



FRONTERA

Bioteconológica



Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala - No. 21 Enero - abril 2022

FUENTES DE PROTEÍNAS
NO CÁRNICAS PARA
CONSUMO HUMANO,
UNA NUEVA TENDENCIA
ALIMENTARIA

LA RESISTENCIA A
ANTIBIÓTICOS ¿CÓMO
SE CONVIRTIÓ EN UN
PROBLEMA DE SALUD
PÚBLICA?



EL PICUDO (*SCYPHOPHORUS
ACUPUNCTATUS*) UN GRAN ENEMIGO
DEL AGAVE EN MÉXICO

NOMENCLATURA COMÚN Y
CIENTÍFICA DE LA CHÍA: UNA
ICONOGRAFÍA DESDE TIEMPOS
PREHISPÁNICOS HASTA
NUESTROS DÍAS

LOS CUATRO ALIMENTOS
CON MAYOR FRECUENCIA DE
ALERGENICIDAD, SUS PRINCIPALES
ALÉRGENOS

Directorio Institucional

IPN

ARTURO REYES SANDOVAL
DIRECTOR GENERAL

JUAN MANUEL CANTÚ VÁZQUEZ
SECRETARIO GENERAL

LORENZO JAVIER REYES TRUJILLO
SECRETARIO ACADÉMICO

LAURA ARREOLA MENDOZA
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

RICARDO MONTERRUBIO LÓPEZ
SECRETARIO DE INNOVACIÓN E INTEGRACIÓN SOCIAL

ANA LILIA CORIA PÁEZ
SECRETARIO DE SERVICIOS EDUCATIVOS

JAVIER TAPIA SANTOYO
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

MARÍA DEL ROCÍO GARCÍA SÁNCHEZ
SECRETARIA EJECUTIVA DEL PATRONATO DE OBRAS E
INSTALACIONES

MARÍA DE LOS ANGELES JASSO CISNEROS
ABOGADO GENERAL

MODESTO CÁRDENAS GARCÍA
PRESIDENTE DEL DECANATO

CIBA IPN

DIANA VERÓNICA CORTÉS ESPINOSA
DIRECTORA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

MARÍA DEL CARMEN CRUZ LÓPEZ
SUBDIRECTORA ACADÉMICA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

ERIK OCARANZA SÁNCHEZ
SUBDIRECTOR DE VINCULACIÓN DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

MIGUEL ÁNGEL PLASCENCIA ESPINOSA
SUBDIRECTOR DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

VÍCTOR ERIC LÓPEZ Y LÓPEZ
EDITOR EN JEFE

GONZALO PÉREZ ARAIZA
SOPORTE TÉCNICO

PEDRO RAMÍREZ CALVA
DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN FRONTERA BIOTECNOLÓGICA

ISMAEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ
DESARROLLO WEB

LILIA ESPINDOLA RIVERA
COORDINADORA ADMINISTRATIVA

CINTILLO LEGAL

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 10, número 21, enero - abril 2022, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 57296000, Ext. 87816. <http://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/>, Editor responsable: Dr. Víctor Eric López y López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-120313501700-203, ISSN: 2448-8461, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Dr. Víctor Eric López y López., Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, fecha de última modificación, 26 de abril de 2022.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

CONTENIDO

MENSAJE EDITORIAL	3
FUENTES DE PROTEÍNAS NO CÁRNICAS PARA CONSUMO HUMANO, UNA NUEVA TENDENCIA ALIMENTARIA	4
LA RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS ¿CÓMO SE CONVIRTIÓ EN UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA?	12
NOMENCLATURA COMÚN Y CIENTÍFICA DE LA CHÍA: UNA ICONOGRAFÍA DESDE TIEMPOS PREHISPÁNICOS HASTA NUESTROS DÍAS	18
EL PICUDO (<i>SCYPHOPHORUS ACUPUNCTATUS</i>) UN GRAN ENEMIGO DEL AGAVE EN MÉXICO	26
LOS CUATRO ALIMENTOS CON MAYOR FRECUENCIA DE ALERGENICIDAD, SUS PRINCIPALES ALÉRGENOS	34

MENSAJE EDITORIAL

Abril 2022

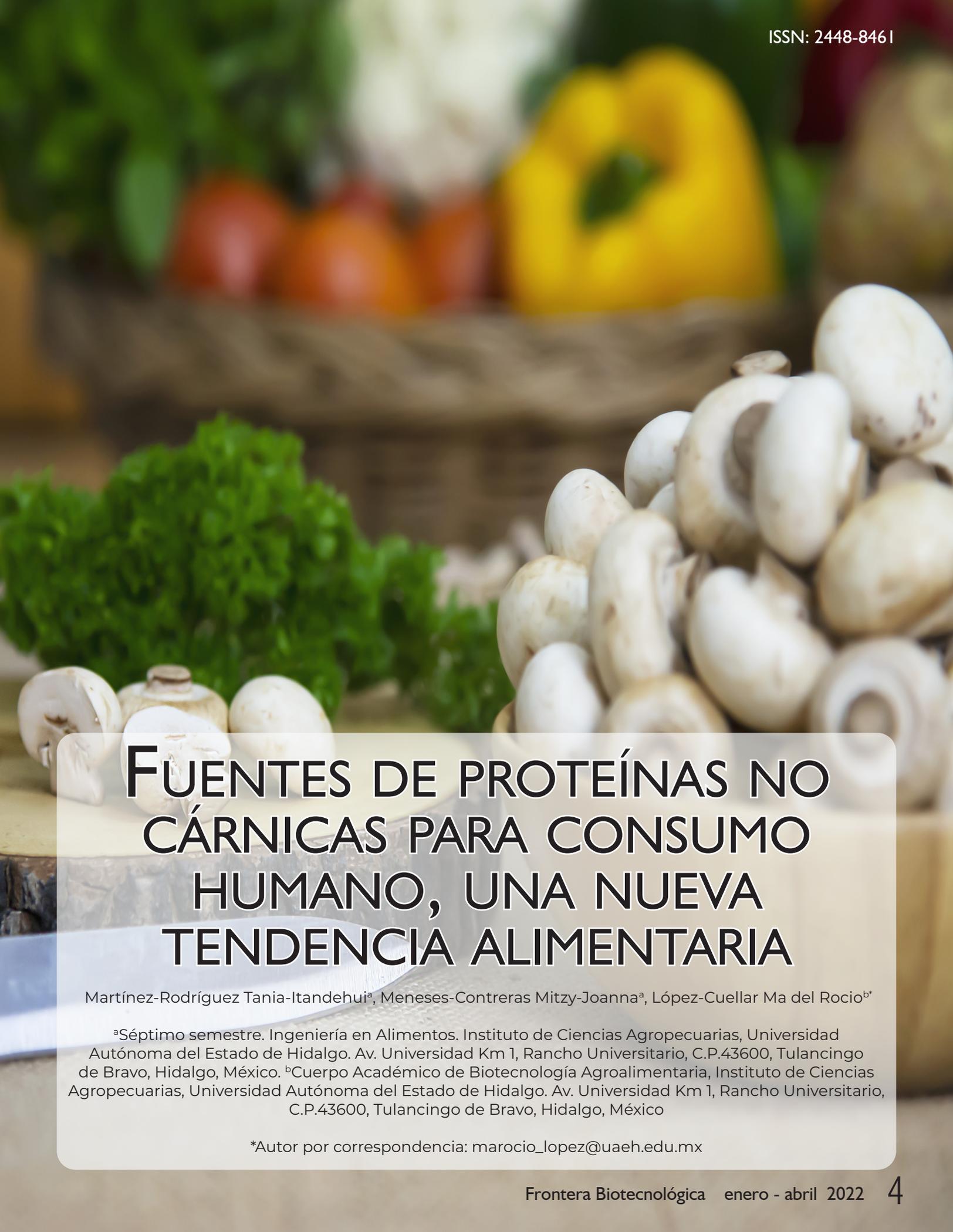
Estimados lectores, en el número 18 de abril de 2021, su servidor comentaba sobre el inicio de la vacunación en el país contra el SARS-CoV-2 emitiendo una opinión sobre ver una luz en el camino para generarnos la idea de regresar a la normalidad. Un año después, con dosis de refuerzos para muchos de nosotros, esa luz se ha intensificado y ahora sí, sin menospreciar a tan implacable enfermedad estamos regresando a la normalidad, teniendo en cuenta que no hay que bajar en ningún momento nuestros esfuerzos y seguir teniendo el respeto al COVID19 como al principio. En este número conoceremos algunos ejemplos de fuentes de proteínas no cárnicas, sus beneficios sobre la salud y el medio ambiente, la cual es una alternativa más sustentable comparada con la carne de origen animal. Referente a la salud, entenderemos como se ha generado la problemática sobre la resistencia a diversos antibióticos, gracias a los mecanismos que utilizan las bacterias para tener dicha característica y cómo podemos evitarla. Por otro lado, nos ilustrarán sobre el origen del nombre y nomenclatura de la Chía conocida por Salvia hispánica, nombre que genera controversia ya que no es nativo de España sino de México y Guatemala. A la vez, otro cultivo de importancia en México es el agave, ya que forma parte de nuestra cultura e historia, pero conoceremos que hay una plaga llamada el picudo del agave que lo afecta enormemente y que no se le ha puesto la debida atención, por lo que nos ayudarán a entender cómo combatirlo mediante control biológico tomando en cuenta el ciclo de vida del insecto. Por último, sabemos que la comida es esencial para la vida, pero conoceremos cómo de los alimentos más frecuentes que consume el ser humano: la leche de vaca, el huevo, la soya y el cacahuete nos pueden producir alergias, por lo que nos ayudarán a entender cómo distinguir los rasgos asociados para evitar la alergenicidad.

Sigamos con las medidas de seguridad y apliquémonos las vacunas queridos lectores, para que no surjan nuevas variantes del virus SARS-CoV-2 y se eche a perder tanto esfuerzo que en México y en el mundo se ha realizado contra la pandemia.

“La Técnica al Servicio de la Patria”

Dr. Víctor Eric López y López

Editor en Jefe



FUENTES DE PROTEÍNAS NO CÁRNICAS PARA CONSUMO HUMANO, UNA NUEVA TENDENCIA ALIMENTARIA

Martínez-Rodríguez Tania-Itandehui^a, Meneses-Contreras Mitzy-Joanna^a, López-Cuellar Ma del Rocio^b*

^aSéptimo semestre. Ingeniería en Alimentos. Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Av. Universidad Km 1, Rancho Universitario, C.P.43600, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. ^bCuerpo Académico de Biotecnología Agroalimentaria, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Av. Universidad Km 1, Rancho Universitario, C.P.43600, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México

*Autor por correspondencia: marocio_lopez@uaeh.edu.mx

RESUMEN

La carne es una de las principales fuentes de proteína para consumo humano, provee todos los aminoácidos esenciales. Sin embargo, se han demostrado los impactos que la carne tiene sobre la salud y el medio ambiente, debido al uso de hormonas y antibióticos, además de las grandes cantidades de agua requerida para su producción. Se espera que para 2050 exista un aumento del 73 % del consumo de proteína actual, lo que generará un gran problema de abastecimiento para los próximos años. Las nuevas demandas de los consumidores van dirigidas hacia el consumo de proteína más sustentable, y a la vez buscan sustitutos de proteínas que cumplan con el sabor y la textura de la carne, pescado y lácteos. Las proteínas de origen vegetal proveen una cantidad importante de aminoácidos esenciales además de tener una menor huella ecológica, convirtiéndose en una alternativa viable para reemplazar a la carne. Las proteínas derivadas de insectos poseen un buen contenido nutricional debido a que estas son de alto valor biológico con un buen nivel de digestibilidad. Por otro lado, las proteínas provenientes de hongos llamadas micoproteínas, han tenido gran auge debido a su contenido de aminoácidos esenciales comparable con el de la carne, y en algunos casos mayor. En esta revisión se realiza un análisis sobre la calidad de las proteínas de tendencia para los consumidores, así como los beneficios que estas tienen sobre la salud y el medio ambiente.

Palabras clave: Sustitutos de carne, micoproteínas, proteínas vegetales, proteínas de insectos

Abstract

Meat has been one of the main protein sources for human consumption since it provides all the essential amino acids. However, the negative impacts of meat have on health and the environment due to the use of hormones, antibiotics, and large amounts of water for its production have been demonstrated. It is expected that by 2050 there will be a 73% increase in current protein consumption, which will create a big problem for the next few years. The new demands of consumers refer to the consumption of more sustainable proteins with similar flavor and texture characteristics than meat. The plant-protein source provides an important amount of essential amino acids; besides, it has a lower ecological footprint, becoming a good alternative to replace meat. Insects-protein source poses a good nutritional value because they are of high biological value with a good level of digestibility. On the other hand, the fungi-protein source called mycoprotein has had a great boom due to its greater content of essential amino acids than meat. This review analyzes the quality of trend protein sources for human consumption and their benefits on health and the environment.

Keywords: Meat substitutes, mycoproteins, vegetable proteins, insect proteins



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad están surgiendo nuevas enfermedades que comprometen el sistema inmunológico de las personas, trayendo consigo problemas serios de salud; ante esto se ha puesto gran énfasis en la importancia de una buena nutrición para mantener el bienestar del ser humano (Farhadi & Ovchinnikov, 2018). Diversos factores son los que determinan una nutrición de calidad, entre ellos se encuentra tener una dieta balanceada que debe contener todos los macronutrientes necesarios para cumplir con las funciones vitales del organismo (Hocquette et al. 2020). Los macronutrientes más importantes son: lípidos, carbohidratos y proteínas.

Las proteínas son el componente principal de nuestras células, tienen funciones en el crecimiento y desarrollo de los tejidos, también en la reparación celular, sistema inmune y diversas reacciones bioquímicas (Martínez-Álvarez et al. 2021).

Hasta nuestros días, la principal fuente de proteína para consumo humano ha sido la carne. La proteína de origen animal es de alta calidad debido a que provee los nueve aminoácidos esenciales que el organismo humano no puede sintetizar por sí mismo y que cumplen funciones vitales dentro de este (Torrescano, 2020). Sin embargo, se ha demostrado que la ingesta excesiva de proteína de origen animal puede conducir al desarrollo de diversas enfermedades, tales como: cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 por alteración de metabolismo de glucosa, daños en los riñones e hígado, entre otras (Quesada & Gómez 2019, Sluijs et al. 2010). En cuanto al ámbito de la sustentabilidad, el sector cárnico emite más gases de efecto invernadero que todo el transporte mundial junto (14,5% del total de emisiones), teniendo un fuerte impacto sobre el cambio climático (Garibaldi et al. 2018). Además, se ha comprobado que, por gramo de proteína de origen animal, la huella hídrica de la carne es seis veces mayor que la de las legumbres (Hocquette et al. 2020).

Por estas razones, las tendencias de la industria alimentaria están enfocadas en buscar fuentes de proteína con igual o mayor valor nutritivo que la carne, con un impacto más sostenible sobre el medio ambiente (Figura 1).

2. CALIDAD DE PROTEÍNAS

La calidad de una proteína es medida con base en la puntuación de aminoácidos corregida por su digestibilidad (protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS) (Huang et al. 2017; Quesada & Gómez, 2019). Esta puntuación es multiplicada por la digestibilidad real de la proteína obteniendo como resultado un valor de PDCAAS, cuyo rango va de 0 a 1 (Quesada & Gómez, 2019). Un valor de 1 indica que una proteína proporciona cantidades adecuadas de todos los aminoácidos esenciales, siempre y cuando se suministre en cantidades nutricionalmente



Figura 1. Transformación de proteínas no cárnica a productos procesados.

adecuadas (Hughes et al. 2011, Huang et al. 2017). De esa manera, las proteínas que se usen como análogo de la carne deberían tener un valor de PDCAAS cercano o igual a 0.92 (Hughes et al. 2011). Los valores de PDCAAS de proteínas de distintos orígenes se observan en la Figura 2.

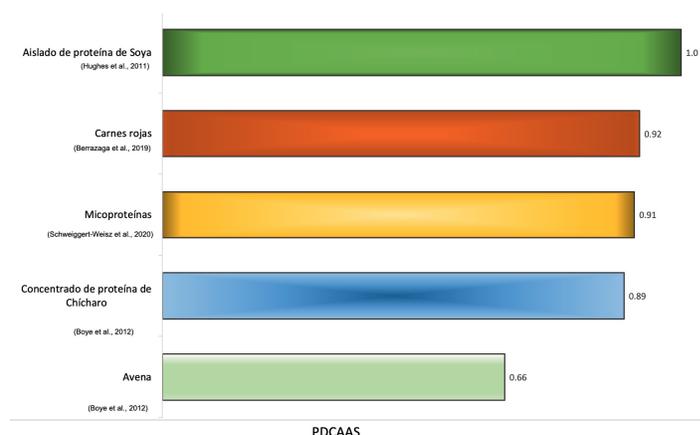


Figura 2. Valor PDCAAS de fuentes de proteínas, se evalúa en un rango de 0 – 1

3. PROTEÍNAS DE FUENTE VEGETAL

La soya, el chícharo y la avena son ejemplos de buenas fuentes de proteína vegetal. La proteína de soya contiene todos los aminoácidos esenciales presentes en la carne, aunque no en las mismas proporciones, cuyas propiedades funcionales y nutricionales juegan un papel importante en la industria alimentaria (Zhao et al. 2018). Entre los cereales y otras leguminosas, la soya (*Glycine max*) tiene el mayor contenido de proteínas con un 36% de su contenido (Cabanos et al. 2021), siendo las más importantes la β -conglucina y la glicina, representando el 65-89% del total de la proteína de soya (Thrane et al. 2017). La β -conglucina es una proteína tetramérica compuesta por tres subunidades (α , α' y β), su peso molecular es de 150-200 kDa (Cabanos et al. 2021).

Por otro lado, la glicinina es una proteína con un peso molecular de 180-210 kDa (Nishinari et al. 2018), que consiste en 6 subunidades ácidas y 6 subunidades básicas organizadas en una estructura hexamérica (Thrane et al. 2017). El valor de PDCAAS del aislado de proteína de soya va de 0.92 a 1.0 (Hughes et al. 2011). Se ha reportado que el consumo de alimentos elaborados con proteínas de soya trae efectos favorables sobre la salud y nutrición de las personas, debido que posee proteínas con actividad antihipertensiva, anticolesterolémicas, antioxidantes y anticancerígenas (Singh et al. 2014).

Gracias a su naturaleza, las proteínas de soya pueden ser utilizadas en la industria alimentaria como agentes emulsificantes, gelificantes y espumantes (Thrane et al. 2017). Las emulsiones son formadas mediante la disminución de la tensión interfacial entre el agua y el aceite, en donde estas proteínas ayudan a estabilizar la emulsión formando una barrera física en la interfase (Nishinari et al. 2018). Por otro lado, puede ayudar a la formación de geles debido a las estructuras proteicas globulares presentes en la soya, las cuales son ampliamente usadas en la producción de tofu y otros alimentos. Las proteínas de soya, como agente espumante, se utilizan en la elaboración de cerveza, merengues, pasteles, tiramisú y pan, entre otros (Tolulope, 2020). El uso de estas proteínas para reemplazar la carne puede incrementar la calidad de los alimentos, reducir los costos y reducir el impacto ambiental asociado con la obtención de proteína para consumo humano (Thrane et al. 2017).

Las proteínas de chícharo (*Pisum sativum* L.) son un tipo de proteína vegetal con alta disponibilidad, alto valor nutrimental, beneficios que tienen hacia la salud y bajo costo, por lo que se han vuelto muy utilizada dentro de la industria alimentaria (Lu et al. 2019). Las semillas de chícharo generalmente contienen 20-25% de proteína, 40-50% de almidón y 10-20% de fibra (Tulbek et al. 2017). Las proteínas del chícharo contienen globulinas (65%-80%) y albúminas (10%-20%) (Karaca et al. 2011). Las albúminas se solubilizan en agua y son consideradas proteínas metabólicas y enzimáticas; mientras tanto, las globulinas se solubilizan en sal y funcionan como proteínas de almacenamiento para la semilla (McCarthy et al. 2016). Las globulinas tienen dos fracciones principales, legumina y vicilina (Liang & Tang 2013). La legumina es una proteína hexamérica y tiene un peso molecular entre 300-400 kDa y contiene 6 subunidades y cada una tiene una cadena ácida (α) de 40 kDa y una cadena básica (β) de 20 kDa (Lam et al. 2018); mientras que la vicilina es un grupo trimérico, poco glicosilado con un peso molecular entre 150-200 kDa (cada subunidad tiene un peso molecular de aproximadamente 50 kDa) (Liang & Tang 2013).

Las propiedades fisicoquímicas de la proteína de chícharo pueden influir en el procesamiento y almacenamiento de

alimentos (Shevkani et al. 2015). Entre las propiedades de la proteína de chícharo está la solubilidad e hidrólisis. Se ha descubierto que esta última puede disminuir la viscosidad aparente y mejorar la calidad de procesamiento de algunos geles (Ribotta et al. 2012). También cuenta con propiedades emulsionantes (Lu et al. 2019) y propiedades de gelificación que le dan textura a los alimentos (Lam et al. 2018). Gracias a lo anterior, la proteína de chícharo tiene diversas aplicaciones dentro de la industria alimentaria. Una de ellas es que se ha utilizado para preparar muffins libres de gluten con características similares a las del trigo (Shevkani & Singh 2014), como emulsionante, la proteína se puede utilizar en emulsiones líquidas, así como secadas por atomización, además tiene gran uso en la producción de yogures tipo vegano, y productos deportivos no lácteos (McCarthy et al. 2016). El consumo de proteína de chícharo aporta varios beneficios a la salud, uno de ellos es promover un mayor aumento de grosor muscular en personas que se someten a programas para fortalecer sus músculos (Babault et al. 2015), en este sentido, se demostró que después de 8 semanas de entrenamiento de alta intensidad, tanto la ingesta de proteínas de chícharo como de suero de leche, mostraron resultados similares en cuanto a composición corporal, grosor muscular y rendimiento (Banaszek et al. 2019).

Por otra parte, las proteínas de avena (*Avena sativa*) permiten que sean consumidas por personas con enfermedad celiaca (Sey et al. 2011). La proteína de avena tiene 4 fracciones que incluyen las globulinas (50-80%), prolaminas (4-15%), albúminas (1-12%) y glutelinas (10%) (Boukid, 2021). Las globulinas son solubles en sal y funcionan como proteínas de almacenamiento, son proteínas hexaméricas con subunidades de 54 kDa y están unidas por un enlace disulfuro. Las prolaminas que también se conocen como aveninas son muy solubles en solución acuosa de alcohol, además de que son ricas en azufre y tienen cantidades altas de prolina y ácido glutámico, mientras que las albúminas representan la fracción soluble en agua (Klose & Arendt 2012). En el endospermo, a comparación de la cáscara, es rico en prolina y ácido glutámico; mientras que la cáscara contiene más fenilalanina que el embrión y el endospermo (Makinen et al. 2017). Las proteínas de avena tienen propiedades tecno-funcionales (Spaen & Valle 2021). Las propiedades emulsificantes y de solubilidad de esta proteína son escasas debido al despliegue de las globulinas de la avena y en condiciones ácidas, baja su solubilidad, limitando la aplicación de las proteínas de avena en espumas y emulsiones (Brückner-Gühmann et al. 2019). Sin embargo, gracias a los tratamientos físicos, químicos o enzimáticos, estas proteínas pueden mejorar sus propiedades tecno-funcionales (Makinen et al. 2017).

Se ha demostrado que las proteínas tratadas con enzimas como tripsina, alcalasa, transglutaminasa o glutaminasa aumentan las propiedades de emulsificación, de igual forma mejoran la solubilidad de las proteínas, además de producir péptidos bioactivos por los cortes enzimáticos (Jiang et al. 2015). Así mismo, la proteína de avena y sus geles a base de hidrolizado en condiciones neutras o poco alcalinas muestran buena capacidad para retener agua, lo que sugiere que pueda utilizarse como ingrediente gelificante de origen vegetal proporcionando textura y estructura a los alimentos (Brückner-Gühmann et al. 2019). Recientemente se demostró que la proteína de avena puede servir para producir un análogo de carne mediante una mezcla con fitasa (enzimas que catalizan la hidrólisis del complejo fitato), un proceso de fermentación, y posteriormente cocción por extrusión, da como resultado un análogo de carne con un aumento de proteínas y aminoácidos, mostrando un buen color, sabor y capacidad de retención de agua (Kaleda et al. 2020). También se han utilizado concentrados de proteína de avena gracias a la gelatinización del almidón, permitiendo aumentar la viscosidad y obtener productos como yogur con beneficios nutricionales, alta sostenibilidad y mejor calidad sensorial (Brückner-Gühmann et al. 2019). El consumo de proteína de avena aumenta los niveles de glucógeno hepático y disminuye los niveles de nitrógeno ureico en la sangre (Xu et al. 2013). Varios estudios informaron que el consumo de proteínas de avena es seguro para personas celíacas, siempre y cuando estén libres de gluten (Fritz & Chen 2018); según la normativa de la UE, la avena y sus derivados se pueden considerar libres de gluten si tienen un nivel máximo de contaminación por gluten no mayor a 20 ppm (European Commission, 2014).

4. PROTEÍNAS OBTENIDAS A TRAVÉS DE INSECTOS

Otra fuente importante de proteína son los insectos. Tradicionalmente, en México el chapulín (*Sphenarium purpurascens*) se consume en forma de condimento, botana o se usan en platillos gourmet (Ibarra-Herrera et al. 2020). Los chapulines tienen gran potencial como alimento por su alto contenido de proteína y también pueden ser capaces de satisfacer el nivel de aminoácidos que recomienda la FAO (Nowak et al. 2016). El consumo de este tipo de insectos en porciones establecidas puede ser equivalente al consumo de carne de res y pollo, debido a su gran contenido nutricional (Hernández et al. 2020). Sin embargo, en algunas regiones del mundo se tiene un gran desaprovechamiento del chapulín para ser consumido como alimento, por ello en la actualidad se ha puesto gran interés en innovar formulaciones alimenticias basadas en insectos comestibles. Hoy en día se plantea que la proteína de chapulín puede combatir problemas graves de desnutrición en zonas de difícil disponibilidad de agua para producción de ganado

vacuno (Aragón-García et al. 2018). El valor nutricional de esta proteína indica un contenido de proteínas de alto valor biológico con un buen nivel de digestibilidad. Los aminoácidos que se encuentran en mayor proporción son isoleucina, leucina, lisina, metionina y cisteína, entre otros (Rodríguez-Miranda et al. 2019). El valor de PDCAAS de la proteína de *Sphenarium purpurascens* es de 0.64 (Ramos-Elorduy et al. 2012). Por otra parte, provee una buena cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, además de poseer importante contenido de carbohidratos y minerales que podría contribuir a una dieta balanceada (Rodríguez-Miranda et al. 2019).

5. PROTEÍNAS OBTENIDAS DE HONGOS

Otra fuente de proteína son las provenientes de los hongos denominadas Micoproteínas. Estas han alcanzado gran popularidad debido a los beneficios que proporcionan a la salud, su perfil nutricional, su bajo costo de producción, y su poco impacto ambiental (Hashempour-Baltork et al. 2020). Las micoproteínas son el alimento que se obtiene por la biomasa fúngica filamentosa utilizada para el consumo humano (Boland et al. 2013). Los hongos filamentosos son fuentes potenciales como sustituto de carne debido a su alto valor biológico y rápido desarrollo, y el hongo filamentoso mayormente utilizado para la producción de micoproteínas a nivel comercial es *Fusarium venenatum* (Derbyshire & Delange 2021). Los productos a base de micoproteínas poseen una textura similar a la carne debido a que son procesadas de tal manera que preservan la estructura de la hifa creando haces filamentosos, similar a las proteínas fibrilares de la carne (Colosimo et al. 2020). La producción de micoproteína por medio del hongo *F. venenatum* comienza con el cultivo de este último bajo condiciones controladas y manteniendo las variables de temperatura, pH, concentración de nutrientes, oxígeno y tasa de crecimiento constantes (Giavasis et al. 2019). Posteriormente, se inocula un fermentador de flujo continuo utilizando glucosa como sustrato, y amoníaco como fuente de nitrógeno. Luego de la inoculación, inicia el crecimiento del hongo mediante el bombeo de aire provocando una elevación y recirculación, y cuando se alcanza un nivel adecuado de sólidos en recirculación, la micoproteína es recolectada. El caldo de fermentación se somete a centrifugación para ser clarificado y los sólidos resultantes son concentrados mediante enfriamiento al vacío obteniendo micoproteína con textura similar a la de la carne con aproximadamente 24% de sólidos totales (Finnigan, 2017).

En el ámbito de la nutrición y salud humana, se han realizado varios estudios sobre la ingesta de micoproteínas.

Coelho et al. (2020) investigaron el efecto de las micoproteínas sobre el colesterol proporcionando 1.2 g de proteína por kilogramo de peso corporal suministrada por Quorn™, y se observaron efectos benéficos sobre el lipidoma plasmático, disminuyendo el colesterol plasmático total y el colesterol libre en la micoproteína y se sugirió que estos efectos de reducción del colesterol pueden atribuirse al contenido o tipo de fibra presente. También se realizaron estudios sobre el impacto en los niveles de insulina. Dunlop et al. (2017) demostraron que se puede presentar hiperinsulinemia más lenta a causa de la ingestión de micoproteínas en comparación con la proteína de la leche. Del mismo modo, Bottin et al (2016) realizaron un estudio en personas con sobrepeso y obesidad y el efecto al consumir micoproteína, esto se comparó con harinas de pollo con el mismo valor energético. Los resultados obtenidos demostraron que la comida con micoproteína reduce las concentraciones de insulina. La aplicación de las micoproteínas en los alimentos se ve reflejada por la marca Quorn™ originaria del Reino Unido. Esta marca produce gran diversidad de productos como: nuggets, rebanadas de pepperoni, jamón ahumado, salchichas, carne para hamburguesa, entre otros.

6. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PROTEÍNA

Los aminoácidos son nutrientes necesarios para la síntesis de proteínas, además de participar como moléculas bioactivas que desempeñan funciones importantes en la nutrición y metabolismo (Nie et al. 2018). El contenido de aminoácidos esenciales en una proteína es un factor primordial para saber si ésta es de buena calidad o no. Los aminoácidos esenciales son los que determinan el valor biológico de una proteína, es por lo que las porciones que son administradas en la dieta deben ser monitoreadas para que se logre satisfacer las demandas de nitrógeno para el crecimiento, la síntesis y la reparación de los tejidos (Gutiérrez et al. 2020).

Solo 20 aminoácidos forman parte de las proteínas de los cuales 9 son aminoácidos esenciales. Y se denominan esenciales porque el organismo no los puede sintetizar y estos tienen que obtenerse de fuentes externas, principalmente de los alimentos (Nie et al. 2018).

En la Tabla.1 se muestra el contenido de aminoácidos esenciales de las diferentes fuentes de proteína para consumo humano que fueron abordadas en el presente artículo. La proteína de soya en forma de aislado presenta un mayor contenido de leucina con un 8.2 g/100 g de proteína, en comparación con la carne que tiene 7.0 g/100 g de proteína. Por otro lado, la proteína de chícharo tiene al menos 1.6 g/100g de proteína del aminoácido esencial histidina el cual es muy cercano al valor de la carne con 2.0

g/100 g de proteínas. En el caso de la proteína de avena, ésta tiene un contenido de valina con 2 g/100 g de proteína, similar al de la proteína de soya (2.7 g/100 g de proteína).

La proteína de chapulín muestra un gran potencial en cuanto al contenido de aminoácidos esenciales en comparación con la carne, ya que tan sólo el contenido de fenilalanina es mucho mayor (10.3 g/100 g de proteína) que en la carne (6.0 g/100g proteína). En adición, el contenido de leucina en chapulín es mayor que en carne. Por último, las micoproteínas representan una excelente fuente de aminoácidos esenciales, teniendo valores superiores de contenido de algunos aminoácidos en comparación con la carne y las demás proteínas.

Tabla 1. Contenido de aminoácidos esenciales en g/100g en fuentes de proteína.

Aminoácidos esenciales	Carne Okuskhanova et al. 2017	Aislado de proteína de soya Thrane et al. 2017	Chícharo (<i>Pisum sativum</i> L.) Gorissen et al. 2018	Avena (<i>Avena sativa</i>) Gorissen et al. 2018	Chapulín (<i>Sphenarium purpurascens</i>) Ramos-Elorduy et al. 2012	Micoproteínas Finnigan et al. 2017
Isoleucina	4.0	4.9	2.3	1.3	4.2	5.2
Leucina	7.0	8.2	5.7	3.8	8.9	8.6
Treonina	4.0	3.7	2.5	1.5	3.1	5.5
Fenilalanina	6.0	5.2	3.7	2.7	10.3	4.9
Lisina	5.5	6.4	4.7	1.3	5.7	8.3
Histidina	2.0	2.6	1.6	0.9	2.2	3.5
Valina	5.0	5.1	2.7	2	5.7	6.2
Metionina	3.5	1.3	0.3	0.1	2.5	2.1
Triptófano	1.0	1.4	-	-	0.7	1.6

7. CARNE IN VITRO

Esta es una nueva tendencia que consiste en el uso de ingeniería de tejidos para recrear la estructura de los músculos de los animales de granja con una cantidad mínima de células cultivadas in vitro. El proceso se realiza mediante una biopsia al animal, posteriormente este trozo de músculo se corta para provocar la liberación de las células madre, que pueden proliferar o transformarse en células musculares y células grasas (Post, 2014). El propósito principal para crear carne in vitro recae sobre la necesidad de disminuir la cantidad de animales que se sacrifican para obtener proteína para consumo humano (Ben-Arye & Levenberg 2019) y aunado a la idea es que este producto vaya dirigido a consumidores que no quieren cambiar su dieta (Hocquette et al. 2020). Sin embargo, existen controversias en torno a la producción de este tipo de carne, debido a que se necesita un medio de crecimiento adecuado para las células, el cual se obtiene de la sangre de terneros. Sin embargo, Tuomisto & de Mattos (2011) reportan una estimación en un análisis sobre la sustentabilidad del cultivo in vitro, indicando que se produce de 78% a un 96% menos de emisiones efecto invernadero, un 99% menos de uso de la tierra y un 82% a un 96% menos de uso de agua.

Por otra parte, Lynch & Pierrehumbert (2019) argumentan que el calentamiento global es menor con la carne cultivada pero un periodo muy corto, esto debido a que el CO₂ se mantiene por mucho más tiempo en la atmósfera en comparación con el metano. Aún es necesaria mucha investigación al respecto, la producción de carne in vitro presenta varias controversias desde las cuestiones éticas, legales e incluso religiosas (Hocquette et al. 2020). Además de desventajas como que este tipo de carne no puede contener ciertos micronutrientes en comparación con la carne animal y que son necesarios para la nutrición humana. Otro inconveniente es que no todas las líneas celulares son aptas para cultivar, lo que representa la aparición de problemas durante la producción (Cartín-Rojas & Ortiz 2018).

8. CONCLUSIONES

Las fuentes de proteínas derivadas de vegetales, hongos e insectos representan alternativas al consumo de proteína de origen animal, podrían cubrir las demandas nutricionales de los consumidores si se suministran en las porciones adecuadas. Principalmente las micoproteínas, indican tener una menor huella ecológica y suelen ser más económicas, sin embargo, es necesario continuar en la búsqueda micoproteínas para una industrialización y producción más eficiente y de alcance a diversas poblaciones. Por su parte, la producción cárnica in vitro es una alternativa que se encuentra en nivel laboratorio, sin embargo tendrá muchos retos que vencer hacia la industrialización. El panorama claro se dirige a que es necesario continuar con la búsqueda, investigación y desarrollo de proteínas alternas a las cárnicas, proteínas sustentables para satisfacer las futuras demandas mundiales.

9. REFERENCIAS

- Aragón-García A, Rodríguez-Lima R, Pino-Moreno M, Aragón-Sánchez M, Ángeles C, García-Pérez A (2018) Valor nutritivo de la harina del chapulín *Sphenarium purpurascens* Charpentier, 1845 (Orthoptera: Pyrgomorphidae) tostado y natural. *Entomol. mexicana*. 5: 106-112.
- Babault N, Paizis C, Deley G, Guérin-Deremaux L, Saniez H, Lefranc-Millot C, Allaert A (2015) Pea protein oral supplementation promotes muscle thickness gains during resistance training: a double-blind, randomized, Placebo-controlled clinical trial vs. Whey protein. *J. Int. Soc. Sports. Nutr.* 12: 3.
- Banaszek A, Townsend R, Bender D, Vantrease C, Marshall C, Johnson D (2019) The effects of whey vs. pea protein on physical adaptations following 8-weeks of high-intensity functional training (hft): a pilot study. *Sports (Basel)*. 7: 12.
- Ben-Arye T, Levenberg S (2019) Tissue engineering for clean meat production. *Front. Sustain. Food. Syst.* 3:46.
- Berrazaga I, Micard V, Gueugneau M, Walrand S (2019) The role of the anabolic properties of plant- versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: A Critical Review *Nutrients* 8: 1825.
- Boland MJ, Rae AN, Vereijken JM, Meuwissen MP, Fischer AR, van Boekel MA, Rutherford SM, Gruppe PJ, Hendriks WH (2013) The future supply of animal-derived protein for human consumption. *Trends. Food. Sci. Technol.* 29: 62-73.
- Bottin JH, Swann JR, Cropp E, Chambers ES, Ford HE, Ghatei MA, Frost GS (2016) Mycoprotein reduces energy intake and postprandial insulin release without altering glucagon-like peptide-I and peptide tyrosine-tyrosine concentrations in healthy overweight and obese adults: a randomised-controlled trial. *Br. J. Nutr.* 2:360-374.
- Boukid F (2021) Oat proteins as emerging ingredients for food formulation: Where we stand?. *Eur. Food. Res. Technol.* 247:535-544.
- Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B (2012) Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br. J. Nutr.* 108: S183-S211.
- Brückner-Gühmann M, Vasil'eva E, Culetu A, Duta D, Sozer N, Drusch S (2019) Oat protein concentrate as alternative ingredient for non-dairy yoghurt-type product. *J. Sci. Food. Agric.* 13: 5852-5857.
- Cabanos C, Matsuoka Y, Maruyama N (2021) Soybean proteins/peptides: A review on their importance, biosynthesis, vacuolar sorting, and accumulation in seeds. *Peptides*. 143:170598.
- Cartín-Rojas A, Ortiz P (2018) Ventajas y desventajas del cultivo de carne in vitro: perspectivas desde la seguridad alimentaria. *Rev. Med. Vet.* 36: 135-144.
- Coelho MO, Monteyne A, Dirks ML, Finnigan TJ, Wall BJ (2020) Daily mycoprotein consumption for 1 week does not affect insulin sensitivity or glycaemic control but modulates the plasma lipidome in healthy adults: a randomised controlled trial. *Br. J. Nutr.* 2:147-160.
- Colosimo R, Warren FJ, Edwards CH, Finnigan TJ, Wilde PJ (2020) The interaction of α -amylase with mycoprotein: Diffusion through the fungal cell wall, enzyme entrapment, and potential physiological implications. *Food. Hydrocoll.* 108: 106018.
- Derbyshire EJ, Delange J (2021) Fungal Protein – What Is It and What Is the Health Evidence? A Systematic Review Focusing on Mycoprotein. *Front. Sustain. Food. Syst.* 5: 18.
- Dunlop MV, Kilroe SP, Bowtell JL, Finnigan TA, Salmon DL, Wall BT (2017) Mycoprotein represents a bioavailable and insulinotropic non-animal-derived dietary protein source: a dose-response study. *Br. J. Nutr.* 9: 673-685.
- European commission (2014) Commission implementing regulation (EU) No 828/2014 on the requirements for the provision of information to consumers on the absence or reduced presence of gluten in food [online]. *Off. J. Eur. Un.* Available from https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Reg828_2014.pdf [fecha de revisión 19 Enero 2022].
- Farhadi S, Ovchinnikov RS (2018) The relationship between nutrition and infectious diseases: A review. *Biomed. Biotechnol. Res.* 2: 168-172.
- Finnigan T, Needham L, Abbott C (2017) Mycoprotein: A healthy new protein with a low environmental impact. In: *Sustainable Protein Sources*. Academic Press. 305-325 pp.

- Finnigan T, Needham L, Abbott C (2017) Mycoprotein: A healthy new protein with a low environmental impact. In: Sustainable Protein Sources. Academic Press. 305-325 pp.
- Fritz RD, Chen Y (2018) Oat safety for celiac disease patients: theoretical analysis correlates adverse symptoms in clinical studies to contaminated study oats. *Nutr. Res.* 60:54-67.
- Garibaldi LA, Andersson G, Fernández FC, Pérez-Méndez N (2018) Seguridad alimentaria, medio ambiente y nuestros hábitos de consumo. *Rev. Asoc. Argent. Ecol.* 3: 572-580.
- Giavasis I, Seviour RJ, Hudman P, McNeil B (2019) Fungal bioproducts for use in food: polysaccharides, organic acids, and mycoprotein. In advances in food bioproducts and bioprocessing technologies. 512-536 pp.
- Gorissen SH, Crombag JJ, Senden JM, Waterval WA, Bierau J, Verdijk LB, van Loon LJC (2018) Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids.* 50: 1685-1695.
- Gutiérrez C, Lares M, Sandoval J, Hernández MS (2020) Aminoácidos de cadena ramificada: implicaciones en la salud. *Rev. Digital Postgrado.* 9(2).
- Hashempour-Baltork F, Khosravi-Darani K, Hosseini H, Farshi P, Reihani SF (2020) Mycoproteins as safe meat substitutes. *J. Clean. Prod.* 253: 119958.
- Hernández C, L, Olvera TF, Luna FV, Sánchez C (2020) Diseño y determinación del valor nutritivo de una formulación de un alimento enriquecido con *Sphenarium purpurascens*. *Educatconciencia.* 25: 57-69.
- Hocquette J, Chriki S, Tourre L (2020) The myth of cultured meat: a review. *Front. Nutr.* 7:7.
- Huang S, Wang LM, Sivendiran T, Bohrer BM (2017) Review: Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 58(15): 2673-2678.
- Hughes GJ, Ryan DJ, Mukherjea R, Schasteen CS (2011) Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores (PDCAAS) for Soy Protein Isolates and Concentrate: Criteria for Evaluation. *J. Agric. Food. Chem.* 59:12707-12712.
- Ibarra-Herrera CC, Acosta-Estrada B, Chuck-Hernández C, Serrano-Sandoval SN, Guardado-Félix D, Pérez-Carrillo E (2020) Nutritional content of edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) fed on alfalfa (*Medicago sativa*) and maize (*Zea mays*). *CyTA. J. Food.* 18: 257-263.
- Jiang ZQ, Sontag-Strohm T, Salovaara H, Sibakov J, Kanerva P, Loponen J (2015) Oat protein solubility and emulsion properties improved by enzymatic deamidation. *J. Cereal. Sci.* 64:126-132.
- Kaleda A, Talvistu K, Tamm M, Viirma M, Rosend J, Tanilas K, Kriisa M, Part N, Tammik ML (2020) Impact of fermentation and phytase treatment of pea-oat protein blend on physicochemical, sensory, and nutritional properties of extruded meat analogs. *Foods.* 9: 1059.
- Karaca AC, Low N, Nickerson M (2011) Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Int. Food. Res. J.* 44: 2742-2750.
- Klose C, Arendt EK (2012) Proteins in oats; their synthesis and changes during germination: a review. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 52: 629-639.
- Lam AC, Karaca AC, Tyler RT, Nickerson MT (2018) Pea protein isolates: structure, extraction and functionality. *Food. Rev. Int.* 34: 126-147.
- Liang HN, Tang CH (2013) pH-dependent emulsifying properties of pea [*Pisum sativum* (L.)] proteins. *Food. Hydrocoll.* 33: 309-319.
- Lu ZX, He JF, Zhang YC, Bing DJ (2019) Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 60: 2593-2605.
- Lynch JV, Pierrehumbert R (2019) Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle. *Front Sustain. Food. Syst.* 3:5.
- Makinen OE, Sozer N, Ercili-Cura D, Ercili-Cura K (2017) Protein From Oat: Structure, Processes, Functionality, and Nutrition. In Sustainable Protein Sources. Academic Press. 105-119 pp.
- Martínez-Álvarez O, Iriando-DeHond A, Gómez-Estaca J, Dolores del Castillo M (2021) Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario. *Distr. Consum.* 1: 51-62.
- McCarthy NA, Kennedy D, Hogan SA, Kelly PM, Thapa K, Murphy KM, Fenelon MA (2016) Emulsification properties of pea protein isolate using homogenization, microfluidization and ultrasonication. *Int. Food. Res. J.* 415-421.
- Nie C, He T, Zhang W, Zhang G, Ma X (2018) Branched Chain Amino Acids: Beyond Nutrition Metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 19:954.
- Nishinari K, Fang Y, Nagano T, Guo S, Wang R (2018) Soy as a food ingredient. In Proteins in Food Processing. Woodhead Publishing. 149-186 pp.
- Nowak V, Persijn D, Rittenschober D, Charrondiere UR (2016) Review of food composition data for edible insects. *Food Chem.* 193: 39-46.
- Okuskhanova E, Assenova B, Rebezov M, Amirkhanov K, Yessimbekov Z, Smolnikova F, Nurgazezova A, Nurymkhan G, Stuart M (2017) Study of morphology, chemical, and amino acid composition of red deer meat. *Vet. World.* 10: 623-629.
- Post MJ (2014) Cultured beef: medical technology to produce food. *J. Sci. Food. Agric.* 94: 1039-1041.
- Quesada D, Gómez G (2019) ¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?: Una mirada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. *Rev. Nutr. Clin. Metab.* 2: 79-86.
- Ramos-Elorduy B, Pino MJ, Martínez CV (2012) Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal? *Food. Sci. Nutr.* 3: 164-175.
- Ribotta PD, Colombo A, Rosell CM (2012) Enzymatic modifications of pea protein and its application in protein-cassava and corn starch gels. *Food. Hydrocoll.* 27: 185-190.
- Rodríguez-Miranda J, Alcántar-Vázquez JP, Zúñiga-Marroquín T, Juárez-Barrientos JM (2019) Insects as an alternative source of protein: a review of the potential use of grasshopper (*Sphenarium purpurascens* Ch.) as a food ingredient. *Eur. Food Res. Technol.* 245: 2613-2620.
- Schweiggert-Weisz U, Eisner P, Bader-Mittermaier S, Osen R (2020) Food proteins from plants and fungi. *Curr. Opin. Food. Sci.* 32: 156-162.
- Sey MS, Parfitt J, Parfitt J (2011) Prospective study of clinical and histological safety of pure and uncontaminated Canadian oats in the management of celiac disease. *JPEN. J. Parenter. Enteral. Nutr.* 459-464.



LA RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS ¿CÓMO SE CONVIRTIÓ EN UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA?

Tovar-Chávez, Alan Daniel¹; Esquivel-Naranjo, Edgardo Ulises¹; Landeros-Jaime, Fidel¹ y Cervantes-Chávez, José Antonio¹.

Laboratorio de Microbiología Molecular. Unidad de Microbiología Básica y Aplicada. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Aeropuerto. Carretera a Chichimequillas, Ejido Bolaños, Querétaro, Qro. C.P. 76140.

atovar01@alumnos.uaq.mx, jose.antonio.cervantes@uaq.mx

RESUMEN

Los antibióticos son sustancias químicas que nos han permitido combatir infecciones bacterianas durante las últimas décadas. No obstante, las bacterias han desarrollado una serie de mecanismos que les permiten resistir la exposición a diversos antibióticos sin sufrir daños. Estos mecanismos involucran la destrucción y la modificación de la molécula del antibiótico; la alteración de las estructuras bacterianas que son afectadas por los antibióticos; así como la continua expulsión del antibiótico hacia el exterior. Las bacterias que poseen alguno de estos mecanismos lo transfieren a su descendencia, y es posible que los compartan con otras bacterias circundantes por medio de transferencia genética. Otro factor clave en la propagación de la resistencia antimicrobiana es el uso inadecuado de antibióticos por parte de los humanos, dado que su uso constante e intermitente conduce a la muerte de bacterias susceptibles, a la vez que contribuye a la selección y a la proliferación de bacterias resistentes a varios antibióticos.

Palabras clave: Bacterias resistentes, Resistencia a antibióticos, Genes de resistencia, Transferencia de genes.

Abstract

Antibiotics are chemical substances that allowed us to fight against bacterial infections over the past decades. However, bacteria have developed a number of mechanisms to resist the effect of antibiotics, these mechanisms are related with the destruction or modification of the antibiotic molecule, the modification of bacterial components that are affected by the antibiotic, and the continuous expulsion of the antibiotic. Bacteria that possess any of these mechanisms can share them both to their offspring and to other surrounding bacteria through gene transfer. Another key factor in the spread of antimicrobial resistance is the inappropriate use of antibiotics, since their constant and intermittent use can lead to the death of susceptible bacteria and the proliferation of resistant bacteria to several antibiotics.

Key words: Antibiotic resistance, Antibiotics, Gene transfer, Resistant bacteria.



I. INTRODUCCIÓN

Durante cientos de años, el ser humano ha tenido que combatir incesantemente contra infecciones bacterianas. A través de nuestra historia hemos utilizado remedios a base de plantas, sales, agua, fuego e incluso rituales para aliviar dolencias y enfermedades bacterianas, aunque durante muchos siglos no era conocido que estas dolencias eran causadas por bacterias (Hutchings et al. 2019). Sin embargo, no fue hasta que Alexander Fleming en 1928 descubrió la penicilina, “el primer antibiótico”. Una sustancia capaz de matar bacterias, o en su defecto, frenar su crecimiento (Mohr 2016). Los antibióticos han sido utilizados en exceso durante las décadas posteriores a su descubrimiento, para controlar infecciones bacterianas con suma facilidad (Hutchings et al. 2019). Todo indicaba que habíamos ganado la batalla contra las infecciones, no obstante, en 1945 Fleming advirtió sobre la gran capacidad bacteriana para cambiar, puesto que con sus experimentos demostró que utilizar dosis bajas de penicilina provocaba que las bacterias lentamente cambiaran su naturaleza y comenzaran a resistir los efectos tóxicos del antibiótico, lo que lo llevó a considerar que el uso negligente de la penicilina podría causar un problema aún más grande que la solución misma (Fleming, 1945). Poco tiempo después de la implementación del uso de los antibióticos, las bacterias mostraron una habilidad oculta para nuestro conocimiento, puesto que naturalmente poseen mecanismos que les permiten tolerar y sobrevivir el efecto tóxico de los antibióticos. Debido a esta habilidad llamada Resistencia Antimicrobiana (RA), las infecciones bacterianas hoy en día son un problema de salud pública que empeora cada vez más (Frieri et al. 2016). Actualmente, la pandemia de COVID-19 ha provocado que se utilicen más antibióticos, ya que en pacientes con COVID-19 los antibióticos se utilizan como un tratamiento preventivo para evitar co-infecciones bacterianas, sin embargo este uso excesivo conlleva a la resistencia a antibióticos, haciendo más obsoleta nuestra defensa contra bacterias (Ukuhor 2020).

Pero ¿cómo fue que llegamos a esta situación? ¿Cómo es que las bacterias pueden volverse resistentes a los antibióticos? Para dar respuesta a esta última pregunta, primero debemos conocer un poco acerca de los antibióticos, entender cuáles son los mecanismos que les permiten a las bacterias generar resistencia; y cómo es que se comparten esta habilidad entre bacterias. Finalmente, entenderemos como una fuerza de selección permite que las Bacterias Resistentes a Antibióticos (BRA) sean las que prevalezcan en un entorno y al mismo tiempo aportar información que permita contribuir a disminuir la propagación de la resistencia.

2. ANTIBIÓTICOS

Para entender cómo las bacterias obtienen RA, es indispensable conocer acerca de la gran variedad de

antibióticos que se utilizan actualmente.

Beta-lactámicos. Dentro de este grupo se encuentra la penicilina y sus derivados, fueron de los primeros antibióticos en ser utilizados para controlar enfermedades infecciosas como la sífilis. Poseen un anillo de cuatro carbonos en su estructura, llamado anillo beta lactámico, el cual interrumpe la síntesis de la pared celular bacteriana y por consecuencia, la bacteria muere (Bonomo 2017).

Sulfamidas. También conocidos como sulfas, éstas son moléculas que contienen un anillo de 6 carbonos unidos a un grupo sulfonamida (-SO₂NH-). A pesar de que la penicilina fue el primer antibiótico descubierto, las sulfamidas fueron los primeros antibióticos en comercializarse y se utilizaron ampliamente en la segunda guerra mundial. Las sulfas impiden el crecimiento bacteriano al evitar la producción de ácido fólico dentro de la bacteria, el cual es indispensable para que los seres vivos puedan producir los componentes básicos del material genético (ADN) (Kapoor et al. 2017).

Aminoglucósidos La estructura de estos antibióticos contienen azúcares aminados y ejercen su efecto principalmente en bacterias Gram negativas. Los aminoglucósidos son producidos naturalmente por distintos microorganismos, un ejemplo es la gentamicina que es producida por la bacteria *Micromonospora purpurea*, o la estreptomycinina producida por actinobacterias del género *Streptomyces* (Germovsek et al. 2017).

Tetraciclinas. Están conformados por cuatro anillos cíclicos de 6 carbonos. Estos antibióticos son considerados de amplio espectro, ya que actúan contra una gran variedad de bacterias, tanto Gram positivas, como negativas. Las tetraciclinas ejercen su efecto al unirse a los ribosomas bacterianos y detener así la producción de proteínas (Gossman 2016).

Glucopéptidos. Son antibióticos que su estructura posee azúcares y aminoácidos. Ejercen su efecto al inhibir la formación de la pared celular bacteriana. Uno de los glucopéptidos más utilizado para tratar infecciones por bacterias Gram positivas es la vancomicina, de especial utilidad por ser capaz de combatir a la bacteria *Staphylococcus aureus* resistentes a meticilina (Kapoor et al. 2017).

Macrólidos Son un grupo de antibióticos que se caracterizan por tener un anillo que contiene más de 12 átomos de carbono. Su mecanismo de acción se basa en impedir la producción de proteínas bacterianas al unirse a los ribosomas. Este grupo de antibióticos solo tiene efecto sobre bacterias Gram positivas (Dinos 2017).

Quinolonas: Son antibióticos que poseen dos anillos en el centro de la molécula. Estos antibióticos funcionan al bloquear la actividad de la DNA-girasa, una enzima esencial en la replicación del DNA bacteriano. Estos fármacos actualmente son utilizados para contrarrestar infecciones causadas por bacterias que poseen resistencia a diferentes tipos de antibióticos, como *Pseudomonas aeruginosa* o

o *S. aureus* meticilina resistente (Bush et al. 2020).

3. MECANISMOS DE RESISTENCIA

Las BRA tienen distintas estrategias para sobrevivir a los efectos tóxicos de los antibióticos. Algunas bacterias sobreviven a estos compuestos al no permitir que lleguen a su interior, otras modifican la estructura molecular del antibiótico para disminuir su toxicidad y otras pueden modificar el objetivo diana del antibiótico con el fin de protegerlo (Blair et al. 2015). A continuación, abordamos estos mecanismos.

Impedir la internalización del antibiótico

Las BRA tienen dos mecanismos para evitar que el antibiótico llegue a su interior. Uno de ellos consiste en disminuir la capacidad de la membrana de permitir que compuestos externos ingresen en la célula bacteriana. Esto lo pueden hacer al reducir la expresión de proteínas llamadas transportadores y porinas, las cuales facilitan la entrada a la célula de compuestos exógenos (Blair et al. 2015). El segundo mecanismo utiliza un conjunto de proteínas llamadas bombas de eflujo, que permiten expulsar las moléculas de antibiótico que pudieron penetrar en la bacteria. Ambos mecanismos son utilizados para mantener una baja concentración de antibióticos dentro de la bacteria de manera que no llegue a ser tóxico y permita su supervivencia (Munita y Arias 2016).

Modificación del antibiótico

Uno de los métodos más eficientes que utilizan las BRA, es modificar directamente la molécula de antibiótico. Poseen enzimas con la capacidad de destruir el antibiótico, un ejemplo de ellas son las β -lactamasas que destruyen la estructura molecular de los antibióticos derivados de las penicilinas (Pontes et al. 2018). Un segundo mecanismo es modificar al antibiótico, esto se realiza mediante otro tipo de enzimas que tienen la capacidad de transferir moléculas pequeñas a diferentes sitios del antibiótico en especial a los grupos funcionales, de esta manera la estructura molecular del antibiótico cambia y por consecuencia disminuye su efectividad. Ejemplos de estas enzimas son las fosfotransferasas o acetiltransferasas que transfieren grupos fosfato y grupos acetilo respectivamente (Blair et al. 2015).

Modificación en la diana terapéutica

Este mecanismo opera de manera similar al anterior, no obstante, aquí se transfieren pequeñas moléculas a los componentes bacterianos que serán afectados por el antibiótico, es decir, a la diana terapéutica del antibiótico. Dicha transferencia evita que el antibiótico ejerza su acción sobre la diana terapéutica de manera habitual (Kapoor et al. 2017). Un ejemplo claro de este mecanismo es el llevado a cabo por la enzima eritromicina ribosoma metilasa, que añade grupos metilo a diferentes sitios del ribosoma y evita el efecto de antibióticos como la eritromicina y la azitromicina

(Reygaert 2018).

Mutaciones

Las mutaciones en el ADN bacteriano también son una fuente importante de RA. En el ADN se encuentra codificada la información necesaria para producir proteínas y diversos componentes celulares, en este sentido, si el ADN bacteriano experimenta cambios en su secuencia debido a una mutación, posiblemente las proteínas, los componentes bacterianos o las dianas terapéuticas de los antibióticos eventualmente cambiarán (Xia et al. 2016). Estos ligeros cambios pueden generar una BRA, ya que un antibiótico solo puede ejercer su efecto bactericida si se une específicamente a su diana terapéutica, sin embargo, los cambios en la diana terapéutica pueden evitar que el antibiótico interactúe con ella (Reygaert 2018). Un ejemplo de este mecanismo es la resistencia a la rifampicina, este antibiótico se une a una proteína celular llamada RNA-polimerasa. En condiciones normales, esta proteína cumple la función de sintetizar moléculas de RNA empleadas en la producción de proteínas, en la formación de componentes celulares (como los ribosomas) etc. Sin embargo, cuando la rifampicina se une a la RNA-polimerasa, ésta se bloquea y detiene la síntesis de RNA provocando que se interrumpan los procesos donde intervienen las moléculas de RNA. No obstante, algunas bacterias han desarrollado resistencia a este antibiótico, debido a que ciertas mutaciones en el gen de la RNA-polimerasa, las cuales provocan que la estructura de la RNA-polimerasa cambie ligeramente su estructura, lo que evita la unión de la rifampicina (Goldstein, 2014).

4. LA HABILIDAD DE COMPARTIR RESISTENCIA A ANTIBIOTICOS

Los mecanismos de RA son eficientes, pero no basta con que una sola bacteria los posea para que sea considerado un problema grave. La problemática radica en que los mecanismos de RA están codificados en genes en el ADN bacteriano, y que las bacterias poseen la habilidad de transferir sus genes de manera rápida y eficiente entre ellas. Esto lo logran por diversos mecanismos, el más común es que lo hereden a sus descendientes (transferencia vertical de genes), es decir, una célula bacteriana se divide en dos, por el proceso conocido como fisión binaria, genera así una célula madre y una célula hija. Ambas células poseen el mismo acervo genético y por lo tanto, las mismas características fenotípicas, es decir en este caso particular mostrarán la misma RA (Fig 1), este ciclo se puede repetir indefinidas veces hasta obtener una población de millones de BRA (Li et al. 2019). Sin embargo, esta no es la única forma en la que estos microorganismos pueden transferir sus genes. Las bacterias poseen la habilidad de compartir su información genética con otras bacterias circundantes mediante tres mecanismos diferentes, los cuales se

se conocen como transferencia horizontal de genes.

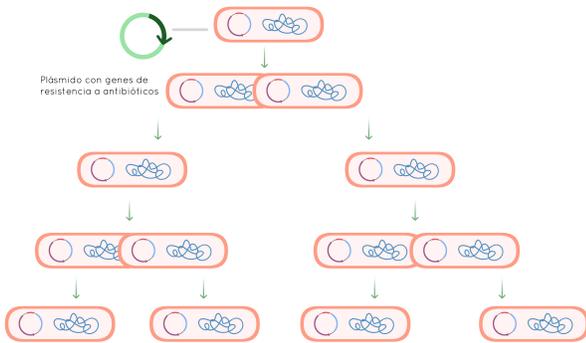


Figura 1. Transferencia vertical de genes. Las bacterias transfieren una copia idéntica de su material genético a sus descendientes, por lo que las células hijas adquieren la RA que posee la célula madre.

La transformación es un proceso celular por el cual una bacteria puede internalizar y utilizar ADN que se encuentra libre en el medio extracelular (Fig. 2A) (Thomas y Nielsen 2005). Por otro lado, la conjugación es una forma por la cual una bacteria puede transferir moléculas de ADN circular llamadas plásmidos, a otras bacterias circundantes, este método de transferencia de genes es clave para la transferencia de RA, debido a que los genes que otorgan RA se encuentran usualmente en plásmidos y en transposones (Fig. 2B). De esta manera una BRA puede transferir los genes de resistencia a una bacteria sensible, y convertirla en una BRA, aunque pertenezcan a especies diferentes (Daubin y Szöllösi 2016). Finalmente, la transducción es un proceso en cierta forma accidental, donde un virus que infecta bacterias puede “robar” fragmentos de ADN bacteriano, y posteriormente insertarlo en otra bacteria, otorgándole nuevos genes y nuevas actividades metabólica, en este caso RA (Fig. 2C) (Von Wintersdorff et al. 2016).

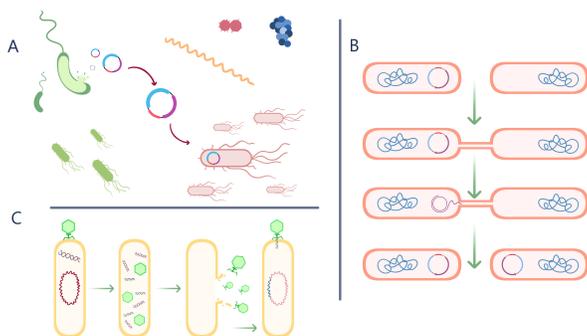


Figura 2. Mecanismos de transferencia horizontal de genes. A: Transformación: Las bacterias tienen la capacidad de internalizar ADN que se encuentre en el medio extracelular, proveniente de otros organismos. B, Conjugación: Una bacteria que posee un plásmido con genes de RA puede transferir una hebra del plásmido a una bacteria que no lo posee, mediante un tubo de conjugación llamado pili. C Transducción. Cuando un virus infecta una bacteria, corta el ADN bacteriano en segmentos, al momento de formar nuevos fagos, accidentalmente pueden “robarse” genes bacterianos, los cuales internalizará en otras bacterias.

5. PROPAGACIÓN DE LA

RESISTENCIA Y SELECCIÓN POR ANTIBIÓTICOS

En adición con los métodos de transferencia genética, existe un fenómeno que favorece la propagación de genes de resistencia entre bacterias, y al que se exponen continuamente las bacterias patógenas de humanos. Este fenómeno es la selección mediada por antibióticos, el cual es un cuello de botella producido por el antibiótico. En otras palabras, una comunidad bacteriana es expuesta a un antibiótico determinado, en consecuencia, todas aquellas bacterias que no poseen ningún mecanismo de resistencia en contra del antibiótico, morirán, mientras que sobrevivirán aquellas bacterias que posean uno o más mecanismos de resistencia. Las bacterias sobrevivientes, se multiplicarán y dejarán descendencia con la capacidad de resistir la toxicidad del antibiótico, es decir, proliferarán comunidades de BRA. Este proceso se puede repetir múltiples veces con diferentes antibióticos en cada exposición, produciendo BRA con resistencia a más de un antibiótico (Fig. 3) (Hughes y Andersson 2017; Martínez 2014).

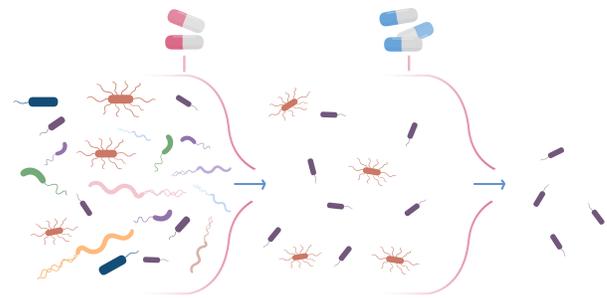


Figura 3. Selección bacteriana por antibióticos. Administrar un antibiótico a una comunidad bacteriana, provoca un cuello de botella, donde mueren todas las bacterias sensibles al antibiótico y sobreviven las BRA. Añadir otro antibiótico diferente, generará otro cuello de botella que va a seleccionar bacterias que posean más de un mecanismo RA.

6. CONCLUSIÓN

Las bacterias poseen diferentes mecanismos para sobrevivir a los efectos bactericidas de los antibióticos. Estos mecanismos se basan en disminuir la internalización del antibiótico, modificar su estructura o generar cambios en las dianas terapéuticas. Las bacterias que no poseen ninguno de estos mecanismos, los puede adquirir mediante transferencia de genes. Una vez que la bacteria ha adquirido los mecanismos de resistencia, tiene la capacidad de transferir dicha RA a su descendencia. Además, otro factor que influye en la propagación de RA es el uso indiscriminado de antibióticos, ya que se promueven cuellos de botella, es decir, la eliminación de bacterias sensibles y la permanencia de BRA.

Hoy en día las BRA son una gran problemática en el ambiente intrahospitalario ya que han encontrado la forma de sobrevivir a la constante “presión de selección” a la que están sometidas. Logran sobrevivir gracias a su habilidad de compartir mecanismos de RA entre ellas, sin embargo esto ha generado “bacterias-súper-resistentes” capaces de resistir a todos los antibióticos de uso clínico. En este sentido, si una persona se adquiere una infección a causa de éste tipo de bacterias, es sumamente difícil su recuperación, dado que ya no tenemos antibióticos eficaces para combatir la bacteria en cuestión. A este paso, las bacterias-súper-resistentes podrían ganar la batalla contra los humanos, por lo que es de vital importancia hacer conciencia del uso adecuado y responsable de los antibióticos, así como seguir apoyando las investigaciones para el descubrimiento y desarrollo de nuevos antibióticos con el fin de frenar la RA y seguir combatiendo las infecciones bacterianas.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a Leonardo Rodríguez por su apoyo en la elaboración de las figuras. Agradecimientos a los profesores de la licenciatura en Microbiología de la Universidad Autónoma de Querétaro.

8. REFERENCIAS

Blair JM, Webber MA, Baylay AJ, Ogbolu D, Piddock LJ. (2015) Molecular mechanisms of antibiotic resistance. *Nat Rev Microbiol.* (1):42-51.

Bonomo RA. (2017) β -Lactamases: A Focus on Current Challenges. *Cold Spring Harb Perspect Med*;7(1):a025239

Bush NG, Diez-Santos I, Abbott LR, Maxwell A. (2020) Quinolones: Mechanism, Lethality and Their Contributions to Antibiotic Resistance. *Molecules*; 25(23):5662.

Daubin V, Szöllösi GJ. (2016). Horizontal Gene Transfer and the History of Life. *Cold Spring Harb Perspect Biol*; 8(4):a018036.

Dinos GP. (2017) The macrolide antibiotic renaissance. *Br J Pharmacol*;174(18):2967-2983.

Fleming, A. (1945). Nobel Lecture “Penicilin”. [Online] Available from <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1945/fleming/lecture/>

Frieri M, Kumar K, Boutin A. (2016) Antibiotic resistance. *J Infect Public Health.* 10(4):369-378.

Germovsek E, Barker CI, Sharland M. (2017) What do I need to know about aminoglycoside antibiotics? *Arch Dis Child Educ Pract Ed*;102(2):89-93.

Goldstein, B. (2014). Resistance to rifampicin: a review. *The Journal of Antibiotics*, 67(9), 625–630.

Grossman TH. (2016) Tetracycline Antibiotics and

Resistance. *Cold Spring Harb Perspect Med*;6(4):a025387.

Hughes D, Andersson DI. (2017) Evolutionary Trajectories to Antibiotic Resistance. *Annu Rev Microbiol*; 71:579-596.

Hutchings MI, Truman AW, Wilkinson B. (2019) Antibiotics: past, present and future. *Curr Opin Microbiol.* ;51:72-80.

Kapoor G, Saigal S, Elongavan (2017) A. Action and resistance mechanisms of antibiotics: A guide for clinicians. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*; 33(3):300-305.

Li B, Qiu Y, Song Y, Lin H, Yin H. (2019) Dissecting horizontal and vertical gene transfer of antibiotic resistance plasmid in bacterial community using microfluidics. *Environ Int*; 131:105007.

Martinez JL. (2014) General principles of antibiotic resistance in bacteria. *Drug Discov Today Technol*; 11:33-9.

Mohr KI. (2016) History of Antibiotics Research. *Curr Top Microbiol Immunol*.398:237-272.

Munita JM, Arias CA. (2016) Mechanisms of Antibiotic Resistance. *Microbiol Spectr*; 4(2):10.1128/microbiolspec.VMBF-0016-2015.

Pontes DS, de Araujo RSA, Dantas N, Scotti L, Scotti MT, de Moura RO, Mendonca-Junior FJB. (2018) Genetic Mechanisms of Antibiotic Resistance and the Role of Antibiotic Adjuvants. *Curr Top Med Chem*; 18(1):42-74

Reygaert WC. (2018) An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiol*; 4(3):482-501.

Thomas CM, Nielsen KM. (2005) Mechanisms of, and barriers to, horizontal gene transfer between bacteria. *Nat Rev Microbiol*; 3(9):711-21.

Ukuhor HO. (2020) The interrelationships between antimicrobial resistance, COVID-19, past, and future pandemics. *J Infect Public Health.* 2021 Jan;14(1):53-60.

von Wintersdorff CJ, Penders J, van Niekerk JM, Mills ND, Majumder S, van Alphen LB, Savelkoul PH, Wolffs PF. (2016) Dissemination of Antimicrobial Resistance in Microbial Ecosystems through Horizontal Gene Transfer. *Front Microbiol*; 7:173.

Xia J, Gao J, Tang W. (2016) Nosocomial infection and its molecular mechanisms of antibiotic resistance. *Biosci Trends*; 10(1):14-21.



NOMENCLATURA COMÚN Y CIENTÍFICA DE LA CHÍA: UNA ICONOGRAFÍA DESDE TIEMPOS PREHISPÁNICOS HASTA NUESTROS DÍAS

Anacleto Sosa-Baldivia^{1,2*}, Guadalupe Ruiz-Ibarra¹, Jorge Alberto Cárdenas-Magaña¹, Emmanuel Vega-Negrete¹

¹Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Unidad Académica. Tamazula de Gordiano Jalisco, México. Carretera Tamazula Santa Rosa 329, 49650 Tamazula de Gordiano, Jalisco, México. 2 Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal. Tlaxcala, 90700 México.

* Autor para correspondencia: A. Sosa-Baldivia. Orquídeas No. 27, Colonia Primavera, CP 49605. Zapotiltic Jalisco, México. Teléfono +052 341 177 08 54. Email: anacleto.sosa.baldivia.az@gmail.com

RESUMEN

De todos los cultivos domesticados en América, la chía es el que más nombres ha recibido. Tomando en cuenta este hecho, el objetivo de este artículo fue presentar una iconografía de la nomenclatura común y científica relacionada con esta especie. En los últimos seis siglos, este cultivo ha adoptado los seis siguientes nombres: (1) *Chian*, nombre común que recibió durante toda la época prehispánica; (2) *Salvia hispanica*, nombre científico que le asignó Carlos Linneo en 1753 en su libro conocido como *Species Plantarum*; (3) Chía, nombre común que le asignó la Academia de la Lengua Española en 1832; (4) *Salvia chian*, nombre binomial que le dio Pablo de la Llave en 1832 al afirmar que la chía no es capaz de crecer en España y otros países de Europa; (5) *Salvia chia*, nombre que Merrit L. Fernald le asignó a la chía de semilla blanca colectada en México en 1900, y que luego Nicolas I. Vavilov usó en 1931 al demostrar que el centro de origen de la chía está localizado en América; y finalmente (6) *Salba*, denominación que en 2006 la compañía Agrisalba SA le dio a la chía de semilla blanca. A nivel global, *Salvia hispanica* es el nombre científico oficial de la chía. Sin embargo, *hispanica* como nombre de la especie todavía causa controversia, ya que es bien conocido que este cultivo no es nativo de España e/Italia sino de México y Guatemala.

Abstract

Of all the domesticated crops in America, chia has received the most names. Taking in account this fact, the objective of this paper is to present an iconography of the common and scientific nomenclature related to this species. Over the last six centuries, this crop has adopted the next six names: (1) *Chian*, a common name it received throughout the pre-Hispanic era; (2) *Salvia hispanica*, scientific name assigned to by Charles Linnaeus in 1753 in his book known as *Species Plantarum*; (3) Chia, a common name assigned by the Academia de la Lengua Española in 1832; (4) *Salvia chian*, binomial name given by Pablo de la Llave in 1832 when stating that chia is not able to grow in Spain and another countries of Europe; (5) *Salvia chia*, name given by Merrit L. Fernald to the white-seeded chia collected in Mexico in 1900, and then Nicolas I. Vavilov used in 1931 when demonstrating that the center of origin of the chia crop is located in América; and finally (6) *Salba*, a name that the company Agrisalba SA gave to white-seeded chia in 2006. Globally, *Salvia hispanica* is the official scientific name for chia. However, *hispanica* as its species name still causes controversy, as it is well known that this crop is not native to Spain and/or Italy, but to Mexico and Guatemala.

Key words: *Chian*, *Salvia hispanica*, chía, *Salvia chia*, *Salba*.

Palabras clave: *Chian*, *Salvia hispanica*, chía, *Salvia chia*, *Salba*.



I. INTRODUCCIÓN

La domesticación de plantas en América inició hace 7,000 años (Villarreal et al., 2008), y de acuerdo con Perales y Aguirre (2008) la alimentación humana con base en vegetales alcanzó su esplendor durante el periodo que floreció la cultura Mexica (1325-1521 D.C.). La lista de cultivos domesticados en América es extensa (Hernández y León, 1994; Perales y Aguirre, 2008), sin embargo, cuando los españoles arribaron a México, las tres principales fuentes alimenticias fueron: maíz, frijol y chía (Pool y Knapp, 2012; Gutiérrez et al., 2014). La importancia del maíz y frijol en la dieta sigue siendo alta, y hoy, aunque México produce 202 plantas comestibles, estos dos cultivos cubren 44 % de su área cultivada (Sosa-Baldivia y Ruiz-Ibarra, 2017). Una excepción es la chía, la cual al no evolucionar como lo hicieron los cultivos con los que convivió en el pasado, hoy no forma parte de la dieta del hombre. Existen varias teorías sobre qué provocó la exclusión de la chía de la canasta básica, pero la más aceptada se asocia con la reducción de la población nativa de México. De acuerdo con Gerhard (1986) en la época prehispánica la población mexicana era 22 millones de habitantes, pero a 100 años después de la conquista sólo quedaban menos de un millón. Inicialmente, esto sólo redujo de forma drástica el consumo de chía, pero en el largo plazo causó la pérdida de toda la cultura que rodeaba este cultivo. Son escasos los relictos que dejó la chía después de ser el tercer alimento más importante de México, de ahí que su historia como cultivo exhibe varias incongruencias. Estas discrepancias resultaron de supuestos y hallazgos erróneamente aceptados por el desconocimiento de esta especie. Algunas de las incongruencias todavía presentes en la literatura son: (1) su nombre binomial (*Salvia hispanica*) que la describe como planta nativa de España (Linneo, 1753); (2) considerar que la prohibición española fue la causa principal de su rezago (de Falco et al., 2017); (3) asegurar que es un cultivo de verano (Ramírez y Lozano, 2015); (4) afirmar que resiste el ataque de plagas y enfermedades (Muñoz et al., 2013); (5) suponer que su requerimiento de fertilización es bajo (Jamboonsri et al., 2012); (6) usar su nombre común para referirse al amaranto, chan, y huauzontle (Alvarado, 2011; García y de la Cruz, 2016); (7) publicar fotos erróneas del cultivo (Rangaraju y Mohan, 2013); y (8) cambiar continuamente su nomenclatura común y científica (Linneo, 1753; de la Llave, 1832, Fernald, 1900, Haugen, 2009; Vuskan, 2010). Con relación a este último punto, es evidente que a nivel global todos los cultivos domesticados han sufrido cambios en su nomenclatura. Con base en lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo es presentar una iconografía de los cambios ocurridos en la nomenclatura común y científica de la chía.

2. NOMENCLATURA COMÚN Y

CIENTÍFICA DE LA CHÍA

Todas las plantas se conocen con al menos dos nombres. El primero, es el nombre común, y su asignación es función del idioma que hablan las personas con las que la especie comparte espacio. Este nombre varía de una región a otra, y está sujeto a confusión ya que una misma especie puede tener varios nombres. El segundo es el nombre científico. Contrario al nombre común este se asigna mediante un estudio minucioso de descripción taxonómica, es exclusivo, universal, y único para cada especie (Arija, 2012). Para ejemplificar la diferencia existente entre la nomenclatura común y científica, en el Cuadro 1, se exhiben los diferentes nombres que se les han asignado a 16 cultivos nativos de América. Esta compilación tuvo como punto de partida el código de Mendoza (1542). Esta es la primera referencia donde se menciona el nombre común de varios cultivos, entre los que se encuentra el maíz, frijol, chía y amaranto. También se incluye un recuento de la literatura publicada en la época colonial y se finaliza con una revisión de la nomenclatura común y científica hasta el tiempo presente.

Cuadro 1. Cambios en la nomenclatura común y científica ocurridos en 16 cultivos domesticados en América. Tomado de Sosa et al. (2018a).

Nombre científico	Año	Nombre Nahuatl	Nombre Ingles	Año	Nombre Español	Año	Moderna	Año
<i>Salvia hispanica</i> L.	1753	Chian ^{9a}			Chia	1832	Salba	2006 ¹⁴
<i>Salvia chian</i> L.	1832							
<i>Salvia chian</i> Fern.	1900							
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	1753	Xictomatl ^{10a}	Tomato	1604 ^{10a}	Jitomate	1604 ^{10a}		
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	1754	Tomatl ^{10a}		1604 ^{10a}	Tomate	1604 ^{10a}		
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	2012							
<i>Zea mays</i> L.	1753	Centli ^{10a}	Corn, Maize	¿	Maiz	1542 ^{10a}		
<i>Persea Americana</i> Mill.	1754	Ahuacatl ^{10a}	Avocado	1697 ^{10a}	Aguaquite	1697 ^{10a}		
<i>Theobroma cacao</i> L.	1753	Cacaual ^{10a}	Cocoa	1672 ^{10a}	Cacao	1542 ^{10a}		
<i>Opuntia ficus-cactus</i> Mill.	1768	Nopalli ^{10a}	Opuntia cactus	¿	Nopal	1578 ^{10a}		
<i>Convolvulus batatas</i> L.	1753	Camotl ^{10a}	Sweet potato	1842 ^{10a}	Camote	1842 ^{10a}		
<i>Ipomoea batatas</i> Lam.	1791							
<i>Capsicum annuum</i> L.	1753	Chilli ^{10a}	Chilli, pepper	1662 ^{10a}	Chile	1662 ^{10a}		
<i>Pachyrhizus erosus</i> L.	1753	Xicamatl ^{10a}	Yam bean	¿	Jicama	1604 ^{10a}		
<i>Helianthus annuus</i> L.	1753	Chimacatl ^{10a}	Sunflower	¿	Girasol	¿		
<i>Sechium edule</i> Jacq.	1760	Chayotl ^{10a}	Vegetable pear	¿	Chayote	1884 ^{10a}		
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	1753	Etl ^{10a}	Bean	¿	Frijol, frijol	1542 ^{10a}		
<i>Cucurbita pepo</i> L.	1753	Ayotl ^{10a}	Pumpkin	¿	Calabacita	1542 ^{10a}		
<i>Amaranthus hybridus</i>	1753	Huautli ^{10a}	Amaranth ^{10a}	¿	Bledo	1542 ^{10a}	Alegria	1880 ^{10c}
<i>Hypis suaveolens</i> (L.) Poit	1806 ^f	Chianzototl ^{10a}			Chia de colima	1887 ^{10c}	Amaranto	1832 ^{10b}
<i>Chenopodium nuttalliae</i>	1753	Huanquilitl ^{10a}			Huauzontle	1888 ^{10a}	Chan	1886 ⁹

Fuente: ^{9a}Haugen, 2009; ^{10a}Mendoza, 1542; ^{10b}García, 1888; ^{10c}Tropicos.org, 2017; ^{10d}HCP, 1880; ^{10e}Washington, 1832; ^{10f}Rodríguez, 1886; ^{10g}Urbina, 1887; ^{10h}Hernández, 1615; ¹⁰ⁱVuskan et al., 2010.

2.1. Chian, Nombre Común Asignado por los Mexicas

En la época prehispánica a la chía se conoció con el nombre de chian (Mendoza, 1542; Farfán, 1610; Hernández, 1615) y hasta antes de arribar los españoles a América, el maíz, el frijol y la chía fueron la base alimenticia de la población nativa de varias regiones de México. Tal fue el caso del pueblo Totorame en Chametla Sinaloa, los Tlahuicas en Chamilpa Morelos, los Nahuas en Olinala y Temalacatzingo Guerrero, y los Mexicas en el valle central (Sosa et al., 2018b). La chía fue el tercer cultivo más consumido, y su importancia llegó a ser tan grande que además de formar parte de los tributos que anualmente los pueblos dominados les entregaban a los Mexicas, también se usó como ofrenda en rituales religiosos (Figura 1 a, b, y c).

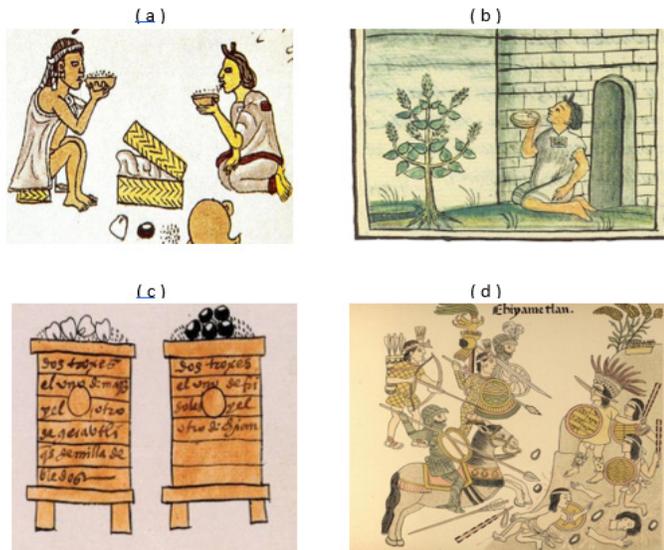


Figura 1. Grabados de la época prehispánica que resaltan la importancia de la chía en: (a) la alimentación (Mendoza, 1542); (b) los rituales religiosos (Cahill, 2003); y (c) el sistema tributario de los Mexicas (Mendoza, 1542). Adicionalmente, en (d) se exhibe el pictograma sobre chíá que fue incluido en un códice que recuerda la conquista de Chiyametlan (hoy Chametla), Sinaloa México por Nuño de Guzmán en 1531 (Opko, 2012).

Chian en Nahuatl significa aceitoso, con base en este adjetivo, los mexicas denominaron chian a la semilla cosechada y/o recolectada de diferentes especies del género *Salvia* cuyo carácter distintivo es su alto contenido de aceite (*S. polystachya*, *S. tiliifolia* y *S. columbariae*), pero principalmente para hacer alusión a *S. hispanica*. Esta última especie, es la que varias culturas de México ya cultivaban desde antes que los españoles llegaron a América (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cambios de nomenclatura común y científica ocurridos en la chíá a través de su historia como cultivo.

Periodo	Nomenclatura	Antecedente histórico	Fuente
Antes de 1550	Chian	En tiempos prehispánicos, la chíá se conoció como chian. Después de la conquista española se continuó usando este término para referirse a esta especie.	Mendoza, 1542
1550-1810	Chian	De acuerdo con la literatura publicada, durante toda la época colonial se continuó usando el término <i>chian</i> para referirse a la chíá en México.	Hernández, 1615; Farfan, 1610; Vétancourt, 1698.
1753-a la fecha	<i>Salvia hispanica</i> L.	En 1753, Carlos Linneo en su obra conocida como <i>Species Plantarum</i> , le asignó el nombre científico de <i>Salvia hispanica</i> , actualmente, este sigue siendo el estándar de referencia entre la comunidad científica de todo el mundo.	Linneo, 1753
1832-a la fecha	Chia	En 1832, el diccionario de la lengua española sustituyó el término <i>chian</i> por el de <i>chia</i> . Actualmente este es el nombre común con el que se conoce a esta especie.	Haugen, 2009
1832-1887	<i>Salvia chian</i> LL.	Pablo de la Llave, considerando que la chíá no es capaz de crecer en España, pensó que se trataba de una nueva especie y la llamó <i>Salvia chian</i> .	De la Llave, 1832; Urbina, 1887.
1900-1931	<i>Salvia chia</i> Fer.	En 1900, el botánico Merritt L. Fernald, le asignó el nombre de <i>Salvia chia</i> , esta nomenclatura la usó Nicolás I. Vavilov para referirse a esta especie en 1931 al demostrar que México y Guatemala son su centro de origen.	Fernald (1900); Vavilov, 1931.
2006 a la fecha	Salba	En 2006, Agrisalba SA en Perú a la semilla blanca producida con las variedades Sahi Alba 911 y 912 le dio la denominación de <i>Salba</i> .	Vuskan, 2010; Salba, 2017
2012-presente	<i>Salvia hispanica</i> L.	Desde el 23 de marzo de 2012, el nombre oficialmente aceptado de la chíá es <i>Salvia hispanica</i> L.	The Plant List, 2021

Uno de los registros donde se resalta la importancia de la chíá, se encuentra en el Yaotlacuiloli (el libro de guerra de los Tlaxcaltecas). Este códice hoy se conoce como el Lienzo de Tlaxcala (Bueno, 2010), y fue en una de sus láminas donde los historiadores Tlaxcaltecas recrearon una escena que recuerda la toma de Chiyametlan por Nuño de Guzmán en 1531 (Figura 1d). En la parte superior derecha del grabado se encuentra el dibujo de tres plantas de chíá, y una vasija con semillas. La inclusión de un pictograma de la chíá en la lámina del códice antes señalado posiblemente se debió a que cuando los españoles entraron en la región de

Chiyametlan encontraron extensos campos sembrados con chíá. Los registros del Códice de Mendoza (1542) indican que en Tenochtitlan (hoy la ciudad de México) anualmente se consumían entre 4,000 a 15,000 toneladas de chíá. Una vez que los españoles conquistaron México, hay evidencias de que ellos también le tomaron aprecio a esta especie, y en señal de aceptación, además de permitir su cultivo, también continuaron nombrando a su semilla chian. Como se aprecia en la Figura 2, toda la literatura que se imprimió entre 1542 y 1698 se siguió usando el término chian, nombre que le asignaron los mexicas, y cuya vigencia se mantuvo hasta el primer tercio del siglo XIX.

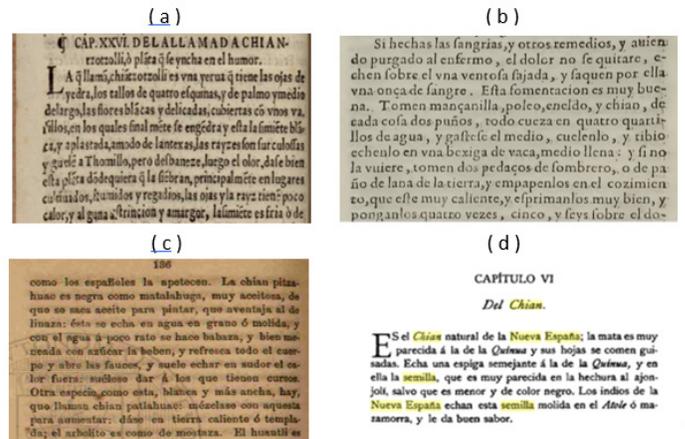


Figura 2. Publicaciones sobre la chíá realizadas entre 1615 y 1890 en México. Hernández, 1615 (a); Farfán, 1610 (b); Vétancourt, 1698 (c); y Cobo, 1890 (d).

2.2. *Salvia hispanica*, Nombre Asignado por Carlos Linneo

Como parte de la estandarización del lenguaje científico global, Carlos Linneo (1753) en su obra conocida como *Species Plantarum* le asignó el nombre de *Salvia hispanica*. En latín este nombre significa planta de España que salva. Por casi 100 años (entre 1832-1931) hubo cierta resistencia para aceptar esta nomenclatura, esto debido a que se le detectaron dos incongruencias. La primera se asoció con su sitio de colecta, según Linneo (1753) la chíá se colectó en Italia y España. Con base en este hecho, a la especie se le denominó hispanica, lo que la define como originaria de España. Desde 1832 se conoce que esto es falso, ya que la chíá no es capaz de crecer en este país y otras naciones de Europa porque el frío la mata antes de producir semilla (de la Llave, 1832; Urbina, 1887), y fue Cristóbal Colón quien la llevó de México a España (Urbina, 1887; Fernald, 1900). La segunda inconsistencia se asocia con su clasificador. Según López (2007) fue Pehr Löfving, un discípulo de Linneo, quien, tras colectarla en campos de Madrid España, la nombró *S. hispanica*. Ambas inconsistencias se reconocieron desde 1832, y en señal de desacuerdo, varios investigadores incluyeron un signo de interrogación tanto a la especie (*S. hispanica?*) (ver Guibourt, 1849; Maisch, 1882; Soubeiran, 1887); como a la inicial del apellido de Linneo (*S. hispanica L?*) (ver AMQP, 1832; Orozco, 1856), e incluso, algunos como de la Llave (1832) y Urbina (1887) optaron por

cambiar su nombre científico. A pesar de todo lo antes señalado, la corrección de estas inconsistencias no se hizo, esto posiblemente debido al peso que Linneo ejercía ante la comunidad científica.

2.3. Chía, Nombre Asignado por la Academia de la Lengua Española

Las modificaciones en la nomenclatura de la chía continuaron y en 1832 la Academia de la Lengua Española decidió cambiar su nombre original (chian), por chía (Haugen, 2009). En el corto plazo, esta medida estandarizó su nombre vulgar en todo el mundo, pero a la larga causó confusión, especialmente entre los autores no familiarizados con conceptos de taxonomía y botánica vegetal. En consecuencia, aunque varios escritores usaron correctamente el término para referirse a todas las especies del género *Salvia* (*S. hispanica*, *S. polystachya*, *S. tiliifolia* y *S. columbariae*), algunos también por error nombraron chía a plantas de diferente género. Como ejemplo se pueden mencionar al amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*) (de la Cruz y García, 2007), chan (*Hyptis suaveolens*) (Alvarado 2011), plantago (*Plantago psyllim*) (Ramírez y Alcocer, 1900) y huazontle (*Chenopodium nuttalliae*) (Kistler y Shapiro 2011) (Figura 3).

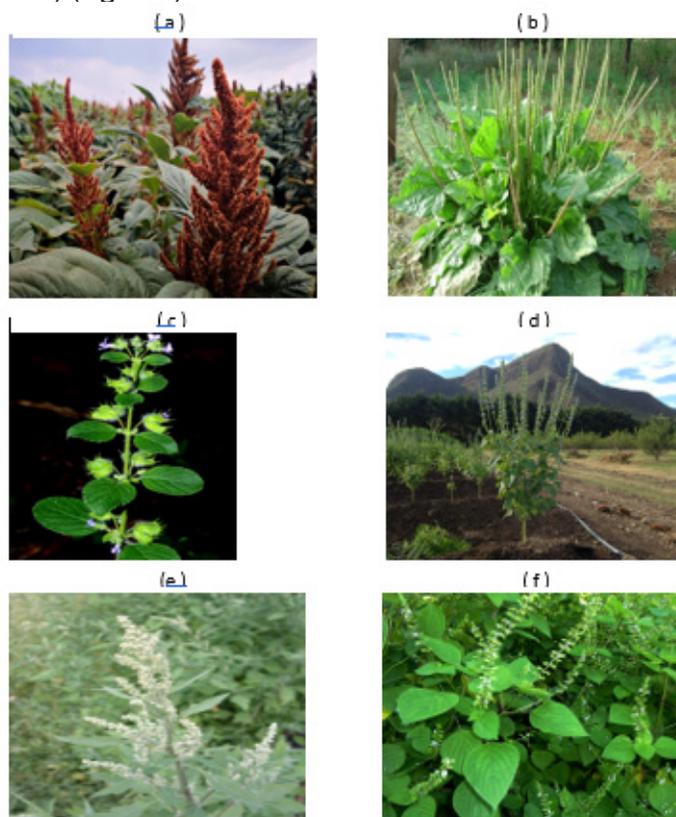


Figura 3. Plantas que históricamente se les ha llamado chía. *Amaranthus hypocondriacus* (a); *Salvia hispanica* (b); *Plantago psyllim* (c); *Hyptis suaveolens* (d); *Chenopodium nuttalliae* (e); y *Salvia tiliifolia* (f). Figuras a, c, y f fueron tomadas de Grupo de Enlace Amaranto México (2019), Tng (2015); y Wikipedia (2021), respectivamente.

Ayerza y Coates (2006) sugieren que los españoles al desconocer el idioma Nahuatl utilizaron el término chía para referirse a plantas de diferente género. Sin embargo, estos

investigadores no presentaron evidencias científicas para sustentar su tesis. De acuerdo con Sosa et al. (2018b), y como se puede apreciar en la Figura 1c, el amaranto era una especie bien conocida por los españoles, y la diferenciaban de la chía dándole el nombre de blede. Los Mexicanos por su parte al amaranto ya le habían asignado un nombre común y le llamaban Huautli (Cuadro 1). Al igual que con el amaranto, los hispanos también diferenciaban a la chía del plantago, a esta última especie la conocían como zaragatona y/o psyllium (Guibourt, 1849; Maisch, 1882; Urbina 1887; Soubeiran, 1887). El uso incorrecto del término chía posiblemente comenzó después de 1832, año en que esta palabra se anexó al diccionario español (Haugen, 2009). De acuerdo con la literatura consultada, uno de los primeros autores que usó incorrectamente el término chía fue Cobo (1890). Como se puede apreciar en la Figura 2d, este autor menciona que se consumía en estado tierno, su inflorescencia es similar a la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su semilla, aunque más diminuta se parece al ajonjolí. Está claro que este autor confundió a la chía con el huazontle (*Chenopodium nuttalliae*) el cual se consume en fresco, y tanto la planta como su semilla es similar a la quinoa. A la afirmación anterior la sustenta el hecho de que ambos cultivos pertenecen al género *Chenopodium*. En la Figura 3b y 3e se pueden corroborar las diferencias morfológicas entre la chía y el huazontle. Por su parte Ramírez y Alcocer (1900) también utilizaron erróneamente el término chía para referirse a plantas de género diferente. Estos autores nombraron chía a diferentes especies del género *Salvia*, pero también al chan y plantago.

2.4. *Salvia chia*, nombre asignado por Merritt L. Fernald y que Nicolas I. Vavilov usó cuando demostró su origen geográfico

Una vez que el diccionario español acuñó el término chía, su aceptación fue inmediata, y a la fecha este es el nombre común que recibe a nivel global. Esto no sucedió con su nombre binomial, el cual causó controversia entre la comunidad científica. Pablo de la Llave (1832), considerando que la chía no es capaz de crecer en España, a la especie le cambió el nombre y llamó *Salvia chian* (Urbina, 1887). Este nuevo nombre lo adoptaron algunos investigadores de esa época entre los que se puede mencionar Urbina (1887) y García (1893), pero a inicios del siglo XX, Merritt L. Fernald (1900) se lo cambió a *Salvia chia*, pero haciendo la observación de que este nombre científico es específico para la chía de semilla blanca. Esta nomenclatura binomial fue la que Vavilov (1931) usó cuando dio a conocer que el verdadero centro de origen de la chía se localiza en América, e incluye regiones de México y Guatemala. Después de 1931, la comunidad científica dejó de resaltar las inconsistencias asociadas con su nombre científico, y finalmente, el 23 de marzo de 2012 se aceptó a *S. hispanica* como su nombre oficial (The Plant List, 2021).

2.5. Salba, denominación que le dio la compañía Agrisalba SA en 2006

La chía fue el tercer alimento más importante del México prehispánico, pero al iniciar el siglo XX, ya solo era una especie exótica usada para preparar agua fresca. De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura durante 1932 en México se cultivaron 38 ha de chía, siendo Jalisco, Puebla y Guerrero los tres principales productores (Rulfo, 1937). En ese tiempo poco se sabía de sus bondades nutricionales, de ahí que, hasta 1990, su producción y consumo se realizó exclusivamente en territorio mexicano. Su integración al mercado global comenzó en 1991 a través del proyecto "Northwestern Argentina Regional Project" que se condujo en Argentina (Ayerza y Coates, 2006). La implementación de la tecnología generada con este proyecto tuvo tanto impacto que de 500 ha sembradas en México en 1993 (Orozco, 1993), esta superficie aumentó a 370,000 ha en 2014 en todo el mundo (Peperkamp, 2015). Actualmente la chía es considerada la fuente más barata y sustentable de ácidos grasos poliinsaturados omega 3, esta bondad nutricional ha hecho que su comercialización hoy se extienda a todo el mundo, y de acuerdo con el mapeo más reciente su producción se realiza al menos en 40 países (Figura 4).

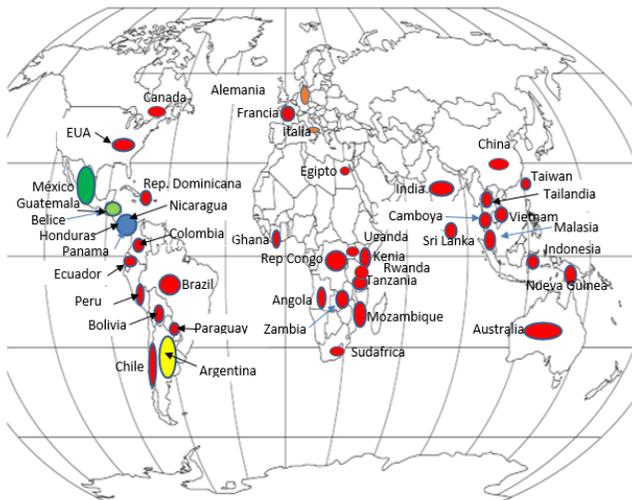


Figura 4. Dispersión global de la chía. Los puntos sombreados en verde, azul, amarillo y rojo representan las zonas cultivadas en: tiempo precolombino, (3500 AC-1000 DC); tiempo precolombino tardío (1000 -1500 DC); tiempo postcolombino (1500 - 2000 DC); y tiempo moderno (2010-2021), respectivamente. Tomado de Sosa et al. (2018a) con actualización hasta 2021.

Un hecho que ayudó a difundir las cualidades nutricionales de la chía alrededor del mundo, fue la mercadotecnia que en 2006 implementó Agrisalba SA. Esta compañía peruana además de afirmar que la semilla blanca de sus variedades Sahi Alba 911 y Sahi Alba 912 es nutricionalmente superior a la los cultivares de semilla negra nativos de México (Pinta Acatic y Negra Puebla); también le cambió el nombre a "Salba" (Vuskan, et al., 2010). Hasta la fecha, la compañía Salba (2021) sostiene que Salba supera en calidad nutricional a la chía negra. Sin embargo, no existen datos duros que sustenten esta afirmación. Con relación a este tópico, la

literatura publicada contradice esta afirmación, ya que los resultados de los estudios que han comparado el perfil nutricional de ambos fenotipos no avalan una superioridad nutricional de Salba (semilla blanca) sobre la chía regular (Ayerza, 2013; Bueno et al., 2016; Cassidy, 2017; de Falco et al., 2017).

3. ES CORRECTO USAR SALVIA HISPANICA COMO NOMBRE BINOMIAL?

De 1542 a la fecha, el nombre común de la chía sufrió tres modificaciones (chian, chía, y Salba), sin embargo, a nivel global hoy solo se conoce con el nombre que le asignó el diccionario español en 1832. Salba como nombre común no tuvo aceptación, y hoy prácticamente es un cliché mercadotécnico que solo causa confusión entre los consumidores de esta oleaginosa y su uso se limita a un pequeño segmento del mercado internacional. El nombre científico de la chía también ha sufrido varias modificaciones, pero desde marzo 23 de 2012 su nombre oficial es el que Linneo le asignó hace 268 años (*S. hispanica* L.) (The Plant List, 2021a). Las inconsistencias asociadas con este nombre condujeron a que por casi 100 años su aceptación fuera cuestionada; al menos así lo sugieren varias publicaciones que se realizaron entre 1832 y 1931. A este respecto, de la Llave (1832), Urbina (1887), Fernald (1900) y Vavilov (1931) coinciden en que la especie de Salvia que domesticaron los pueblos nativos de México, y que Linneo bautizó como *S. hispanica* jamás pudo haberse colectado en España. La pregunta que surge es: ¿por qué a la fecha no se ha corregido esta inconsistencia? La corrección de la nomenclatura binomial es una práctica común, y como ejemplos Sosa et al. (2018a) reportan los cambios de nombre científico que exhibieron los cultivos de camote (*Convolvulus batatas* fue cambiado a *Ipomoea batatas*) okra (*Hibiscus esculentus* cambió a *Abelmoschus esculentus*) y jitomate. Con relación a esta última especie, el 18 de abril de 2012 toda la comunidad científica aceptó volver a usar el nombre científico que le asignó Linneo en 1753 (*Solanum lycopersicum*) (The Plant List, 2021b). En el pasado, este nombre lo reemplazó el que de acuerdo con Tropicós (2021) le asignó Phillip Miller en 1768 (*Lycopersicum esculentum*) y cuya vigencia fue 244 años. Una vez que *S. lycopersicum* fue aceptado, toda la literatura publicada sobre jitomate inmediatamente se alineó con su nueva nomenclatura (Sosa et al., 2018a). A diferencia de lo ocurrido con el jitomate, en chía todavía sigue sin corregirse el nombre que Linneo por error le asignó a la especie. No queda duda de que Salvia es el género más apropiado para la chía, ya que en realidad es una planta que salva; pero usar *hispanica* como especie es erróneo ya que está demostrado que la chía no es nativa de España, sino de México y Guatemala.

CONCLUSIONES

La nomenclatura común y binomial de la chía ha sufrido cambios continuos a través del tiempo; sin embargo, a la fecha chía y *S. hispanica* son los dos nombres con los que se le conoce en todo el mundo. Históricamente, *hispanica* como nombre de la especie -ha sido y seguirá siendo tema de controversia, ya que la chía no es nativa de España, sino de México y Guatemala.

LITERATURA CITADA

Alvarado RID (2011) Caracterización de la semilla de chan (*Salvia hispanica* L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. 23: 43-49.

Arija CM (2012) Taxonomía, sistemática y nomenclatura, herramientas esenciales en zoología y veterinaria. REDVET. 13 (7): <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070712.html>.

Ayerza R (2013) Seed composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes which differ in seed color. Emir. J. Food Agric. DOI: 10.9755/ejfa.v25i7.13569.

Ayerza R, Coates W (2006) Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los Aztecas. Ed. Del nuevo extremo S.A. Buenos Aires, Argentina.

AMQP (Academia Medico Quirúrgica de Puebla) (1832) Ensayo para la materia medica mexicana. Puebla, Puebla. 101 p.

Bueno BI (2010) El lienzo de Tlaxcala y su lenguaje interno. Anales del Museo de América. 18: 56-77.

Bueno M, González M, Quiroga M, Severin C, Busilacchi H (2016) Caracterización de semillas blancas y negras de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). Agromensajes. 46: 1-7.

Cahill JP (2003) Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). Econ Bot. 57: 604-618.

Cassiday L (2017) Chia: superfood or superfat. INFORM. 28 (1): 6-13.

Cobo B (1890) Historia del nuevo mundo. Tomo I. Publicado por primera vez con notas e ilustraciones de Marcos Jiménez de la Espada. Sociedad de Bibliófilos Andaluces. Sevilla, España. 530 p.

de Falco B, Amato M, Lanzotti V (2017) Chia seeds products: an overview. Phytochem Rev. DOI 10.1007/s11101-017-9511-7.

de la Cruz TE, García AM (2007) Mejoramiento de pseudocereales en el ININ. Contacto Nuclear 48. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Centro Nuclear. 35-40.

de la llave P (1832) Sobre una nueva especie diferente de *Salvia*. Registro Trimestre: 441-448.

Farfán A (1610) Tratado breve de medicina y de todas las

enfermedades. Empronta Geronymo Balli. México, México. 261 p.

Fernald LM (1900) A synopsis of the mexican and central american species of *Salvia*. Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. 25 (25): 12-14.

García AJM, de la Cruz TE (2016) Las chías de México. ININ. Contacto Nuclear. 14-18.

García CA (1893) México its trade, industries and resources. Office of Department of Foment, Colonization and Industry. México, México.

Gerhard P (1986) Geografía histórica de la nueva España (1519-1821). UNAM. D.F. México. 134 p.

Grupo de Enlace Amaranto Mexicano (2019). <https://www.facebook.com/grupodeenlace.amarantomexicano/posts/1338091386353479>.

Guibourt G (1849) *Semence de chia*. Journal Pharmacie et de Chimie.

Gutiérrez TR, Ramírez VLM, Vega LS, Fontecha J, Rodríguez ML, Escobar MA (2014) Contenido de ácidos grasos en semillas de chía cultivada en cuatro estados de México. Revista Cubana de Plantas Medicinales 19: 199-207.

Haugen DJ (2009) Borrowed borrowings: nahuatl loan words in english. LEXIS Journal in English Lexicology 3: 63-106.

Hernández F (1615) Qvatro libros de la natvraleza y virtvdes de las plantas, y animales que eftan receuidos en el vfo de la medicina en la Nueva Epaña. Casa de la viuda de de Diego Lopez Davalos. Calle de Tacuba, México, México.

Hernández BJE, León JV (1994) Neglected crops: 1492 from a different perspective. Plant production and Protection series no 26. FAO. Rome, Italy.

Jamboonsri W, Phillips DT, Geneve LR, Cahill PJ, Hildebrand FD (2012) Extending the range of and ancient crop (*Salvia hispanica* L.) –a new omega-3 source. Gen. Resour. Crop Evol. 59: 171-178.

Kistler L, Shapiro B (2011) Ancient DNA confirms a local origin of domesticated chenopod in eastern. Journal of Archeological Science 38 (12): 3549-3554.

Linneo C (1753) *Species Plantarum* Sections I-III. 127 p. www.gutenberg.org.

López JN (2007) Las plantas vasculares de la comunidad de Madrid. Catalogo florístico, claves dicotómicas y estudio detallado de la familia Compositae Giseke. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España. 409 p.

Maisch MJ (1882) On chia and allied species of *Salvia*. American Journal of Pharmacy. 54. May: 229- 234.

Mendoza A (1542) Códice de Mendoza. <https://polemologia.files.wordpress.com/2014/07/codicemendoza.pdf>

Muñoz AL, Cobos A, Díaz O, Aguilera JM (2013) Chia seed (*Salvia hispanica*): an ancient grain and a new functional food. *Food Reviews Internationa*. 29(4):294-308.

Olko J. (2012) El otro y los estereotipos étnicos en el mundo nahua. *Estud. Cult. Náhuatl*. 44: 165-198.

Orozco B (1856) Apéndice al diccionario universal de historia y geografía. Colección de artículos relativos a la República Mexicana. Tomo II, IX de la obra. Imprenta de JM Andrade y F Escalante. México, México.

Orozco DRG (1993) Evaluación de malezas para el control de malezas en chíá (*Salvia hispanica* L.) en condiciones de temporal en Acatic, Jalisco. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México. 81 p.

Perales HR, Aguirre RJ (2008) Biodiversidad humanizada, en capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 565-603.

Peperkamp M (2015) CBI tailored intelligence: chia from Bolivia 'a modern super seed in a classic pork cycle?. CBI Ministry of Foreign Affairs. The Hague, Netherlands. 16 p.

Pool A, Knapp S (2012) Lamiaceae. *Flora Mesoamericana*. 4(2): 1-195.

Rangaraju A, Mohan KU (2013) A Pharmacognostic study on *Salvia hispanica*. *AJPHR*. 1(9): 27-37.

Ramirez JJ, Lozano CGM (2015) Potential for growing *Salvia hispanica* L. areas under rainfed conditions of México. *Agric. Sci*. 6: 1048-1057.

Ramirez J, Alcocer VG (1900) Sinonimia vulgar y científica de las plantas mexicanas. Oficina Tipográfica de la Secretaria de Fomento. DF, México.

Rulfo JM (1937) La chíá. *Agricultura*. 1:28-37.

Salba (2021) Salba chia vs regular chia. <http://salbasmart.com/why-salba-chia/comparisons/>.

Sosa-Baldivia A., Ruiz-Ibarra G, Johnson F, Robles dITRR, Robles-López MR, Sharma M, Liu X (2018^a). A historical review of the scientific and common nomenclature associated with chia: From *Salvia hispanica* to *Salvia mexicana* and *Chian* to *Salba*. *Agri Res. Tech. Open Access J*. 18(1): ARTOAJ.MS.ID.556047

Sosa-Baldivia A, Ruiz-Ibarra D, RR Robles dITRR, Robles LR, Montufar LA (2018b) The chia (*Salvia hispanica*): past, present, and future of an ancient Mexican crop. *AJCR*. 12(10):1626-1632.

Sosa-Baldivia A, Ruíz-Ibarra G (2017) La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de Población*. 23(93): 207-230.

Sosa A, Ruiz G, Rana J, Gordillo G, West H, Sharma M, Liu X, Robles dITRR (2016) Chia crop (*Salvia hispanica* L.): its

history and importance as a source of polyunsaturated fatty acids omega-3 around the world: a review. *J. Crop Res. Fert*. 1: 104: 1-9.

Soubeiran L (1887) Etude de la semence de chia. *Journal Pharmacie et de Chimie*.

The Plant List (2021a). *Salvia hispanica*. <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=salvia+hispanica>

The Plant List (2021b). *Solanum lycopersicum* L. <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=solanum+lycopersicum>.

Tng D (2015) Leaf whispering in the tropics (*Hiptys suaveolens* Lamiaceae). <https://florafnq.wordpress.com/2015/02/07/hyptis-suaveolens-lamiaceae/>.

Tropicos. 2021. *Lycopersicum esculentum* Mill. <https://www.tropicos.org/name/Search?name=Solanum%20Lycopersicum>

Urbina M (1887) La chíá y sus aplicaciones. *La Naturaleza. Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 1: 27-36.

Vavilov IN (1931). México y Centroamérica como centro básico de origen de las plantas cultivadas del nuevo mundo *Revista de Geografía Agrícola* (1994 rep.). 20: 15-34.

Vetancourt A (1698) Teatro mexicano. Tomo I. Biblioteca Histórica de Iberia. México, México.

Villarreal ZD, García-Marin D, Colunga P (2008) El origen de la agricultura, la domesticación de plantas, y el establecimiento de corredores biológico culturales en Mesoamérica. *Revista de Geografía Agrícola*. 41: 85-113.

Vuksan V, Jenkins LA, Dias GA, Lee SA, Jovanovski E, Rogovik LA, Hanna A (2010) Reduction in postprandial glucose excursion and prolongation of satiety: possible explanation of the long-term effects of whole grain Salba. *European Journal of Clinical Nutrition*. 64: 436-438.

Wikipedia (2021) *Salvia tiliifolia*. https://es.wikipedia.org/wiki/Salvia_tiliifolia

EL PICUDO (*SCYPHOPHORUS ACUPUNCTATUS*) UN GRAN ENEMIGO DEL AGAVE EN MÉXICO

Frida Escamilla Barragán¹, José Heriberto Aguilar Aguilar¹, Soley Berenice Nava Galicia², Rosalía Juárez Atonal², Luis Jesús Martínez Tozcano², Martha Dolores Bibbins Martínez².

¹Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala

²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada-Instituto Politécnico Nacional

*e-mail: mbibbinsm@ipn.mx

RESUMEN

El cultivo del agave es muy importante en México por motivos económicos y socio-culturales, sin embargo, este cultivo se ve severamente afectado por una plaga conocida como picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*). El insecto barrena las pencas llegando al interior de la planta, al hacer esto provoca lesiones que posteriormente son infectadas por hongos y/o bacterias que pudren el agave hasta que muere. En este artículo de divulgación se habla del picudo del agave, su ciclo biológico, los daños que este provoca en la planta y del control biológico como una excelente alternativa para su control dentro de un manejo integrado de plagas.

PALABRAS CLAVE: *Scyphophorus acupunctatus*, picudo, agave, control biológico

Abstract

The agave crop has a huge importance in México because of economic and sociocultural reasons, however this crop is severely affected by a pest known as agave weevil (*Scyphophorus acupunctatus*). The insect burrows into the agave stalk reaching the interior of the plant, doing this causes lesions that are subsequently infected by fungi and/or bacteria that rot the agave until it dies. This article highlights several aspects about the agave weevil, its biological cycle, the damage it causes in the plant and the biological control as an excellent alternative for its control within an integrated pest management to control agave weevil.

KEYWORDS: *Scyphophorus acupunctatus*, weevil, agave, biological control.



I. INTRODUCCIÓN

Los agaves son una familia de plantas de gran importancia en México las cuales han sido parte tanto de la cultura como de la historia del país. El género *Agave* consta de 273 especies, de las cuales 165 crecen en nuestro país (Espinosa, 2015).

Estas plantas tienen una gran versatilidad al ser capaces de proveer alimento, bebida, fibras naturales e incluso material para construir (Vázquez et al., 2016); mismas cualidades que les valieron al momento de levantar grandes industrias en México como las grandes haciendas pulqueras en Tlaxcala, Hidalgo y Estado de México a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Ramírez, 2000) o el del henequén en Yucatán (Fideicomiso de Riesgo Compartido [FIRCO], 2017), cuya industria proveyó de grandes cantidades de fibras durante el siglo XX. Y aunque estas dos industrias se han visto reducidas hasta el punto de casi desaparecer, se mantienen vigentes a pequeña escala (Vázquez et al., 2016). Sin embargo, no podemos olvidarnos de la industria tequilera y mezcalera principalmente en los estados de Jalisco y Oaxaca, las cuales se mantienen en crecimiento constante (Consejo Regulador del Tequila [CRT], 2018; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2018).

Sin embargo, el agave es el principal hospedero de un escarabajo llamado comúnmente picudo del maguey, picudo de los agaves o simplemente picudo (Servín et al., 2006). El cual, como parte de su ciclo de vida, perfora estas plantas, posibilitando que microorganismos causen pudrición en ellas, lo que da como resultado un desarrollo reducido o atrofiado, o incluso la muerte de ellas (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2016). Valdés et al., (2004), reportan que en el estado de Yucatán las pérdidas por este insecto son hasta de un 40% por lo cual se recurre a productos químicos para su control, sin embargo, este resulta poco efectivo debido a que el insecto se encuentra dentro de los tejidos de la planta, además del impacto ambiental que se causa por el uso excesivo de químicos. Tomando en cuenta las consideraciones ambientales para el control de esta plaga, es importante realizar un manejo integrado, dentro del cual una excelente opción es utilizar el control biológico utilizando enemigos naturales de la plaga. Por la importancia del agave para nuestro país, es de gran relevancia reconocer, estudiar e integrar, las prácticas de manejo que aseguren el mejor desarrollo de este cultivo.

2. EL PICUDO DEL AGAVE (*SCYPHOPHORUS ACUPUNCTATUS*)

El picudo del maguey, de los agaves, picudo del henequén o picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) (Figura 1), es un coleóptero, es decir está emparentado con escarabajos, o catarinas (Zumbado y Azofeifa, 2018) cuyo origen se encuentra en el

Suroeste de los Estados Unidos, México y Centroamérica y es considerada la principal plaga de los agaves (nombre genérico de varios miembros de la familia Asparagaceae). Algunos de los hospederos más comunes de esta plaga son: agave tequilero (*A. tequilana* Weber var. Azul), henequén (*A. fourcroydes* Lem.), diferentes agaves denominados pulqueros: (*A. atrovirens* Karw), (*A. salmiana* var. *Salmiana* Otto ex Salm-Dyck), así como las especies denominadas como mezcaleras agave espadín (*A. angustifolia* Haw) y agave papalote (*A. cupreata* Trel & Berger) (Molina, 2013; SENASICA, 2016; Servín et al., 2006).



Figura 1. Picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*)

2.1. CICLO DE VIDA

El picudo del maguey inicia su vida como huevo y pasa por una serie de cambios denominados metamorfosis antes de llegar a su etapa adulta. Estas etapas son: huevo, larva, pupa y adulto, a esto se le denomina metamorfosis completa (Zumbado y Azofeifa, 2018). Los huevos son ovipositados en grupos de 2 a 6 cerca del cogollo del maguey y eclosionan 5 días después. Cada hembra a lo largo de su vida oviposita de 25 a 50 huevos. Las larvas son robustas, encorvadas y carentes de patas. Cuando apenas emergen tiene una coloración blanco lechoso; posteriormente su cuerpo adquiere una tonalidad blanco cremoso y la cabeza café oscuro. Las larvas realizan galerías y barrenan (perforan) la base de las pencas hacia el interior de la planta hospedera (denominada de manera genérica piña) y forman un capullo para pupar a partir de tejido fibroso y desechos del tallo de la planta (Solís et al., 2001). El estadio de larva puede durar en promedio de 50 a 108 días para su desarrollo. La etapa de pupa es la fase intermedia entre larva y adulto (Zumbado y Azofeifa, 2018) y tiene una duración de 12 a 14 días. Es amarilla-café durante las primeras horas para después tornarse café oscuro. El escarabajo adulto es de color negro brillante de 2 y 3 cm de largo.

El aparato bucal tiene forma de pico alargado; (característica que le da su nombre) con antenas que nacen de la base del pico. El ciclo de vida dura entre 105 y 137 días dependiendo de la especie de agave con la que se asocia el gorgojo. Puede permanecer dentro de la piña como en la base de las pencas en cualquier época del año donde realizan la cópula para iniciar el ciclo de vida nuevamente (Figura 2) (SENASICA, 2016; Molina, 2013; Cuervo Parra et al., 2019)

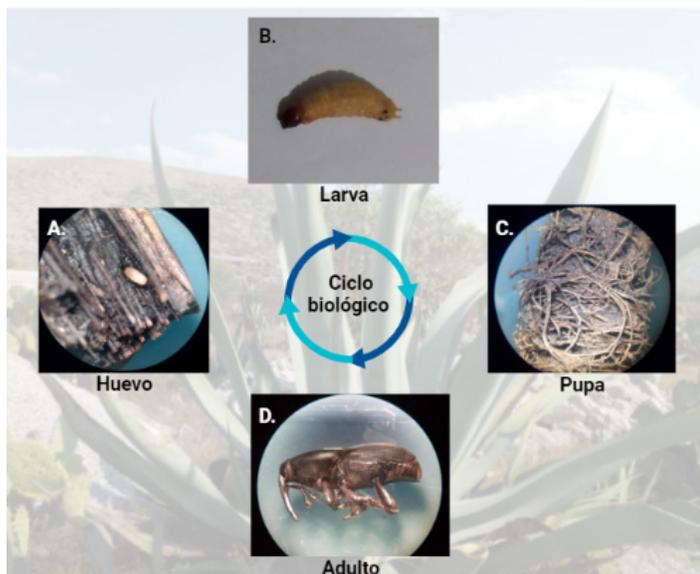


Figura 2. Estadios del ciclo de vida del picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*): A. huevo, B. larva, C. pupa y D. adulto.

2.2. LOS DAÑOS QUE EL PICUDO PROVOCA AL AGAVE

Las larvas del picudo como parte de su ciclo biológico, barrenan la base de las pencas de los agaves hacia el interior de la piña y mientras lo hacen realizan un conjunto de galerías que pronto se infectan con un característico color rojizo, tejido del cual han sido aislados bacterias, algas y hongos (Cuervo-Parra, et al., 2019, Ruíz-Vega et al., 2017, Aquino-Bolaños et al., 2007, Waring y Smith, 1986); uno de los principales agentes causantes de esta pudrición ha sido identificado como la bacteria *Erwinia carotovora* Jones (Aquino-Bolaños et al., 2020, Solís et al., 2001), por tanto, el daño causado por el picudo es la combinación del daño provocado por el insecto, en conjunto con la pudrición con lo cual se puede llegar a la muerte de la planta. En una planta infestada, los daños más evidentes son hojas de color amarillento con perforaciones, pero conforme avanza la enfermedad, la piña se vuelve roja y suave y aparece una secreción espumosa translúcida a blanca en la base y la planta entonces muere (Harris, 1934/2022 citado por Centre for Agricultural Bioscience International [CABI]; Servín et al., 2006, Rodríguez et al 2020). En la figura 3 es posible observar una planta severamente dañada por esta plaga.



Figura 3. Daños provocados por el picudo del agave: A. Parte interior de la planta con severa putrefacción, B. Perforación en una penca, C. Cogollo de la planta con daño interno severo, D. Pudrición provocada por picudo en la parte inferior de la planta.

2.3 ¿Y CÓMO SE PUEDE CONTROLAR EL PICUDO?

Actualmente la distribución del picudo tanto a nivel nacional como mundial es amplia, y cada vez se reconocen más géneros de plantas además del agave (silvestre y cultivado), que pueden ser hospederas de esta plaga. Algunos ejemplos incluyen a las plantas ornamentales *Polianthes tuberosa* L. (Asparagaceae) conocidas como nardos, así como *Yucca* spp, *Beaucarnea recurvata* (pata de elefante), *Dasyliirion longissimum* (sotol del desierto), *Furcraea foetida* (fique), cactácea *Pachycereus pringlei* (cardón) y cactáceas columnares (Camino et al., 2002, Hernández et al., 2006, Kontodimas y Kallinikou 2010, Maya et al., 2011, Barba-Gonzalez et al., 2012, Jones et al., 2019, Bravo-Aviles et al., 2019, Reyes-Muñoz et al., 2021).

Al ser una plaga que afecta diversas especies de plantas provocando importantes pérdidas económicas, se han establecido diferentes métodos para su control (Cuervo-Parra et al., 2019, Rodríguez et al., 2020).

Control químico, este consiste en el uso de plaguicidas que controlan a los insectos, se ha convertido en el más común debido a su efectividad y rapidez, sin embargo, este tipo de productos puede provocar daños a la salud y sin duda al ecosistema (Jiménez, 2009). Este tipo de control puede ser difícil de ejecutar para controlar el picudo del agave, debido a que las larvas, pupas y generalmente los adultos, se encuentran dentro de la piña y las raíces del agave, lo cual dificulta la llegada del producto a los insectos, el control químico es recomendable cuando el insecto es adulto ya que es cuando llega a salir del interior de la planta y puede ser alcanzado por el producto.

Control cultural, este método de control incluye prácticas agrícolas rutinarias las cuales son conocidas como prácticas culturales, estas buscan crear un agroecosistema menos favorable para las plagas y hacer el cultivo menos susceptible al ataque de las mismas (Jiménez, 2009).

En el caso de agave las prácticas culturales del cultivo incluyen detectar y eliminar plantas que tengan pudriciones avanzadas ya que esto es atractivo para los picudos adultos, estas plantas con pudrición deben ser enterradas o incineradas como medida fitosanitaria para control de este insecto plaga, también incluye el monitoreo u observación del cultivo para implementar alguna estrategia de manejo en caso de ser necesario.

Control etiológico, este método aprovecha las reacciones de comportamiento de los insectos en relación al medio ambiente utilizando técnicas como trampas y feromonas, las feromonas atraen al insecto a la trampa y este al caer en la misma queda atrapado (SENASICA, 2016, Falconí, 2013).

El uso en campo de trampas con feromonas sintéticas con ó sin cebo alimenticio ha sido ampliamente utilizado como medida efectiva en el manejo integrado del control del picudo. Se ha demostrado que algunas frutas maduras entre ellas piña y el plátano, tejidos de la planta hospedera, etanol, entre otros materiales, pueden tener un efecto sinérgico con las feromonas, aumentando la eficiencia de las trampas (Figuroa-Castro et al., 2016, Cruz-Faustino et al., 2019, Cruz-Esteban et al., 2020).

Independientemente de la edad del cultivo, condiciones ambientales, manejo agronómico y área de captura, se ha reportado que las trampas con feromonas son más efectivas para atrapar hembras de *S. acupunctatus*, respuesta observada no sólo en agave, sino en otras especies de plantas y por tanto el uso de estas trampas puede ser muy importante para reducir la oviposición y propagación de la plaga en los cultivos hospederos (Rodríguez et al., 2020, Cruz-Faustino et al., 2019).

El control biológico utiliza enemigos naturales de las plagas los cuales pueden ser insectos, hongos, bacterias o cualquier organismo que combata la plaga (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2020); este método tiene la ventaja de no ser contaminante para el medio ambiente, es selectivo y por lo tanto no mata insectos benéficos y no es tóxico para el ser humano (Aquino-Bolaños et al., 2020, Vinchira y Moreno, 2019; Ahedo, 2019).

El manejo agronómico del cultivo, particularmente con el uso reducido de agroquímicos y favoreciendo el establecimiento de un agroecosistema natural complejo que permita la presencia de vegetación natural, ha sido un factor de gran importancia en la reducción de las poblaciones del picudo (Rodríguez et al., 2020).

De acuerdo a lo antes mencionado, existen más de una alternativa para el control del picudo del agave, sin embargo, lo ideal es hacer un manejo integrado de la plaga, combinando los diferentes métodos de control, con lo cual se logra mantener un control de la plaga por debajo del umbral económico, es decir, donde se asegura una protección del

cultivo y una pérdida económica menor (Figura 4).

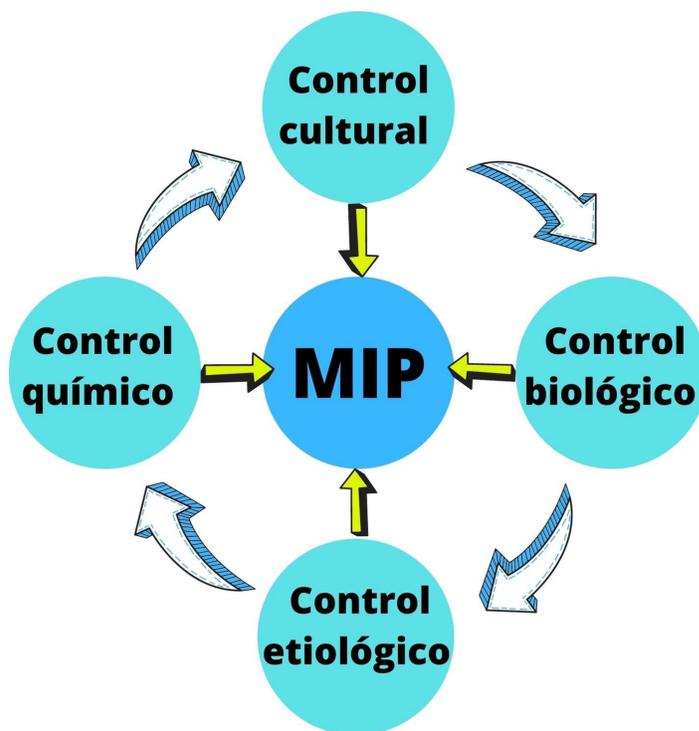


Figura 4. Esquema de un manejo integrado de plagas (MIP)

2.4. APLICANDO ENEMIGOS NATURALES PARA CONTROLAR AL PICUDO

El agave es un cultivo de ciclo muy largo, dependiendo de la especie puede durar incluso más de 5 años, lo cual hace de gran importancia llevar un buen manejo en el control de plagas. Diversos organismos son agentes de control biológico del picudo del agave, entre ellos se encuentran insectos que se alimentan de las larvas del picudo, al igual que microorganismos que parasitan las larvas, en el caso de las pupas existen microorganismos que las parasitan, para los adultos existen algunos microorganismos entomopatógenos, es decir, parasitan y atacan al insecto, dentro de estos se pueden encontrar hongos, bacterias y nemátodos (SENASICA, 2016)

Velázquez et al., (2006) reportaron diferentes enemigos naturales de *S. acupunctatus* como el parasitoide *Cyclaulacidea* sp. (Hym: Braconidae), los coleópteros *Hololepta quadridentata* y *Phileurus valgus valgus*, las hormigas *Odontomachus bauri* y *Ectatomma ruidum* así como el nemátodo *Heterorhabditis* sp. y los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, todos ellos infectando diferentes estadios del ciclo de vida del picudo. En la tabla I se presentan los principales enemigos naturales del picudo que han sido identificados y que podrían ser empleados en el control biológico de esta plaga.

Tabla 1. Principales enemigos naturales del picudo (Velázquez et al., 2006, Gkonti et al., 2015, Aquino et al., 2006).

Tabla 1. Principales enemigos naturales del picudo (Velázquez et al., 2006, Gkonti et al., 2015, Aquino et al., 2006).

Coleópteros	Hymenopteros	Nemátodos	Hongos
<i>Hololepta quadridentata</i>	<i>Cyclaulacidea sp</i>	<i>Steinernema carpocapsae</i>	<i>Beauveria bassiana</i>
<i>Phileurus valgus</i>	<i>Ectatomma ruidum</i>	<i>Steinernema feltiae</i>	<i>Metarhizium anisopliae</i>
	<i>Odontomachus bauri</i>	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	<i>Isaria fumosorosea</i>

3. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Independientemente de la especie y el fin para el cuál se utiliza, el cultivo de agave es muy importante en México por motivos culturales, además de que especies como las tequileras, son de gran importancia económica, es por ello que el manejo integrado del picudo del agave y de cualquier insecto plaga, es muy importante en la conservación de este cultivo.

El control biológico es un método que ha tenido mucho auge en los últimos años lo cual es lógico tomando en cuenta los beneficios que tiene y las problemáticas que puede resolver. Para el caso del picudo, existe un gran número de enemigos naturales desde microorganismos hasta insectos, esto da un panorama más amplio y diversas opciones para poder controlar la plaga.

Tomando en cuenta el conocimiento generado a la fecha y los casos de éxito en el control de diferentes plagas, la aplicación de hongos entomopatógenos en combinación con el uso de trampas con feromonas, puede representar una estrategia potencial para el control del picudo en diferentes agroecosistemas. El proceso de infección que llevan a cabo los hongos entomopatógenos a través de la germinación de sus esporas en el cuerpo del insecto plaga, puede evitar que el insecto adulto se propague, pero una vez estando dentro de la planta infectada, el hongo entomopatógeno también puede detener el ciclo de vida del insecto, ya que se ha reportado que estos organismos son infectivos en los diferentes estadios de vida del insecto.

La implementación de un plan de manejo integrado de plagas es de suma importancia para evitar, por una parte, resistencia de las plagas y por otra, evitar daños al medio ambiente. El futuro en la agricultura y en la producción de alimentos está sin duda en la investigación, en seguir encontrando y desarrollando nuevas alternativas para el control de plagas, así como muchas cosas evolucionan día a día, los métodos de control de plagas también lo deben hacer, el control biológico tiene un enorme potencial que

apenas comienza a explotarse, el cual puede traer muchos beneficios y mejorar el manejo tanto del agave como de otros cultivos.

4. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional y Secretaría de Investigación y Posgrado, proyectos SIP 20221374 y SIP 20221809, al CONACYT becas 1574380998 y 1585342999. Al Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, por todas las facilidades prestada para la toma de muestras y generación de imágenes.

5. REFERENCIAS

- Ahedo H. O. (2019) Nematodos entomopatógenos asociados a aceites vegetales para el manejo del adulto de (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) en *Agave* spp. (Tesis de maestría) Recuperado de: http://148.204.117.30/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/413/1/Ahedo%20Quero%2c%20H.%20O.%2c%202019.pdf
- Aquino Bolaños, T., Ruiz Vega, J. y Iparraguirre Cruz M. (2006) Control biológico del picudo negro (*Scyphophorus interstitialis* Gyllenhal) con nemátodos y hongos entomopatógenos en agave en Oaxaca, México. *Revista UDO Agrícola* 6 (1): 92-101. https://www.researchgate.net/publication/26499794_Biological_control_of_the_black_weevil_Scyphophorus_interstitialis_Gyllenhal_with_entomopathogenic_nematodes_and_fungi_in_agave_in_Oaxaca_Mexico
- Aquino-Bolaños T., Parraguirre.Cruz M. y Ruíz-Vega J. (2007) *Scyphophorus acupunctatus* (interstitialis) Gyllenhal (Coleóptera: Curculionidae). Plaga del agave mezcalero: Pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista UDO Agrícola* 7 (1): 175-180.
- Aquino-Bolaños T., Sánchez-García J., Ortiz-Hernández Y., Hernández-Cruz J., y Cortés-Martínez C. (2020) Carrier and Vector of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* and its Handling Through a Base of Entomopathogenic Fungi in *Agave* sp. *Florida Entomologist*, 103(2) : 243-246. Doi: <https://doi.org/10.1653/024.103.0214>
- Barba-González R., Rodríguez-Dominguez M., Castañeda-Saucedo M., Rodríguez A., Van Tuyl J. y Tapia-Cmpos E. (2012) Mexican Geophytes I. The Genus *Polianthes*. *Floriculture and Ornamental Biotechnology* 6 (Special Issue 1) 122-128.
- Bravo-Avilez D., Navarrete-Heredia J. y Rendón-Aguilar B. (2019) New Hosts of Insects Associated with the Process of Rot Damage in Edible Columnar Cacti of Central México. *Southwestern Entomologist*, 44(3) : 637-646. Doi: <https://doi.org/10.3958/059.044.0309>

- Camino-Lavin M., Castrejon-Gomez V. R., Figueroa-Brito R., Aldana-Llanos L. y Valdes-Estrada M. E. (2002) *Scyphophorus acupunctatus* (coleoptera: curculionidae) attacking polianthes tuberosa (liliales: agavaceae) in Morelos, México. *Florida Entomologist* 85 (2).
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2020) Manejo integrado de plagas, una alternativa al uso de plaguicidas. Recuperado en 26/02/2022 de http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/3Manejo_Integrado_Plagas.pdf
- Centre for Agricultural Bioscience International. Crop Protection Compendium. *Scyphophorus acupunctatus* (agave weevil). Recuperado en 17/11/2021 de <https://www.cabi.org/isc/datasheet/49421>.
- Consejo Regulador del Tequila. (2018). Producción Total: Tequila y Tequila 100%. Recuperado en 20/11/2021 <https://www.crt.org.mx/estadisticascrtweb/>
- Cruz-Faustino J. J., Figueroa-Castro P., Alcántara-Jiménez J. A., López-Martínez V., Silva-García F. (2019) Vegetal synergists for trapping the adult of *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, in pheromone baited traps, in *Agave angustifolia* Haw., in Morelos, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 35, 1–9. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3502187>
- Cruz-Esteban S., Villa-García M., Hernandez-Ledesma P. y Alavez-Rosas D. (2020) Efecto Sinérgico de la Feromona, Volátiles del Hospedero, y Etanol en la Atracción de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal
- Cuervo-Parra, J. A., Pérez-España, V. H., Pérez, P. A. L., Morales-Ovando, M. A., Arce-Cervantes, O., Aparicio-Burgos, J. E., y Romero-Cortes, T. (2019). *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae): a weevil threatening the production of agave in Mexico. *Florida Entomologist*, Vol 102, No. 1 <https://journals.flvc.org/flaent/article/view/106486>
- Espinosa Barrera, L.A. (2015). Generalidades e importancia de los agaves en México. *Herbario CICY* 7, 161-164. Recuperado en 20/11/2021 https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2015/2015-10-22-Espinosa_Barrera-Generalidades_e_importancia_de_los_agaves_en_Mexico.pdf
- Falconi Palomino, J.S. (2013). Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de kiwicha. https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/021-a-kiwicha_MIPE_.pdf (Fecha de acceso enero del 2022).
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2017). Henequén, oro verde en época prehispánica. Gobierno de México. Recuperado en 20/11/2021 de <https://www.gob.mx/firco/articulos/henequen-oro-verde-en-epoca-prehispanica?idiom=es>
- Figueroa-Castro P., López-Martínez V., Hernández-Ruiz A., Silva-García F. y Campos-Figueroa M. (2016) Determining the Best Pheromone-Baited Traps for Capturing *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in Mezcal Agave. *Florida Entomologist*, 99(4):790-792. Doi: <http://dx.doi.org/10.1653/024.099.0437>
- Gkounti, D. V., Markoyiannaki, T. y Kontodimas, D.Ch (2015) Pathogenicity of indigenous strains of three entomopathogenic fungi to the sisal weevil, *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae). *Hellenic Plant Protection Journal* 8: 46-54, DOI 10.1515/hppj-2015-0007
- Hernández M., Gutiérrez M., Aldana L. y Valdés M (2006). Fecundity of the sisal weevil, *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae), on *Polianthes tuberosa* (Liliales: Agavaceae). *Florida Entomologist*, 89(4), 518-520.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2018). Conociendo la Industria del Tequila y el Mezcal. Recuperado en 20/11/2021 <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/OtrTemEcon/industriatequila.pdf>
- Jimenez M. E. (2009) Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria. Recuperado en 26/02/2022 de: <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf>
- Jones W. R., Illescas-Riquelme C., López-Martínez V., Bautista-Martínez N. y O'Brien W. C. (2019) Emergent and possible invasive pest species of weevils in México. *Florida Entomologist*, Volume 102, No. 3.
- Kontodimas D. C. y Kallinikou E. (2010). First record of the sisal weevil *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) in Greece. *ENTOMOLOGIA HELLENICA*, 19, 39-41.
- Maya Y., Palacios-Cardiel y Jimenez M. L. (2011) El cardón *Pachycereus pringlei*, nuevo hospedero para *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) en Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1041-1045.
- Molina Molina, D. (2013). Contribución al conocimiento de la distribución actual de la especie invasora *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleoptera: Dryophthoridae) en la Península Ibérica. *Revista Gaditana de Entomología* Vol IV, No 1. <https://ia601601.us.archive.org/34/items/RgEIVI116/RgE%20IV,11-16.pdf>
- Ramírez Racaño M. (2000) Ignacio Torres Adalid y la industria pulquera. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales; Plaza y Valdés Editores.
- Reyes-Muñoz J. L., Niño-Maldonado S., Sánchez-Alfaro M. F., Uribe-Ordoñez L. A., Estrada-Rodríguez J. L., Lucio-García J. N. y Correa-Ramírez M. M. (2021) Update of the known distribution of *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal, 1838) (Coleoptera: Curculionidae) and new host in Durango, Mexico. *The pan-pacific entomologist* 97(3):175–178.

Rodríguez W.D., Navarrete-Heredia J. L., Rodríguez-Macías R., Vásquez-Bolaños M., Briceño-Félix G. A. y Wallace-Jones R. (2020) Abundance of *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) in *Agave tequilana* Weber (asparagaceae) fields of different age and agronomic management. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 122(2), pp. 450–461.

Ruiz-Vega J., Aquino-Bolaños T., Delgado-Gamboa J. R., Cortés-Martínez C. I. (2017) Manejo integrado y sostenible del agroecosistema maguey para el control de *Scyphophorus acupunctatus* Gyll. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*; Vol. IV, Núm. 2 (Suplemento 2).

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2016). Ficha técnica: Picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal 1838 (Coleoptera: Dryophthoridae). Gobierno de México. Recuperado en 17/11/2021 de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281890/Ficha_T_cnica_Picudo_del_agave_2016.pdf

Servin, R., Tejas, A., Arce-Montoya, M., Robert-Manuel, M. (2006). *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) como potencial insecto-plaga de *Yucca valida* Brandegees en Baja California Sur, México. *Folia Entomológica mexicana*. vol. 45, núm. 1, 2006, pp. 1-7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42445101>

Solís J., González H., Leyva J., Equihua A., Florez F. Y Martínez A. (2001) *Scyphophorus acupunctatus* gyllenhal, plaga del agave tequilero en Jalisco, México. *Agrociencia*, vol. 35, núm. 6, noviembre-diciembre, 2001, pp. 663-670 Colegio de Postgraduados Texcoco, México. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30200609>

Vázquez García, A., Aliphat Fernández, M. M., Estrella Chulim, N.G., Ortiz Torres, E., Ramírez Juárez, J., Ramírez, A. M. (2016). El Maguey Pulquero, Una Planta Multifuncional Y Polifacética: Los Usos Desde Una Visión Mestiza E Indígena. *Scripta Ethnologica*, 38, 65-87. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14849184004>

Velázquez, J., Joly, J. L., García Rodríguez J. L., Romero, Y., González, M., Medina M. (2006) Enemigos naturales del “Picudo del Agave” *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) en el Estado Falcón, Venezuela. *Entomotrópica: Revista internacional para el estudio de la entomología tropical*, Vol. 21, N°. 3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3697184>.

Valdés-Rodríguez S, Ramírez-Choza JL, Reyes-López J, Blanco-Labra A. (2004). Respuestas del insecto *Max* (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal [Coleoptera: Curculionidae]) hacia algunos compuestos atrayentes del henequén. *Acta Zoológica Mexicana* 20: 157–166.

Vinchira-Villarraga, D. M. y Moreno-Sarmiento, N. (2019). Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 2–5. doi: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860>

Waring G. L., Smith R. L. (1986). Natural history and ecology of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) and its associated microbes in cultivated and native agaves. *Annals of the Entomological Society of America* 79: 334–340. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8708531>

Zumbado Arrieta, M. y Azofeifa Jiménez, D. (2018). Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología. Costa Rica: Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO).





LOS CUATRO ALIMENTOS CON MAYOR FRECUENCIA DE ALERGENICIDAD, SUS PRINCIPALES ALÉRGENOS

Saúl Reyes-Farfán¹, Luis Huerta-González¹, Silvia Luna-Suárez^{1*},
Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, CIBA-IPN, Tepetitla,
Tlaxcala, 90700, México

* Autor para correspondencia: silvials2004@yahoo.com.mx, sluna@ipn.mx

RESUMEN

Los alimentos resultan importantes para el ser humano en dos vertientes: proporcionan identidad cultural, y proveen de los nutrientes necesarios para el desarrollo de éste. Entre los nutrientes, las proteínas cobran especial interés debido a sus variadas y múltiples funciones. La hipersensibilidad es una reacción exacerbada del sistema inmunológico ante un agente que en condiciones generales es inocuo. Los factores de riesgo asociados con alergias por alimentos incluyen la predisposición genética, exposición a alérgenos, contaminación ambiental, baja respuesta inmune durante períodos críticos del desarrollo individual, la dieta de la madre durante la gestación y la lactancia, malas prácticas de destete del niño y obesidad. La comunidad científica ha centrado sus esfuerzos en el estudio de hipersensibilidad tipo I mediada por IgE ya que se ha demostrado que, mediante este mecanismo ocurren las reacciones alérgicas más peligrosas como anafilaxia. Actualmente, entre el 6 y el 8% de la población infantil tiene alguna reacción alérgica a alguno de los 170 alimentos que se han reportado. Para el caso de los adultos, este número se encuentra entre 2 y el 4%. En este trabajo se revisan cuatro de los alimentos más frecuentes de respuestas alérgicas: la leche de vaca, el huevo, la soya y el cacahuete.

Palabras clave

Alimentos alérgenos, reacción alérgica, leche, huevo, soya, cacahuete.

Abstract

Food is important for human beings in two aspects: they provide cultural identity, and they provide the necessary nutrients for their development. Among nutrients, proteins are of special interest due to their varied and multiple functions. Hypersensitivity is an exacerbated reaction of the immune system to an agent that is generally harmless. Risk factors associated with food allergies include genetic predisposition, exposure to allergens, environmental contamination, low immune response during critical periods of individual development, mother's diet during pregnancy and lactation, poor child weaning practices and obesity. The scientific community has focused its efforts on the study of type I hypersensitivity mediated by IgE since it has been shown that the most dangerous allergic reactions such as anaphylaxis occur through this mechanism. Currently, between 6 and 8% of the child population has an allergic reaction to one of the 170 foods that have been reported. For adults, this number is between 2 and 4%. In this work, four of the most frequent foods with allergic responses are reviewed: cow's milk, eggs, soy and peanuts.

Keywords

Allergenic foods, allergic reaction, milk, eggs, soybean, peanuts.



ALERGIA POR ALIMENTOS

En los últimos años, la alergia por alimentos ha cobrado especial interés ya que se considera un problema de salud sustancial en países desarrollados, estando en seguida de problemas de salud como rinitis y asma inducidos por alergias. Estas alergias han aumentado su prevalencia a partir de los últimos años del siglo XX, (Renz et al., 2018) afectando alrededor de mil millones de personas en todo el mundo y se pronostica que su prevalencia alcance los 4 millones para el año 2050 (Medina-hernández et al., 2015). Una reacción alérgica o hipersensibilidad es considerada como una respuesta inapropiada del sistema inmunológico ante un agente que comúnmente es inocuo y que no debería representar un peligro para el cuerpo humano, sin embargo, para personas hipersensibles deja de ser inocuo. La hipersensibilidad se puede clasificar en cuatro tipos, diferenciados específicamente por sus mecanismos de reacción, donde la hipersensibilidad tipo I se considera como inmediata, ya que sus síntomas se desarrollan poco tiempo después de la combinación coordinada de las células y moléculas involucradas que se inicia produciendo anticuerpos IgE por los linfocitos B, que se unen a mastocitos y basófilos (células efectoras del sistema inmunológico) a través de receptores FcRI. Esta unión (IgE-FcRI) es monovalente y no induce señales al interior de la célula, la presencia de las proteínas contenidas en los alimentos (antígeno), contra las cuales estas moléculas reaccionan produce su entrecruzamiento y con ello la agregación de los FcRI al que están unidas. La agregación de receptores provoca la activación celular y la liberación de mediadores que provocarán inflamación caracterizada por: dilatación vascular, edema, contracción del músculo liso, producción de moco y lesión tisular (Abbas, Abul K., Lichtman, Ansrew H., Pillai, 2012). En este sentido la alergia por alimentos es definida como una reacción inmunológica específica inapropiada frente a un antígeno, después de la ingesta de un determinado alimento que lo contiene. Se estima que la población adulta presenta una incidencia de entre el 2 y el 4%, mientras que para la población infantil se encuentra entre el 6 y el 8%. La alergia es muy común en niños y disminuye significativamente con la edad, esto se debe probablemente a que la primera exposición al antígeno es a una edad preescolar (Prescott et al., 2013).

Es importante mencionar que el conocimiento de la alergia por alimentos es limitado por varias razones. Primero, la mayoría de los estudios que documentan la prevalencia de alergia al cacahuate, leche, huevo y soya se limitan a los países occidentales. Segundo, existen variaciones metodológicas que explican las diferencias en la prevalencia de alergenidad en diferentes estudios. En este sentido, los estudios de doble ciego controlados con placebo representan el estándar de oro, pese a ello solo se utilizan en una minoría de estudios. La mayoría de los estudios utilizan

como principales indicadores de alergia por alimentos: cuestionarios (principalmente no validados), la cuantificación de IgE o el estudio de la respuesta a la prueba de punción cutánea (SPT). A pesar de las limitaciones en los estudios epidemiológicos y las variaciones en metodologías, es importante destacar que existen determinadas asociaciones con la alergia por alimentos, que se consideran como factores de riesgo (Lack, 2012). En la tabla I se mencionan los factores de riesgo que se consideran de mayor relevancia.

Tabla I. Principales factores de riesgo de la alergia por alimentos.

Factor de riesgo	Descripción	Bibliografía
Geografía.	Las diferencias en la prevalencia de alergia por alimentos en relación con la geografía podrían deberse a diferencias ambientales en los niveles de exposición a alérgenos o diferentes preparaciones y procesamiento del alérgeno, pero podría también resultar de diferencias genéticas en regiones geográficamente diversas.	(Leung et al., 1997), (Rancóe et al., 2000), (Du Toit et al., 2008), (Vereda et al., 2011).
Riesgo heredado.	Algunas investigaciones sugieren una fuerte asociación entre el historial genético familiar y la alergia por alimentos.	(Hourihane et al., 1996), (Sicherer et al., 2000).
Etnia.	Algunos estudios argumentan que la IgE que se encuentra en ciertos grupos étnicos podría no reflejar la verdadera alergia por alimentos, pero podría ser sólo indicativo de sensibilización.	(Branum & Lukacs, 2009), (Kumar et al., 2011).
Polimorfismos genéticos.	Estudios recientes sugieren importantes interacciones genes – medio ambiente influyen en el desarrollo de la sensibilización por alimentos.	(Campos Alberto et al., 2008), (Liu et al., 2004), (Dreskin et al., 2011), (Hong et al., 2011), (Namkung et al., 2010).
Grasa dietética.	Los ácidos grasos ω -6 conducen a la producción de prostaglandina E2 (PGE2), mientras que los ácidos grasos ω -3 inhiben la síntesis de PGE2. PGE2 reduce la producción de IFN- γ por los linfocitos T, lo que resulta en una mayor producción de IgE por parte de los linfocitos B.	(Devereux & Seaton, 2005), (Black & Sharpe, 1997), (Anandan et al., 2009).
Antioxidantes.	La hipótesis antioxidante sugiere que la disminución de consumo de frutas y verduras frescas (que contienen antioxidantes, como vitamina C, vitamina E, β -caroteno, selenio y zinc) podría explicar las alergias.	(Allan et al., 2010).
Obesidad.	La hipótesis propone que la obesidad induce un estado inflamatorio asociado con un mayor riesgo de atopía y teóricamente podría conducir a un mayor riesgo de alergia por alimentos.	(Visness et al., 2009).
Hipótesis de la doble barrera	Sugiere que la sensibilización alérgica temprana a los alimentos y los alérgenos ambientales se produce a través de una barrera cutánea dañada o debilitada (es decir, eczema y/o mutaciones de pérdida de función de la filagrina (FLG)).	(Allen & Koplin, 2015), (Kelleher et al., 2016)
Exposición a alérgenos alimentarios durante la gestación y lactancia.	Aunque los estudios sobre el tema del consumo de ciertos alérgenos durante la gestación son controversiales, algunos estudios observacionales muestran que la lactancia materna y la lactancia prolongada están asociadas con un mayor riesgo en el desarrollo de algunos síntomas de las reacciones alérgicas.	(Exl, 2001), (Greer et al., 2008), (Sears et al., 2002).

PROPIEDADES MOLECULARES DE LOS ALÉRGENOS ALIMENTARIOS

En este contexto es importante mencionar que se ha demostrado que las propiedades físicas y químicas influyen en la unión y la captación de ligandos por parte de las células y moléculas involucradas con el sistema inmunológico. La comprensión de estas propiedades nos podría ayudar a entender lo que sucede.

Unión a ligando. Varios alérgenos alimentarios pueden unirse a ligandos, que van desde iones metálicos hasta lípidos. Ciertos ligandos, como iones metálicos, se unen a la estructura tridimensional de una proteína con frecuencia muy en el fondo dentro de la molécula. La pérdida de un ion metálico frecuentemente cambia el plegamiento de proteínas. Algunas proteínas forman una cavidad en la que encaja un ligando: esto podría ser un ion metálico, esteroides o una variedad de lípidos.

Otras proteínas poseen un túnel en el que los ligandos encajan, mientras que otros se unen a los ligandos a través de interacciones superficiales. La unión del ligando puede tener el efecto general de reducir la movilidad en el polipéptido lo que aumenta tanto la estabilidad térmica como la resistencia a la proteólisis, con muchas proteasas que requieren flexibilidad en la interacción proteína - sustrato. (Creamer, 1995) (Douliez et al., 2001)

Interacción con membranas y otras estructuras lipídicas. Esto se explica debido a que muchos alérgenos de alimentos vegetales también pueden asociarse con membranas celulares y otros tipos de estructuras lipídicas en los alimentos. Este es un método de acción comúnmente observado en las proteínas para proteger a las plantas contra microorganismos patógenos, a través de la desestabilización de membranas de bacterias u hongos que dan lugar a fugas (Breiteneder y Mills, 2005).

La estabilidad de proteínas. El término "estabilidad" se utiliza para describir la capacidad de una proteína para conservar su estructura tridimensional nativa original después de los tratamientos (químicos como la urea, o físicos como la temperatura), así como la resistencia a la degradación por proteasas. La naturaleza ha utilizado varias estrategias para desarrollar proteínas estables. Hay algunos patrones que sugieren que las proteínas termoestables podrían tener una mayor propensión a adoptar estructuras β y son en promedio más pequeños (Chakravarty y Varadarajan, 2000) (Thompson y Eisenberg, 1999).

Glicosilación. Muchas proteínas extracelulares (incluyendo muchos alérgenos alimentarios) experimentan glicosilación durante su paso a través del retículo endoplásmico. En cuanto al sistema inmunológico, la actividad de los anticuerpos IgE dirigidos contra la porción de carbohidratos de los glicoalérgenos ha sido un tema de debate desde el descubrimiento de IgE específica de N-glicano. Además de las implicaciones inmunológicas, la glicosilación también afecta las propiedades biológicas de los alérgenos. La N-glicosilación puede tener un efecto estabilizador significativo sobre la estructura proteica. (Van Ree, 2002) (Wormald y Dwek, 1999)

Estructuras repetitivas, agregados, y glicación. Tanto la presencia de estructuras repetitivas como la propensión a agregarse, ya sea en condiciones fisiológicas o como resultado de las condiciones de procesamiento de alimentos, podría afectar la sensibilización, al menos mejorando la inmunogenicidad (Braun et al., 1997) (Chirino et al., 2004). La glicación implica azúcares que reaccionan con grupos amino libres en proteínas para formar compuestos de Amadori, que podrían entonces reorganizarse para producir una serie de aductos, conocidos como productos finales de glicación-glicosilación avanzada. Se ha demostrado que estos productos desestabilizan la estructura cuaternaria de las proteínas, lo que indica que las reacciones de glicación

podrían ser responsables del aumento aparente en la actividad alérgica. (Maleki et al., 2000) (Chung et al., 2003)

Los alimentos con mayor frecuencia de alergenidad

Leche de vaca

La incidencia de alergia a la leche de vaca varía de 0.1 a 7.5%. Algunos autores mencionan que se diagnosticó alergia por leche de vaca en 1.9 a 2.8% de la población general de lactantes <2 años en varios países, pero su incidencia se redujo a aproximadamente el 0.3% en niños mayores de 3 años. La alergia por leche de vaca se considera transitoria en la mayoría de los casos. Generalmente se desarrolla en la primera infancia, debido a que durante esta época ocurre la primera exposición al alérgeno. Un estudio prospectivo que tuvo como objetivo determinar los factores de riesgo para desarrollar alergia a la leche de vaca encontró que los bebés que comenzaron con fórmula de proteína de leche de vaca dentro de los primeros 14 días de vida tenían tasas más bajas de alergia a la leche de vaca mediada por IgE en comparación con aquellos en los que se introdujo la fórmula de leche de vaca entre 105 y 194 días de vida, (Katz et al., 2010). Sin embargo, la alergia por este alimento también ocurre curiosamente en adultos (Wal, 2002). Si bien hay pocos estudios sobre la prevalencia de la alergia por leche de vaca en la edad adulta, y sus resultados son controversiales debido a su metodología, se esperaría que la prevalencia en adultos sea menor, sin embargo, datos recientes en Estados Unidos de Norte América, informan una mayor prevalencia en adultos, donde se observa una prevalencia del 1.9%, que alcanzó su punto máximo entre los 18 y los 29 años con un 2.4 % (Flom y Sicherer, 2019).

Debido a el gran aumento de las identificaciones de alérgenos y el conocimiento de sus secuencias se ha permitido el establecimiento de bases de datos que proporcionan datos moleculares, bioquímicos y clínicos de los alérgenos, este alimento es considerado como una fuente de alérgenos. Todos los alérgenos de la leche incluidos en las listas oficiales fueron identificados como pertenecientes a la leche bovina. La leche de vaca contiene alrededor de 3 g de proteína por 100 mL e incluye al menos 25 proteínas diferentes, todas ellas que pueden actuar como antígenos (Martorell-Aragonés et al., 2015). Las proteínas de la leche de vaca se clasifican en 2 categorías principales que pueden separarse en función de su solubilidad (Fox, 2001). El grupo de proteínas que precipitan son las caseínas (α S1-caseína, α S2-caseína, β -caseína y κ -caseína) y el grupo que permanece soluble se conoce como proteínas del suero de leche (β -lactoglobulina [β -LG], α -lactoalbúmina [ALA], lactoferrina bovina, albúmina sérica bovina [BSA] e inmunoglobulinas bovinas), correspondientes al 80% y 20%, respectivamente. Las caseínas, β -LG y ALA se consideran los principales alérgenos.

Es importante mencionar que el calentamiento es un proceso fundamental en la fabricación de productos lácteos, y durante este proceso se producen importantes cambios estructurales y químicos en las proteínas, como la desnaturalización y la agregación, entre otros. Es posible que estas alteraciones tengan influencia significativa en la alergenicidad. En un estudio en el que se evaluaron los efectos del tratamiento térmico sobre la antigenicidad de ALA y β -LG, se descubrió que la alergenicidad de ALA y β -LG aumentó con el incremento de la temperatura de 50 a 90°C. Sin embargo, la alergenicidad de ambas proteínas disminuyó notablemente por encima de los 90 °C, esto puede deberse a que los epítomos que están enterrados dentro de la molécula se exponen debido al despliegue de la estructura conformacional durante la desnaturalización por calor (Bu et al., 2013). Sin embargo, la lactoferrina (LF) y la BSA que están presentes en cantidades menores, han demostrado ser de gran importancia para inducir alergias a la leche (Fox, 2001; Hochwallner et al., 2014). En la Tabla 2 se proporciona un resumen de los alérgenos conocidos de la leche de vaca, sus funciones biológicas y los números de acceso.

Tabla 2. Principales alérgenos de la leche de vaca y el numeral para ubicarlas en dos diferentes bases de datos.

Fracción	Superfamilia de proteínas	Alérgeno	Peso molecular (kDa)	Función biológica	proteína en NCBI	Proteína en UniProt
Caseínas	Caseínas	Bos d 8	20 a 30	Caseínas (componentes individuales Bos d 9 a Bos d 12)	-	-
		Bos d 9	23	Proteína fijadora de calcio. Alérgeno mayor.	NP_851372	P02662
		Bos d 10	25	Proteína fijadora de calcio. Alérgeno mayor.	NP_778953	P02663
		Bos d 11	24	Proteína fijadora de calcio. Alérgeno mayor.	XP_005902099	P02666
		Bos d 12	19	Estabilización y coagulación de la leche. Alérgeno mayor.	NP_776719	P02666
Proteínas del suero	Lisozima	Bos d 4	14	Enzima hidrolítica con actividad antimicrobiana. Alérgeno mayor.	AAA30615	P00711
		Bos d 5	18	Unión de lípidos, actividad antioxidante. Alérgeno mayor.	CAA32835	P02754
		Bos d 6	63	Transporte, metabolismo y distribución de lípidos. Defensa. Alérgeno mayor.	AAA51411	P02769
		Inmunoglobulina	Bos d 7	160	Defensa. Alérgeno menor.	-
Transferrina		80	Proteína de unión al hierro, defensa. Alérgeno menor.	-	-	

Adecuado de: Villa, C., Costa, J., Oliveira, M. B. P. P., & Mafrá, I. (2018). Bovine Milk Allergens: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 137–164. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12318>. (NCBI), Centro Nacional para la Información Biotecnológica por sus siglas en inglés. (UniProt), Repositorio proteico universal.

Huevo

El huevo representa uno de los alimentos más versátiles debido a su alto contenido de proteínas y lípidos de alta calidad, así como su contenido valioso en minerales carbohidratos y vitaminas. El huevo también es utilizado por la industria debido a sus propiedades multifuncionales, por ejemplo; espumantes, gelificantes y emulsionantes, por lo anterior la contaminación cruzada y una mala limpieza del equipo utilizado en el proceso de un producto, puede resultar en un potencial alérgeno para pacientes sensibilizados (Huopalahti et al., 2007). Los elementos del huevo son tres; la cáscara, la clara y la yema, se sabe que las proteínas que causan alergia del huevo se encuentran principalmente en la clara, siendo éstas el ovomucoide (OVM), la

ovoalbúmina (OVA), la ovotransferrina y la lisozima (Pérez et al., 1999). La clara corresponde a una solución acuosa en la cual podemos encontrar proteínas, dentro de los componentes de la clara de huevo, el 88% aproximadamente corresponde al agua, mientras que las proteínas corresponden aproximadamente al 10%, siendo estos dos sus componentes principales. Hablando de proteínas pertenecientes a la clara de huevo, la ovoalbúmina resulta ser la proteína más abundante con alrededor de más del 50%, la cual es una fosfogluco proteína, que es responsable de las propiedades gelificantes. Por otro lado, la conalbúmina o también llamada ovotransferrina, cuya función principal es la de actuar como quelante de metales divalentes y trivalentes volviéndola más termoresistente, la importancia de atrapar a estos metales, principalmente el hierro, es otorgarle propiedades antioxidantes y antimicrobianas. El ovomucoide representa alrededor del 11% del contenido total de proteínas en la clara, es una glucoproteína que tiene 9 puentes disulfuro lo que le otorga resistencia a la coagulación por calor. Esta proteína cobra importancia gracias a la conformación de sus epítomos, ya que se encuentran de forma secuencial, por lo que continúa siendo captada por los anticuerpos específicos después de tratamientos térmicos. Las globulinas, incluida la lisozima están presentes aproximadamente en un 7%. La lisozima se encarga de hidrolizar las paredes celulares de algunas bacterias, principalmente las gram positivas (Gil Hernández, 2010) (Chang et al., 2018) (Huopalahti et al., 2007). En un estudio realizado por (Lin et al., 2016) la tasa de sensibilización a la clara de huevo, la ovoalbúmina y el ovomucoide, fue del 53,5%, 48,3% y 37,2%, respectivamente, y se encontró que la tendencia de la sensibilización disminuye con la edad.

Las proteínas de huevo son diferentes en sus propiedades físicas y por ello tienen la capacidad de vincularse con diferentes patrones clínicos, precisan principalmente, aunque no exclusivamente, de su resistencia al calor y a las enzimas digestivas, esto se traduce en su capacidad para estimular una respuesta inmunitaria específica. Podemos evaluar la alergenicidad de las proteínas del huevo desde dos perspectivas, tomando como ejemplo dos proteínas. Ovomucoide con sus características únicas, como la relativa estabilidad frente al calor y a la digestión con proteinasas, esto posiblemente esté relacionado con la presencia de fuertes enlaces disulfuro que estabilizan esta proteína altamente glicosilada (Caubet y Wang, 2011).

Se ha reportado que los epítomos de ovoalbúmina son termolábiles, sin embargo, utilizando sueros de pacientes alérgicos al huevo, se han demostrado que la antigenicidad de la ovalbúmina podría resistir el tratamiento térmico en ciertas condiciones. Por otro lado, usando ovoalbúmina, se investigó la inmunogenicidad de las células T de las proteínas glicosiladas, químicamente denominadas productos finales de glicosilación avanzada, producidas mediante la reacción de Maillard que ocurre entre los azúcares reductores y las proteínas durante el procesamiento térmico de los alimentos, se sugirió que las estructuras de glicación de los AGE funcionan como epítomos inmunes que se pueden relacionar con las patologías de la alergia alimentaria, se demostró que la inmunogenicidad de las células T de la ovoalbúmina puede incrementarse mediante la reacción de Maillard (Ilchmann et al., 2010).

Soya

Las principales ventajas de la soya son; su alto contenido de proteínas y lípidos, que es superior a la de la carne, elevadas concentraciones de lisina dentro de las proteínas, este aminoácido es limitado en muchas otras proteínas que proveen los vegetales. En la actualidad, se utiliza en diferentes alimentos gracias a su versatilidad y propiedades funcionales, entre las cuales encontramos la capacidad de retención de agua que da viscosidad a los alimentos, las interacciones entre proteína y proteína con lo cual es posible hacer geles, así como la capacidad espumante y emulsificante (Torres y Torres y Tovar-Palacio, 2009)

Alrededor del 90% de las proteínas de soya son de almacenamiento, especialmente la β -conglucina y la glicinina, la primera tiene un coeficiente de sedimentación de 7S, es un trímero y una glicoproteína, que consta de tres subunidades (α' , α y β) con una masa molecular de entre 150 y 200 kDa, dos de las tres subunidades de la β -conglucina son potencialmente alérgicas, la subunidad α tiene una frecuencia de alergenidad de 23.2%, mientras que la subunidad β tiene una frecuencia de 10.1%. Mientras que la segunda es un hexámero con coeficiente de sedimentación 11S, en donde cada subunidad ácida está unida mediante puente disulfuro a una subunidad básica, con una masa molecular de entre 300 y 380 kDa, la subunidad con un peso molecular de 30 kDa es responsable del 65.2%, mientras que la subunidad de 28 kDa es responsable del 23.2% de las reacciones alérgicas respectivamente, lo que la convierte en la proteína que causa más reacciones alérgicas (Fukushima, 2011).

La importancia alérgica de las dos globulinas de almacenamiento de interés β -conglucina (7S) y glicinina (11S) recae en sus características bioquímicas y bilógicas entre las cuales se encuentra que poseen una estructura de barril beta, que es una característica común de las proteínas de la familia de las cupinas que exhiben una

notable estabilidad térmica. Además, poseen dominios N-terminal y C-terminal estructuralmente similares. Cada dominio se compone de un barril beta seguido de una región de alfa hélices, si bien estas dos globulinas son muy parecidas en su estructura 3D, al comparar las secuencias de las proteínas muestran baja similitud. Todas las globulinas comparten la tendencia a formar grandes agregados inducidos térmicamente. A diferencia de las globulinas 11S, las globulinas 7S se glicosilan con frecuencia con uno o dos sitios de glicosilación unidos a N ubicados en el dominio C-terminal. La subunidad de 28 kDa de la glicinina, contiene un polipéptido C-terminal con un epítomo de unión a IgE, este polipéptido es alérgico y aparentemente contiene al menos un epítomo inmodominante cerca del borde del dominio de cupin (Jedrychowski y Wichers, 2010).

Algunos otros autores retoman a la fracción 2S como responsable de las reacciones alérgicas (Sok et al., 2006). Se han identificado moléculas que inactivan las enzimas digestivas, durante la germinación de las semillas de soya se confirmó la identidad inmunológica del inhibidor de una proteasa con el inhibidor de tripsina de Kunitz. Sung D et al. (2014) mencionan que el inhibidor de tripsina de Kunitz es el alérgeno más importante de la fracción 2S, es una globulina compuesta por 181 aminoácidos y dos enlaces disulfuro, cuyo peso molecular varía entre los 18 y 25 kDa debido a sus diversas isoformas (Sung et al., 2014).

Cacahuete

Algunos datos estiman que entre el 1 y el 2% de la población tiene alergia debido a las proteínas del cacahuete (Burks, 2008). Es valorado como alimento con alto contenido de proteínas y es bien conocido por tener abundantes reservas de proteína de almacenamiento. Sus proteínas se clasifican en albúminas (solubles en agua) o globulinas (solubles en solución salina), estas últimas a su vez se pueden separar en dos fracciones conocidas como araquina y conaraquina. La composición de aminoácidos de la araquina y la conaraquina es similar y ambas tienen múltiples subunidades. La mayor diferencia en estas globulinas está en su contenido de azufre (0,04% para araquina; 1% para conaraquina) (Bush et al., 2016). Araquina o también llamada Ara h 3 es una proteína de almacenamiento de semillas y pertenece a la familia de las leguminosas 11S (Koppelman et al., 2003). Alrededor del 50% de las personas alérgicas al cacahuete son sensibles a este alérgeno y también funciona como un inhibidor de la tripsina (Zhou et al., 2013) El Ara h 3 maduro es un hexámero de entre 360 – 380 kDa (Jin et al., 2009). El alérgeno principal del cacahuete es Ara h 1, también conocido como conaraquina, su alergenidad de conaraquina se debe a cuestiones similares a globulinas 7S que se informaron anteriormente, las globulinas 7S se clasifican como bicupinas debido a la presencia de dos dominios con el característico pliegue en barril β en cupina (Jedrychowski y Wichers,

2010). Se sabe también que la conaraquina está glicosilada y tiene un ligado a la asparagina (Breiteneder y Mills, 2005). Como otras globulinas 7S, Ara h 1 se ensambla en homotrimeros, dentro de los cuales cada monómero de Ara h 1 asume el pliegue bicupina (Wilson y Tan-Wilson, 2015). La araquina está contenida dentro de los cuerpos proteicos (granos de aleurona) de la semilla. Se han reportado dos formas polimórficas de araquina (A y B). Araquina A se compone de las cadenas peptídicas α , β , γ y δ , mientras que la araquina B carece de una cadena (Bush et al., 2016) Ara h 2 es una albúmina 2S, también conocida como conglutina, y funciona como inhibidor de la tripsina (Burks, 2008). Más del 95% de las personas que resultaron ser alérgicas al cacahuate tienen IgE específica para Ara h 2, y se encontró que Ara h 2 es más alergénico que Ara h 1 (Koppelman et al., 2001). La estructura de Ara h 2 son cinco hélices α dispuestas en una superhélice derecha y conectadas por varios bucles extendidos. Esta conformación tridimensional está estabilizada por cuatro puentes disulfuro conservados (Barre et al., 2005). Ara h 4 el cual es en realidad una isoforma de Ara h 3, no se cree que sea un alérgeno distinto y se le cambió el nombre a Ara h 3.02 (Zhou et al., 2013). Ara h 5 tiene un peso molecular aproximado de 15 kDa, se encarga de regularizar la polimerización de la actina. Se presenta en niveles bajos en extractos de cacahuate y es reconocido por el 13% de pacientes alérgicos a este alimento (Jedrychowski y Wichers, 2010).

Diagnóstico

La evaluación requiere una historia clínica y un examen físico completos para considerar un diagnóstico diferencial amplio, para determinar posibles alimentos desencadenantes. El historial médico debe determinar el posible alimento o alimentos causales, cantidad ingerida, curso temporal de la reacción, factores auxiliares (ejercicio, el consumo de ácido acetilsalicílico y alcohol) y la consistencia de la reacción. El historial médico también se centra en los detalles que pueden contribuir a estimar la probabilidad de una reacción alérgica a un alimento específico. Las pruebas de punción cutánea (SPT) proporcionan unos medios rápidos para detectar la sensibilización. Así mismo los Inmunoensayos séricos para determinar anticuerpos IgE específicos de alimentos proporcionan otra modalidad para evaluar la alergia alimentaria mediada por IgE (Hamilton y Franklin Adkinson, 2004). El parche de atopia es una prueba en la cual se coloca a los alimentos debajo de las cámaras de pruebas de alérgenos de contacto. (Mehl et al., 2006) (Salt et al., 2007). Se han reportado pruebas no probadas o refutadas, como la prueba del pulso. En los últimos años se han propuesto las pruebas de inmunoterapia oral como método de control, estas se componen de una alimentación gradual de un posible alérgeno bajo supervisión médica para determinar la tolerancia o reactividad clínica. (Benstein et al., 2008)

Manejo

La terapia principal para las reacciones por alergia alimentaria es evitar el alimento o los alimentos causantes. La educación sobre la evitación incluye una cuidadosa atención a lectura de etiquetas, cuidado al obtener alimentos de restaurantes y/o de establecimientos, y evitar el contacto cruzado de alimentos con un alérgeno durante la preparación de la comida, así como evitar cortes compartidos, rebanadoras y batidoras. Los antihistamínicos pueden aliviar parcialmente los síntomas del síndrome de alergia oral y piel mediada por IgE, estos bloquean el efecto de la histamina, esta hormona es uno de los mediadores principales, es una amina vaso activa que se difunde rápidamente gracias a su bajo peso molecular, que ejerce su actividad biológica después de unirse a receptores específicos en las células endoteliales, fibras musculares lisas y fibras terminales nerviosas produciendo edema, el cual se debe al aumento del espacio entre células endoteliales y al aumento de la presión intracapilar, originada por la contracción de las vénulas postcapilares y la relajación de las arteriolas terminales. Las terapias antiinflamatorias pueden ser beneficiosas para esofagitis eosinofílica alérgica o gastroenteritis, los fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) actúan inhibiendo la síntesis y liberación de prostaglandinas, así como la inhibición de la activación de los neutrófilos, que provocan inflamación al liberar productos distintos de las prostaglandinas, las prostaglandinas resultan de la metabolización por la vía de la ciclooxigenasa del ácido araquidónico. (Sicherer y Sampson, 2010) (Rothenberg, 2004). Es importante mencionar que el tratamiento clave para la anafilaxia inducida por alimentos es la administración rápida de epinefrina. La epinefrina pertenece a una clase de medicamentos llamados agonistas alfa y beta adrenérgicos (agentes simpatomiméticos). Funciona al relajar los músculos de las vías respiratorias y estrechar los vasos sanguíneos.

Conclusiones

Es un hecho que la alergia por alimentos ha cobrado especial interés especialmente en países desarrollados, esto debido a la importancia de las reacciones que desarrolla el cuerpo. Destacan cuatro alimentos debido a los diferentes factores de riesgo, sus características y rasgos moleculares encargados de otorgarles alergenicidad. Conocer estos rasgos resulta importante para el manejo de estos alimentos, así como para su procesamiento en el contexto de los individuos alérgicos. Esto debido a que los tratamientos actuales solo ofrecen solución a los síntomas.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Investigación y Posgrado-IPN, y al CONACYT por el apoyo a los proyectos [20210150] y [256478].

REFERENCIAS:

Abbas, Abul K, Lichtman, Ansrew H, Pillai S (2012). *Inmunología celular y molecular* (7 ma, p. 546). Elsevier.

Aguilar-Jasso D, Valdez-López F, Valle-Leal J G, Aguilar-Jasso J, Hierro-Yepo J C Del, Lizola-Arvizu N (2018). Clinical profile of pediatric patients diagnosed with food allergy in Northwestern Mexico. *Revista Alergia Mexico*, 65(3), 153–161. <https://doi.org/10.29262/ram.v65i3.355>

Barre A, Borges J P, Culerrier R, Rougé P (2005). Homology modelling of the major peanut allergen Ara h 2 and surface mapping of IgE-binding epitopes. *Immunology Letters*, 100(2), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2005.03.014>

Bernstein I L, Li J T, Bernstein D I, Hamilton R, Spector S L, Tan R, Sicherer S, Golden D B K, Khan D A, Nicklas R A, Portnoy J M, Blessing-Moore J, Cox L, Lang D M, Oppenheimer J, Randolph C C, Schuller D E, Tilles S A, Wallace D V, Weber R (2008). Allergy diagnostic testing: An updated practice parameter. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 100(3 SUPPL. 3), S1–S148. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)60305-5](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60305-5)

Braun A, Kwee L, Labow M A, Alsenz J (1997). Protein aggregates seem to play a key role among the parameters influencing the antigenicity of interferon alpha (IFN- α) in normal and transgenic mice. (pp. 1472–1478).

Breiteneder H, Mills E N C (2005). Molecular properties of food allergens. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 115(1), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.10.022>

Bu G, Luo Y, Chen F, Liu K, Zhu T (2013). Milk processing as a tool to reduce cow's milk allergenicity: A mini-review. *Dairy Science and Technology*, 93(3), 211–223. <https://doi.org/10.1007/s13594-013-0113-x>

Burks A W (2008). Seminar Peanut allergy. *Www.TheLancet.Com*, 371, 1538–1546. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60659-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60659-5)

Bush R K, Taylor S L, Ph D, Nordlee J A (2016). Peanut Sensitivity. *c*, 261–264.

Caubet J C, Wang J (2011). Current Understanding of Egg Allergy. *Pediatric Clinics of North America*, 58(2), 427–443. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2011.02.014>

Chakravarty S, Varadarajan R (2000). Elucidation of determinants of protein stability through genome sequence analysis. *FEBS Letters*, 470(1), 65–69. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(00\)01267-9](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(00)01267-9)

Chang C, Lahti T, Tanaka T, Nickerson M T (2018). Egg proteins: fractionation, bioactive peptides and allergenicity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5547–5558. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9150>

Chirino A J, Ary M L, Marshall S A (2004). Minimizing the immunogenicity of protein therapeutics. *Drug Discovery Today*, 9(2), 82–90. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(03\)02953-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(03)02953-2)

Chung S Y, Butts C L, Maleki S J, Champagne E T (2003). Linking

peanut allergenicity to the processes of maturation, curing, and roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4273–4277. <https://doi.org/10.1021/jf021212d>

Creamer L K (1995). Effect of Sodium Dodecyl Sulfate and Palmitic Acid on the Equilibrium Unfolding of Bovine β -Lactoglobulin. *Biochemistry*, 34(21), 7170–7176. <https://doi.org/10.1021/bi00021a031>

Douliet J P, Jégou S, Pato C, Mollé D, Tran V, Marion D (2001). Binding of two mono-acylated lipid monomers by the barley lipid transfer protein, LTPI, as viewed by fluorescence, isothermal titration calorimetry and molecular modelling. *European Journal of Biochemistry*, 268(2), 384–388. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1033.2001.01889.x>

Flom J D, Sicherer S H (2019). Epidemiology of cow's milk allergy. *Nutrients*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11051051>

Fox P F (2001). Milk proteins as food ingredients. *International Journal of Dairy Technology*, 54(2), 41–55. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2001.00014.x>

Fukushima D (2011). Soy proteins. *Handbook of Food Proteins*, 210–232. <https://doi.org/10.1533/9780857093639.210>

Gil Hernández A (2010). *Tratado de nutrición tomo II composición y calidad nutritiva de los alimentos* (2^o ed). Médica Panamericana.

Hamilton R G, Franklin Adkinson N (2004). In vitro assays for the diagnosis of IgE-mediated disorders. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(2), 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.06.046>

Hochwallner H, Schulmeister U, Swoboda I, Spitzauer S, Valenta R (2014). Cow's milk allergy: From allergens to new forms of diagnosis, therapy and prevention. *Methods*, 66(1), 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.08.005>

Huopalahti R, López-Fandiño R, Anton M, Schade R (2007). Composition and Extraction of Egg Components. In *Bioactive Egg Compounds*. <https://link-springer-com.proxy.bib.uottawa.ca/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-37885-3.pdf>

Ilchmann A, Burgdorf S, Scheurer S, Waibler Z, Nagai R, Wellner A, Yamamoto Y, Yamamoto H, Henle T, Kurts C, Kalinke U, Vieths S, Toda M (2010). Glycation of a food allergen by the Maillard reaction enhances its T-cell immunogenicity: Role of macrophage scavenger receptor class A type I and II. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(1–3), 175–183.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.013>

Jedrychowski L, Wichers H J (2010). *Chemical and biological properties of food allergens*. (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420058574>

Jin T, Guo F, Chen Y W, Howard A, Zhang Y Z (2009). Crystal structure of Ara h 3, a major allergen in peanut. *Molecular Immunology*, 46(8–9), 1796–1804. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2009.01.023>

Katz Y, Rajuan N, Goldberg M R, Eisenberg E, Heyman E, Cohen A, Leshno M (2010). Early exposure to cow's milk protein is protective against IgE-mediated cow's milk protein allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 126(1), 77–82.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.04.020>

Koppelman S J, Knol E F, Vlooswijk R A A, Wensing M, Knulst A C, Hefle S L, Gruppen H, Piersma S (2003). Peanut allergen Ara h 3: Isolation from peanuts and biochemical characterization. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 58(11), 1144–1151. <https://doi.org/10.1034/j.1398-9995.2003.00259.x>

- Abbas, Abul K, Lichtman, Ansew H, Pillai S (2012). *Inmunología celular y molecular* (7 ma, p. 546). Elsevier.
- Aguilar-Jasso D, Valdez-López F, Valle-Leal J G, Aguilar-Jasso J, Hierro-Yepo J C Del, Lizola-Arvizu N (2018). Clinical profile of pediatric patients diagnosed with food allergy in Northwestern Mexico. *Revista Alergia Mexico*, 65(3), 153–161. <https://doi.org/10.29262/ram.v65i3.355>
- Barre A, Borges J P, Culerrier R, Rougé P (2005). Homology modelling of the major peanut allergen Ara h 2 and surface mapping of IgE-binding epitopes. *Immunology Letters*, 100(2), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2005.03.014>
- Bernstein I L, Li J T, Bernstein D I, Hamilton R, Spector S L, Tan R, Sicherer S, Golden D B K, Khan D A, Nicklas R A, Portnoy J M, Blessing-Moore J, Cox L, Lang D M, Oppenheimer J, Randolph C C, Schuller D E, Tilles S A, Wallace D V, Weber R (2008). Allergy diagnostic testing: An updated practice parameter. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 100(3 SUPPL. 3), S1–S148. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)60305-5](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60305-5)
- Braun A, Kwee L, Labow M A, Alsenz J (1997). Protein aggregates seem to play a key role among the parameters influencing the antigenicity of interferon alpha (IFN- α) in normal and transgenic mice. (pp. 1472–1478).
- Breiteneder H, Mills E N C (2005). Molecular properties of food allergens. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 115(1), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.10.022>
- Bu G, Luo Y, Chen F, Liu K, Zhu T (2013). Milk processing as a tool to reduce cow's milk allergenicity: A mini-review. *Dairy Science and Technology*, 93(3), 211–223. <https://doi.org/10.1007/s13594-013-0113-x>
- Burks A W (2008). Seminar Peanut allergy. *Www.TheLancet.Com*, 371, 1538–1546. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60659-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60659-5)
- Bush R K, Taylor S L, Ph D, Nordlee J A (2016). Peanut Sensitivity. *c*, 261–264.
- Caubet J C, Wang J (2011). Current Understanding of Egg Allergy. *Pediatric Clinics of North America*, 58(2), 427–443. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2011.02.014>
- Chakravarty S, Varadarajan R (2000). Elucidation of determinants of protein stability through genome sequence analysis. *FEBS Letters*, 470(1), 65–69. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(00\)01267-9](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(00)01267-9)
- Chang C, Lahti T, Tanaka T, Nickerson M T (2018). Egg proteins: fractionation, bioactive peptides and allergenicity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5547–5558. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9150>
- Chirino A J, Ary M L, Marshall S A (2004). Minimizing the immunogenicity of protein therapeutics. *Drug Discovery Today*, 9(2), 82–90. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(03\)02953-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(03)02953-2)
- Chung S Y, Butts C L, Maleki S J, Champagne E T (2003). Linking peanut allergenicity to the processes of maturation, curing, and roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4273–4277. <https://doi.org/10.1021/jf021212d>
- Creamer L K (1995). Effect of Sodium Dodecyl Sulfate and Palmitic Acid on the Equilibrium Unfolding of Bovine β -Lactoglobulin. *Biochemistry*, 34(21), 7170–7176. <https://doi.org/10.1021/bi00021a031>
- Douliet J P, Jégou S, Pato C, Mollé D, Tran V, Marion D (2001). Binding of two mono-acylated lipid monomers by the barley lipid transfer protein, LTP1, as viewed by fluorescence, isothermal titration calorimetry and molecular modelling. *European Journal of Biochemistry*, 268(2), 384–388. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1033.2001.01889.x>
- Flom J D, Sicherer S H (2019). Epidemiology of cow's milk allergy. *Nutrients*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11051051>
- Fox P F (2001). Milk proteins as food ingredients. *International Journal of Dairy Technology*, 54(2), 41–55. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2001.00014.x>
- Fukushima D (2011). Soy proteins. *Handbook of Food Proteins*, 210–232. <https://doi.org/10.1533/9780857093639.210>
- Gil Hernández A (2010). *Tratado de nutrición tomo II composición y calidad nutritiva de los alimentos* (2^o ed). Médica Panamericana.
- Hamilton R G, Franklin Adkinson N (2004). In vitro assays for the diagnosis of IgE-mediated disorders. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(2), 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.06.046>
- Hochwallner H, Schulmeister U, Swoboda I, Spitzauer S, Valenta R (2014). Cow's milk allergy: From allergens to new forms of diagnosis, therapy and prevention. *Methods*, 66(1), 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.08.005>
- Huopalahti R, López-Fandiño R, Anton M, Schade R (2007). Composition and Extraction of Egg Components. In *Bioactive Egg Compounds*. <https://link-springer-com.proxy.bib.uottawa.ca/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-37885-3.pdf>
- Ilchmann A, Burgdorf S, Scheurer S, Waibler Z, Nagai R, Wellner A, Yamamoto Y, Yamamoto H, Henle T, Kurts C, Kalinke U, Vieths S, Toda M (2010). Glycation of a food allergen by the Maillard reaction enhances its T-cell immunogenicity: Role of macrophage scavenger receptor class A type I and II. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(1–3), 175–183.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.013>
- Jedrychowski L, Wichers H J (2010). Chemical and biological properties of food allergens. (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420058574>
- Jin T, Guo F, Chen Y W, Howard A, Zhang Y Z (2009). Crystal structure of Ara h 3, a major allergen in peanut. *Molecular Immunology*, 46(8–9), 1796–1804. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2009.01.023>
- Katz Y, Rajuan N, Goldberg M R, Eisenberg E, Heyman E, Cohen A, Leshno M (2010). Early exposure to cow's milk protein is protective against IgE-mediated cow's milk protein allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 126(1), 77–82.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.04.020>
- Koppelman S J, Knol E F, Vlooswijk R A A, Wensing M, Knulst A C, Hefle S L, Gruppen H, Piersma S (2003). Peanut allergen Ara h 3: Isolation from peanuts and biochemical characterization. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 58(11), 1144–1151. <https://doi.org/10.1034/j.1398-9995.2003.00259.x>
- Koppelman S J, Vlooswijk R A A, Knippels L M J, Hessing M, Knol E F, Van Reijssen F C, Bruijnzeel-Koomen C A F M (2001). Quantification of major peanut allergens Ara h 1 and Ara h 2 in the peanut varieties Runner, Spanish, Virginia, and Valencia, bred in different parts of the world. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 56(2), 132–137. <https://doi.org/10.1034/j.1398-9995.2001.056002132.x>
- Lack G (2012). Update on risk factors for food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 129(5), 1187–1197. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2012.02.036>
- Lin Y Te, Wu C Te, Huang J L, Cheng J H, Yeh K W (2016). Correlation of ovalbumin of egg white components with allergic diseases in children. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 49(1), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2014.01.002>

- Maleki S J, Chung S Y, Champagne E T, Raufman J P (2000). The effects of roasting on the allergenic properties of peanut proteins. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 106(4), 763–768. <https://doi.org/10.1067/mai.2000.109620>
- Martorell-Aragonés A, Echeverría-Zudaire L, Alonso-Lebrero E, Boné-Calvo J, Martín-Muñoz M F, Nevot-Falcó S, Piquer-Gibert M, Valdesoiro-Navarrete L (2015). Allergología et Position document : IgE-mediated cow ' s milk allergy. *Allergologia et Immunopathologia*, 43(5), 507–526.
- Medina-hernández A, Huerta-Hernández R E, Góngora-meléndez M A, Domínguez-Silva M G, Mendoza-Hernández D A, Romero-Tapia S D J (2015). Perfil clínico-epidemiológico de pacientes con sospecha de alergia alimentaria en México . Estudio Clínico-epidemiological profile of patients with suspicion of alimentary allergy in Mexico . *Mexipreval Study*. 28–40.
- Mehl A, Rolinck-Werninghaus C, Staden U, Verstege A, Wahn U, Beyer K, Niggemann B (2006). The atopy patch test in the diagnostic workup of suspected food-related symptoms in children. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 118(4), 923–929. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2006.07.003>
- Pérez A, Santamaria E K, Operario D, Tarkang E E, Zotor F B, Cardoso S R, Miranda S F da R, Ferreira F A. A, Oliver J, Dario M, Volk J E (1999). Characterization of Four Major Allergens of Hen Egg-White by IEF/SDS-PAGE Combined with Electrophoretic Transfer and IgE-Immunoautoradiography. *Int. Arch. Allergy Appl. Immunol.*, 91, 136–141. <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298%0Ahttp://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jana.2015.10.005%0Ahttp://www.biomedcentral.com/1471-2458/12/58%0Ahttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&P>
- Prescott S L, Pawankar R, Allen K J, Campbell D E, Sinn J K H, Fiocchi A, Ebisawa M, Sampson H A, Beyer K, Lee B W (2013). A global survey of changing patterns of food allergy burden in children. *World Allergy Organization Journal*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1939-4551-6-21>
- Renz H, Allen K J, Sicherer S H, Sampson H A, Lack G, Beyer K, Oettgen H C (2018). Food allergy. *Nature Reviews Disease Primers*, 4. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.98>
- Rothenberg M E (2004). Eosinophilic gastrointestinal disorders (EGID). *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 113(1), 11–28. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2003.10.047>
- Salt B H, Boguniewicz M, Leung D Y M (2007). Severe refractory atopic dermatitis in adults is highly atopic. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 119(2), 508–509. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2006.11.006>
- Sánchez J, Sánchez A (2015). Epidemiology of food allergy in Latin America. *Allergologia et Immunopathologia*, 43(2), 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2013.07.001>
- Sicherer S H, Sampson H A (2010). Food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(2 SUPPL. 2), S116–S125. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.028>
- Sok L T, Kasapis S, Perera C O, Barlow P J (2006). Functional and structural properties of 2S soy protein in relation to other molecular protein fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 6046–6053. <https://doi.org/10.1021/jf060387a>
- Sung D, Ahn K M, Lim S Y, Oh S (2014). Allergenicity of an enzymatic hydrolysate of soybean 2S protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(12), 2482–2487. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6583>
- Thompson M J, Eisenberg D (1999). Transproteomic evidence of a loop-deletion mechanism for enhancing protein thermostability. *Journal of Molecular Biology*, 290(2), 595–604. <https://doi.org/10.1006/jmbi.1999.2889>
- Torres y Torres N, Tovar-Palacio A R (2009). La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. *Salud Pública de México*, 51(3), 246–254. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342009000300016>
- Van Ree R (2002). Carbohydrate epitopes and their relevance for the diagnosis and treatment of allergic diseases. *International Archives of Allergy and Immunology*, 129(3), 189–197. <https://doi.org/10.1159/000066770>
- Wal J M (2002). Cow's milk proteins/allergens. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 89(6 SUPPL. 1), 3–10. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62115-1](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62115-1)
- Wilson K A, Tan-Wilson A (2015). Proteolysis of the peanut allergen Ara h I by an endogenous aspartic protease. In *Plant Physiology and Biochemistry* (Vol. 96, pp. 301–310). <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.008>
- Wormald M R, Dwek R A (1999). Glycoproteins: Glycan presentation and protein-fold stability. *Structure*, 7(7), 155–160. [https://doi.org/10.1016/S0969-2126\(99\)80095-1](https://doi.org/10.1016/S0969-2126(99)80095-1)
- Zhou Y, Wang J S, Yang X J, Lin D H, Gao Y F, Su Y J, Yang S, Zhang Y J, Zheng J J (2013). Peanut allergy, allergen composition, and methods of reducing allergenicity: A review. *International Journal of Food Science*, <https://doi.org/10.1155/2013/909140>

INVESTIGACIÓN +

POSGRADOS

- Maestría en Biotecnología Aplicada
- Maestría en Biotecnología Productiva
- Doctorado en Ciencias en Biotecnología
- Doctorado en Biotecnología Productiva



Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada
Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal
Tecuexcomac - Tepetitla K. 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, México
www.cibatlaxcala.ipn.mx