089/jmf.2011.0238>
- Chen, C., Zhang, B., Huang, Q., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Moringa oleifera* Lam. leaves: Characterization and hypoglycemic activity. *Industrial Crops and Products*, 100, 1–11. <http://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.01.042>
- Darewicz, M., Dziuba, J., & Minkiewicz, P. (2007). Computational Characterisation and Identification of Peptides for in silico Detection of Potentially Celiac-Toxic Proteins. *Food Science and Technology International*, 13(2), 125–133. <http://doi.org/10.1177/1082013207077954>
- Farinu, G. O., Ajiboye, S. O., & Ajao, S. (1992). Chemical composition and nutritive value of leaf protein concentrate from *Leucaena leucocephala*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59(1), 127–129. <http://doi.org/10.1002/jsfa.2740590119>
- Ghribi, A. M., Sila, A., Przybylski, R., Nedjar-Arroume, N., Makhlouf, I., Blecker, C., ... Besbes, S. (2015). Purification and identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysate of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein concentrate. *Journal of Functional Foods*, 12, 516–525. <http://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.12.011>
- Gonçalves, N., Vioque, J., Clemente, a., Sánchez-Vioque, R., Bautista, J., & Millán, F. (2010). Obtención y caracterización de aislados proteicos de colza. *Grasas y Aceites*, 48(5), 282–289. <http://doi.org/10.3989/gya.1997.v48.i5.804>
- González Garza, N. G., Chuc Koyoc, J. A., Torres Castillo, J. A., García Zambrano, E. A., Betancur Ancona, D., Chel Guerrero, L., & Sinagawa García, S. R. (2017). Biofunctional properties of bioactive peptide fractions from protein isolates of moringa seed (*Moringa oleifera*). *Journal of Food Science and Technology*, 54(13), 4268–4276. <http://doi.org/10.1007/s13197-017-2898-8>
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K., & Santhosh Kumar, D. (2016). *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. <http://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>
- Hassan Bichi, M. (n.d.). A Review of the Applications of *Moringa oleifera* Seeds Extract in Water Treatment. Retrieved from www.iiste.org
- Hernández-Jabalera, A., Cortés-Giraldo, I., Dávila-Ortiz, G., Vioque, J., Alaiz, M., Girón-Calle, J., ... Jiménez-Martínez, C. (2015). Influence of peptides–phenolics interaction on the antioxidant profile of protein hydrolysates from *Brassica napus*. *Food Chemistry*, 178, 346–357. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.063>
- Illanes, A. (2015). Editorial Alimentos funcionales y biotecnología Functional foods and biotechnology. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 1, 5–8. <http://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997>
- Li-Chan, E. C. (2015). Bioactive peptides and protein hydrolysates: research trends and challenges for application as nutraceuticals and functional food ingredients. *Current Opinion in Food Science*, 1, 28–37. <http://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.09.005>
- Lim, T. K. (2012). *Leucaena leucocephala*. In *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 754–762). Dordrecht: Springer Netherlands. http://doi.org/10.1007/978-94-007-1764-0_86
- Nehdi, I. A., Sbihi, H., Tan, C. P., & Al-Resayes, S. I. (2014). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit seed oil: Characterization and uses. *Industrial Crops and Products*, 52, 582–587. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.021>
- Nouman, W., Anwar, F., Gull, T., Newton, A., Rosa, E., & Domínguez-Perles, R. (2016). Profiling of polyphenolics, nutrients and antioxidant potential of germplasm's leaves from seven cultivars of *Moringa oleifera* Lam. *Industrial Crops and Products*, 83, 166–176. <http://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.12.032>
- Olson, M. E., & Carlquist, S. (2001). Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 135(4), 315–348. <http://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2001.tb00786.x>
- Oyeyinka, A. T., & Oyeyinka, S. A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17, 127–136. <http://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.002>
- Pinto, C. E., Farias, D. F., Carvalho, A. F., Oliveira, J. T., Pereira, M. L., Grangeiro, T. B., ... Vasconcelos, I. M. (2015). Food safety assessment of an antifungal protein from *Moringa oleifera* seeds in an agricultural biotechnology perspective. *Food and Chemical Toxicology*, 83, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.fct.2015.05.012>
- Pownall, T. L., Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2010). Amino Acid Composition and Antioxidant Properties of Pea Seed (*Pisum sativum* L.) Enzymatic Protein Hydrolysate Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8), 4712–4718. <http://doi.org/10.1021/jf904456r>
- Rodríguez-Pérez, C., Quirantes-Piné, R., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2015a). Optimization of extraction method to obtain a phenolic compounds-rich extract from *Moringa oleifera* Lam leaves. *Industrial Crops and Products*, 66, 246–254. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.002>
- Rodríguez-Pérez, C., Quirantes-Piné, R., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2015b). Optimization of extraction method to obtain a phenolic compounds-rich extract from *Moringa oleifera* Lam leaves. *Industrial Crops and Products*, 66, 246–254. <http://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.01.002>
- Rosida, D. F., Hapsari, N., & Hidayah, T. (2016). Functional Properties of *Leucaena Leucocephala* Protein Concentrates Resulted Separation of Ultrafiltration Membrane. *MATEC Web of Conferences*, 58, 01012. <http://doi.org/10.1051/mateconf/20165801012>
- Saucedo-Pompa, S., Torres-Castillo, J. A., Castro-López, C., Rojas, R., Sánchez-Alejo, E. J., Ngangyo-Heya, M., & Martínez-Ávila, G. C. G. (2018). *Moringa* plants: Bioactive compounds and promising applications in food products. *Food Research International*, 111(May), 438–450. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.062>
- Schaafsma, G. (2009). Safety of protein hydrolysates, fractions thereof and bioactive peptides in human nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(10), 1161–1168. <http://doi.org/10.1038/ejcn.2009.56>
- Shebek, K., Schantz, A. B., Sines, I., Lauser, K., Velegol, S., & Kumar, M. (2015). The Flocculating Cationic Polypeptide from *Moringa oleifera* Seeds Damages Bacterial Cell Membranes by Causing Membrane Fusion. *Langmuir*, 31(15), 4496–4502. <http://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b00015>
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A

- review. *Appetite*, 51(3), 456–467. <http://doi.org/10.1016/J.APPET.2008.05.060>
- Soedarjo, M., & Borthakur, D. (1998). Mimosine, a toxin produced by the tree-legume leucaena provides a nodulation competition advantage to mimosine-degrading rhizobium strains. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(12), 1605–1613. [http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00180-6](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00180-6)
- Vioque, J., Alaiz, M., & Girón-Calle, J. (2012). Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food Chemistry*, 132(1), 67–72. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.033>
- Vioque, J., & Millán, F. (2005, December 1). Los hidrolizados proteicos en alimentación: Suplementos alimenticios de gran calidad funcional y nutricional. Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación. Retrieved from <http://digital.csic.es/handle/10261/5750>
- Yea, C. S., Ebrahimpour, A., Hamid, A. A., Bakar, J., Muhammad, K., & Saari, N. (2014). Winged bean [*Psophorcarpus tetragonolobus* (L.) DC] seeds as an underutilised plant source of bifunctional proteolysate and biopeptides. *Food & Function*, 5(5), 1007. <http://doi.org/10.1039/c3fo60667h>

