

El frijol: alimento biofuncional

Erik Polanco-Lugo ¹, J. Urdapilleta-Carrasco ², N. Pacheco-López ¹, C. Balcázar-Reyes ³, T. Ayora-Talavera ¹.

¹ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Subsede 4 Sureste, Tablaje Catastral 31264, Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Km 5.5, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP: 97302, Mérida, Yucatán, México; ² Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C (CICY), Calle 43 No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200 Mérida, Yucatán, México; ³ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente #1150, Colonia Caleras Maciel, C.P. 29018, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Resumen

Fundamentos: El frijol es un grano ancestral que ha formado parte de la dieta tradicional de muchas culturas por su sostenibilidad, versatilidad y valor nutricional. Destaca como una fuente accesible de macro y micronutrientes esenciales para procesos metabólicos vitales como el crecimiento, la reparación celular o la producción de energía; así como de fitoquímicos con potencial antioxidante e inflamatorio, y presencia de compuestos antinutricios con potencial bioactivo más allá de sus funciones de defensa contra patógenos y plagas en la planta.

Métodos: La realización de esta revisión sistemática se realizó a través de la base de datos científica PubMed/MEDLINE 2.0. La investigación requirió de la búsqueda de artículos originales asociados a otros estudios relacionados con el frijol y sus beneficios a la salud.

Resultados: El frijol aporta aminoácidos esenciales y energía sin picos de glucosa, a menor coste. Además de ser un alimento libre de colesterol y gluten, con alto contenido de fibra y niveles significativos de minerales y vitaminas del complejo B. Aunado a un perfil fitoquímico y factores antinutricios que puede favorecer su consideración como agente terapéutico. Por lo que su impacto en la dieta deriva más allá de la nutrición, favoreciendo la prevención de algunos desórdenes metabólicos y gastrointestinales, mejorando la respuesta glicémica y el control de la saciedad, así como con potencial actividad bioactiva en la prevención de enfermedades no transmisibles.

Conclusiones: A nivel mundial, los patrones alimentarios se han modificado en función a los nuevos estilos de vida. Sin embargo, alimentos como el frijol, cuyo sabor y textura lo hacen un componente esencial de diversos platos en las dietas tradicionales, son indispensables para el mantenimiento de un balance adecuado de nutrientes y fitoquímicos. Por lo que su consumo y reposicionamiento en la dieta promovería una alimentación más saludable con beneficios metabólicos asociados a la biofuncionalidad y sinergia de sus diferentes componentes o moléculas

Palabras clave: Frijol; Nutrientes; Fitoquímicos; Antinutrientes; Enfermedades no Transmisibles.

Beans: functional food

Summary

Background: Beans are an ancient legume that have been part of the traditional diet of many cultures due to their sustainability, versatility, and nutritional value. They stand out as an accessible source of macro- and micronutrients essential for vital metabolic processes such as growth, cell repair, and energy production, as well as phytochemicals with antioxidant and anti-inflammatory potential. Additionally, they contain anti-nutritional compounds with bioactive potential beyond their defensive functions against pathogens and pests in plants.

Methods: This systematic review was conducted using the scientific database PubMed/MEDLINE 2.0. The study involved searching for original articles related to beans and their health benefits, as well as other relevant studies.

Results: Beans provide essential amino acids and energy without causing glucose spikes, all at a lower cost. In addition to being a cholesterol- and gluten-free food, they are high in fiber and contain significant levels of minerals and B-complex vitamins. They also have a phytochemical profile and anti-nutritional factors that may support their consideration as a therapeutic agent. Therefore, their impact on the diet goes beyond nutrition, contributing to the prevention of certain metabolic and gastrointestinal disorders, improving glycemic response and satiety control, and potentially exerting bioactive effects in the prevention of non-communicable diseases.

Conclusions: Worldwide, dietary patterns have changed in response to new lifestyles. However, foods such as beans, whose flavor and texture make them an essential component of various traditional dishes, remain indispensable for maintaining an adequate balance of nutrients and phytochemicals. Therefore, their consumption and reintegration into the diet would promote a healthier eating pattern, with implicit metabolic benefits associated with the biofunctionality and synergy of their various components and molecules.

Key words: Bean; Nutrients; Phytochemicals; Antinutrients; Non communicable diseases.

Introducción

En los últimos 50 años, los patrones dietéticos de la población se han modificado en cada región del mundo [1]. La base de la alimentación pasó, de estar predominantemente compuesta por alimentos frescos y mínimamente procesados, a alimentos ultraprocesados [1, 2], los cuales son atractivos, hiperpalatables, de fácil adquisición, pronta preparación, y bajo precio de venta [3]. Los alimentos ultraprocesados están basados en formulaciones industriales que hacen uso de ingredientes de origen natural y aditivos sintéticos, para potenciar sus propiedades organolépticas [2]. Sin embargo, el resultado son alimentos con baja calidad nutricional, dado su alto contenido en grasas trans o saturadas, sodio, azúcares libres, y bajo contenido de proteínas, vitaminas y fibras [3, 4]. Por lo que su alto consumo ha repercutido en la incidencia de problemas crónicos de salud [5], ocasionado por hábitos alimentarios propios de una dieta “obesogénica” [1, 4].

Este tipo de dieta ha repercutido de manera negativa, debido a que se han ido reemplazando de manera consecuyente e inminente, algunos alimentos orgánicos, nutritivos y biofuncionales. Una alternativa atractiva para enfrentar esta tendencia es la promoción de una alimentación a base de ingredientes propios de dietas tradicionales y/o ancestrales, y aún presentes en la cesta de la compra básica de muchos países, que podrían reducir potencialmente la elevada incidencia de enfermedades no transmisibles [6, 7]. Este es el caso de las leguminosas, cuyo aprovechamiento nutricional podría contribuir a contrarrestar los problemas de salud y de seguridad alimentaria [7-9]. Particularmente, el frijol es una leguminosa de consumo arraigado, principalmente en el continente americano, aunque en algunos

países el consumo *per cápita* suele ser cada vez menor a lo esperado [8, 10].

En la presente revisión se describen los principales macro y micronutrientes, fitoquímicos y compuestos antinutritivos del frijol. Así también sus propiedades nutrimentales y bioactivas como alimento funcional, auxiliar en la prevención de la desnutrición y de enfermedades no transmisibles. El reposicionamiento del frijol en los patrones dietéticos permitiría fomentar una amplia gama de posibilidades de consumo en pro de una alimentación más saludable con beneficios metabólicos implícitos.

Material y métodos

La realización de esta revisión sistemática requirió de la investigación a través de la base de datos científica PubMed/MEDLINE 2.0 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), en la que se tuvieron en cuenta artículos publicados desde enero de 2010 hasta diciembre de 2024. La investigación requirió de la selección de las palabras claves obtenidas de la lectura de otros estudios relacionados con el tema para la búsqueda de artículos originales.

Resultados

El frijol como ingrediente social, cultural y alimentario

El frijol (*Phaseolus spp*) es la leguminosa de grano más importante para el consumo humano a nivel mundial [11]. Presenta una gran variabilidad genética que se expresa de forma morfológica [12], por lo que es posible encontrar granos con formas, tamaños y testas de diferente color [7, 13]. Esta variabilidad, se hace presente en la gastronomía tradicional, atenuando o potenciando colores y sabores, y ofreciendo identidad cultural alimentaria en algunos países [14, 15]. Así pues, factores como la genética del grano, las condiciones

ambientales y variables asociadas al propio sistema de cultivo y almacenamiento post-cosecha, determinan en gran medida, la composición de nutrientes y fitoquímicos del frijol [7, 16].

La importancia del frijol en la alimentación humana se basa principalmente en su uso como granos en estado maduro (seco), ya sea enteros, partidos, descascarados, molidos, y procesados (cocción, tostado, germinación, y fermentación) [8, 17, 18]. Los granos en estado inmaduro (verde) se consumen en vainas como hortalizas frescas. También se comercializan enlatados o congelados como conservas [19]. Lamentablemente, en algunos países su consumo *per cápita* es limitado (2,58 kg/habitante/año) [10]. De modo que, en la industria alimentaria, se ha potenciado el desarrollo de productos alimenticios o ingredientes funcionales a base de leguminosas para ofrecer alternativas saludables al consumidor [7]. En el contexto industrial, el frijol puede formar parte de productos alimentarios de diversa índole: (i) productos libres de gluten [20]; (ii) productos enriquecidos con ingredientes funcionales [13, 21]; (iii) y productos con perfil nutricional y atributos de calidad mejorados [7, 22].

Las macromoléculas del frijol, y su aporte a la nutrición y salud

El frijol es un alimento sostenible debido a su baja huella de carbono [23], y ofrece un balance adecuado para formar parte de una dieta saludable e incluso celíaca, debido a que no contiene gluten, lo cual se asocia a trastornos del sistema autoinmune como la inflamación del intestino delgado [24, 25]. Asimismo, se destaca por su alto contenido en proteína (21.06-31.30 g/100g) [22, 26-28], superior al de cereales como arroz (7,00-8,00 g/100g) y maíz (9,00-12,00 g/100g) [29, 30]. Su perfil aminoacídico está representado por aminoácidos esenciales como la lisina,

isoleucina, fenilalanina, valina, leucina y treonina en cantidades variables, con deficiencia en aminoácidos azufrados [10, 20], lo cual generalmente se compensa con el consumo de cereales, para un mejor balance proteico [8, 10, 29], y debido a su procesamiento convencional es posible alcanzar tasas mayores al 70,00% de digestibilidad aparente respecto a fuentes proteicas de origen animal (100%) [8, 29, 31].

Aunado a lo anterior, es de destacar que el frijol contiene secuencias aminoacídicas que al ser hidrolizadas enzimáticamente "*in vivo*" o "*in vitro*" incrementan el potencial biológico de las proteínas intrínsecas al modular diferentes funciones biológicas [20]: antihipertensiva [32]; antioxidante y vaso relajante [33]; y de inhibición de enzimas implicadas en la liberación de triglicéridos y glucosa en el tracto gastrointestinal [7], entre otras. Por consiguiente, podrían entre otros beneficios prevenir el sobrepeso y comorbilidades asociadas a un mayor consumo de lípidos y azúcares [7, 10]. La evidencia de ensayos clínicos en adultos con prediabetes y sanos, validan estos efectos reductores sobre los niveles post-prandiales de glucosa e insulina después de la ingesta oral de hidrolizados de frijol [13]

El frijol es también fuente importante de hidratos de carbono (42,86-63,00 g/100g) [26-28, 34] desde simples hasta complejos, tales como monosacáridos (1,00 g/100g) y disacáridos (1,00-3,00 g/100g) como sacarosa, presentes en cantidades menores en muchas leguminosas [19]. También contiene oligosacáridos como rafinosa (0,24-0,34 g/100g), verbacosa, y estaquiosa (1,24-1,84 g/100g), asociados con trastornos gastrointestinales funcionales como la flatulencia debido a la inactividad de la α -1,6-galactosidasa en el intestino delgado [35, 36], aunque en la actualidad los oligosacáridos se

consideran con beneficios fisiológicos como suplementos prebióticos [37].

Entre los hidratos de carbono complejos destaca el almidón primario (25,00-45,00g/100g) [38]; cuyo contenido en amilopectina:amilosa y estructura química derivada, así como las propiedades de gelatinización durante su procesamiento físico, afectan su resistencia enzimática en el intestino delgado y la velocidad de asimilación, lo que reduce la respuesta de la glucosa plasmática postprandial tras la ingestión [20, 39, 40]. En menor proporción se encuentra el almidón resistente, - una fibra prebiótica físicamente inaccesible, cristalizada o retrogradada-; que ha demostrado científicamente control en el desarrollo de la obesidad [41]; y que es capaz de llegar al intestino grueso en donde fermenta con un impacto positivo sobre la microbiota intestinal [28, 42, 43]. Así, también acelera la transformación de elementos minerales en iones solubles fácilmente asimilables, lo cual sucede por el cambio del pH del lumen intestinal derivado de la presencia de productos de la fermentación, como ácidos grasos de cadena corta [44]. Estudios en ratas Wistar hembras sanas alimentadas a base de dietas con almidón resistente aumentaron las tasas de retención de calcio (67,06%), zinc (35,16%) y hierro (40,11%) respecto al grupo control [41]. Otro hidrato de carbono complejo de importancia nutracéutica es la fibra dietética (3,30-13,80 g/100g) [45]. La fibra del frijol está constituida principalmente por carbohidratos insolubles como la celulosa-hemicelulosa-lignina; y por carbohidratos solubles como la pectina-gomas-fructanos-hemicelulosas [10]. Particularmente, la fibra dietética soluble, participa directamente durante la fermentación colónica, generando acetato, propionato y butirato, y acidificando el lumen intestinal, en consecuencia, protegiendo la integridad de las células del

epitelio intestinal [10, 27, 46]. Mientras que la fibra dietética insoluble también presenta propiedades hidrofílicas, debido a que absorbe agua, y promueve la distensión gástrica y la viscosidad [21]; prolonga la secreción de hormonas con efectos supresores o reguladores del apetito y del vaciado gástrico, tal como la colecistoquinina (CKK), leptina y el péptido YY (PYY) [47], así como promueve el peristaltismo intestinal [21]. Al respecto, estudios nutricionales en adultos con síndrome metabólico indican que la incorporación de granos enteros de frijol negro en la dieta repercute en respuestas metabólicas y hormonales más eficaces como terapia no farmacológica, que la adición de cantidades equivalentes de suplementos conteniendo fibra [48]. La fibra dietética insoluble al igual que la fibra soluble, también se asocia con la regulación y estabilización de los niveles de glucosa e insulina en la sangre [8, 41]. Es probable que la estructura porosa de la superficie de la fibra insoluble favorezca el efecto de capilaridad y promueva la adsorción por afinidad de las moléculas de glucosa, mientras que la mayor área superficial incrementa la adhesión y module la difusión hacia el intestino [21, 49]. Otros beneficios asociados a las fibras dietéticas son la reducción del riesgo de cáncer de próstata y colorrectal [27], así como de enfermedades coronarias [24], debido a su capacidad de adsorción de sustancias nocivas y regulación del metabolismo de lípidos tal como la composición del perfil lipoprotéico [21].

De todos los macronutrientes del frijol, la fracción lipídica es la de menor contenido (0,74-1,90 g/100g) [17, 26]. Leguminosas como la soja (20,00 g/100g) y cacahuete (45,00 g/100g) presentan mayores contenidos respecto al frijol [19]. Está generalmente constituida por una mezcla de acilglicéridos, cuyos ácidos grasos predominantes son poliinsaturados (PUFA) como el ácido linoleico

(18:2), ácido linolénico (18:3) y oleico (C18:1) [25, 31, 34]. Contiene poca grasa saturada y nada de colesterol [34]. Particularmente, los PUFA contribuyen a diversas actividades celulares como la señalización celular, la integridad estructural y la fluidez de la membrana, las reacciones inflamatorias, la regulación de la presión sanguínea y nivel de glucosa [25, 50].

En cuanto a los micronutrientes, el frijol contiene potasio (12,60 – 13,30 µg/kg) [51], hierro (42,00-49,00 µg/g), calcio (881,00-1162,00 µg/g), zinc (21,00-37,00 µg/g), manganeso (11,00-15,00 µg/g), magnesio (1092,00- 1289,00 µg/g), cobre (5,50-9,90 µg/g), y fósforo [17]. La influencia de los minerales en la dieta depende del efecto del procesamiento sobre los componentes antinutricionales que los quelatan, limitando su bioaccesibilidad y absorción intestinal [17, 52]. De los minerales mencionados, el hierro ayuda a prevenir la anemia ferropénica en

mujeres y niños [24], y es una fuente importante en dietas veganas o vegetarianas. El Calcio es vital para el desarrollo del sistema esquelético y la regulación metabólica de coenzimas. El Zinc interviene en el crecimiento celular y contribuye a la mejora del sistema inmunológico. El Magnesio contribuye a la estabilidad del sistema nervioso y la contracción muscular [42, 53].

Así también destaca su contenido en vitaminas solubles en agua. Esto debido a que tan solo una porción contiene tiamina (0,81-1,32 mg/100g), riboflavina (0,11-0,41 mg/100g), niacina (0,85-3,21, mg/100g), vitamina B6 (0,29-0,65 mg/100g) y ácido fólico (0,14-0,67 mg/100g) [27, 78], y ácido ascórbico en semillas secas recién cosechadas [19]. Es fuente importante de folato, cuyo consumo se asocia con la reducción del riesgo de anomalías congénitas del tubo neural [40], como la espina bífida en los recién nacidos [24] (Figura 1).

Figura 1. Composición de macro y micronutrientes del frijol.



Las micromoléculas del frijol, y su aporte a la nutrición y salud

Más allá de la nutrición, el frijol exhibe una amplia gama de metabolitos secundarios propios de la planta denominados

fitoquímicos con actividades bioactivas que influyen simultáneamente en numerosas vías metabólicas como lo demuestran estudios *in vivo* e *in vitro* [9, 37], así que su consumo en dosis adecuadas se asocia a la prevención de

enfermedades no transmisibles [7, 54, 55]. Entre estas moléculas químicas con propiedades bioactivas destacan los polifenoles como las proto-antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos, y taninos [9, 56].

Los polifenoles son un grupo heterogéneo con estructuras químicas conteniendo uno o más anillos aromáticos con grupos hidroxilo, responsables de la pigmentación o color del grano de frijol (antocianinas), así como de su astringencia asociada al sistema de protección de la planta contra patógenos e insectos (taninos) [16, 27]. Por ello, cada variedad de frijol exhibe un perfil polifenólico específico que contribuye a su pigmentación, así como a sus posibles beneficios a la salud [9]. Los polifenoles están primordialmente presentes en la testa o cáscara del grano, así como en los cotiledones en forma insoluble ligada a componentes estructurales de la pared celular [57] como los polisacáridos pécticos y la red de hemicelulosa-celulosa [58]. Es la estructura química y conformacional en su conjunto la que le confiere su efecto bioactivo capaz de promover la atenuación del estrés oxidativo [13]; la quelación o secuestro de metales de transición iniciadores de procesos oxidativos; la activación de enzimas antioxidantes; la inhibición de oxidasas; y la modulación de procesos de señalización celular [42, 53], así como de neutralización de radicales libres (especies reactivas de oxígeno) asociados con el envejecimiento, daño celular y aparición de enfermedades crónicas [59, 60], incluyendo el cáncer y los problemas cardiovasculares [61,62]. Generalmente, los polifenoles recorren el tracto gastrointestinal junto con la matriz alimentaria, hasta alcanzar el intestino delgado y grueso, en donde se liberan por la actividad de enzimas producidas por las células intestinales y la microbiota [59], con lo cual son absorbidos en los enterocitos/colonocitos y transferidos a los hepatocitos, posteriormente son

biotransformados en metabolitos conjugados diferentes (derivados de sulfato, metilo, y glucurónido) [9], y transportados a órganos a través del sistema circulatorio para finalmente ser excretados vía urinaria [62]. Por tanto, la microbiota colónica, destaca como el principal factor diferencial en el metabolismo de los compuestos fitoquímicos, la cual varía entre los individuos que los consumen en función su ecología microbiana [59, 62]. Estudios *in vitro*, destacan el papel de los polifenoles del frijol como estrategia terapéutica en las primeras etapas de la diabetes tipo 2, a partir de su empleo como extractos crudos para ligar e inhibir la actividad de enzimas digestivas como la alfa-amilasa y alfa-glucosidasa [13, 63].

Otros fitoquímicos endógenos del frijol, como las saponinas, ácido fítico, lectinas e inhibidores de proteasas [64], actúan como factores antinutricios por que limitan la digestibilidad de proteínas y carbohidratos, así como la disponibilidad de vitaminas y minerales [35]. Esto ocurre a contenidos significativamente altos. Sin embargo, a bajas concentraciones, a partir del procesamiento de los granos [65], pueden actuar como promotores de la salud [7], por su actividad como antioxidantes, antiinflamatorios, antivirales y preventivos o terapéutico del cáncer, entre otras bioactividades [35, 42, 59].

De manera particular, las saponinas presentes en las testas de los granos son glucósidos caracterizados por una unidad de aglicona no polar (esteroide o triterpenoide) unida a uno o más moléculas de carbohidratos con capacidad para capturar radicales libres y estimular enzimas antioxidantes, inhibiendo la formación de complejos entre iones metálicos y radicales libres [7]. Se considera a las saponinas como los compuestos fitoquímicos con mayor efecto bioactivo para el control de la diabetes mellitus en su acción sobre las células beta del páncreas [66]. El ácido fítico o mioinositol hexakisfosfato se halla asociado

principalmente al almacenamiento de fósforo en el grano (2/3 contenido total) [60, 67], su categorización como anti-nutriente obedece a su capacidad para ligar iones minerales divalentes, proteínas y almidón [68, 69], lo que limita la acción enzimática de la pepsina, pancreatina alfa-amilasa por ende la menor disponibilidad de los minerales, aminoácidos y glucosa [35]. El ácido fítico ha demostrado, a partir de estudios *in vivo* e *in vitro* potencial preventivo contra un amplio rango de enfermedades [69], poseer notable efecto preventivo sobre el desarrollo tumoral a partir de la reducción de la proliferación celular y aumento de la diferenciación/maduración de células malignas con posible reversión al fenotipo normal [35]; prevención de la calcificación patológica debido a su interferencia con la absorción del calcio [69]. También puede ejercer propiedades antioxidantes a través de actividades quelantes de iones en exceso (cobre y hierro) por lo que, inhibe la peroxidación de lípidos catalizada por el efecto de iones de hierro con la formación de radicales hidroxilos [70], motivo por el cual se asocia con la prevención de la arteriosclerosis [7]; y de igual modo reduce la biodisponibilidad de metales pesados tóxicos como el cadmio y el plomo [35]. Las lectinas o hemaglutininas son proteínas de origen no inmunogénico con capacidad para unirse con alto grado de especificidad a moléculas que contienen carbohidratos [71], y representan alrededor del 2,40-5,00% de la proteína total del frijol [35]. Estas moléculas pueden ligarse a glicolípidos o glicoproteínas en la superficie de linfocitos y eritrocitos, provocando hemaglutinación y anemia; y también desencadenar alergias alimentarias a partir de la producción de anticuerpos [60]. Sin embargo, se ha descubierto que poseen

propiedades antiinflamatorias, así que pueden ser capaces de moderar esta afección prevalente en enfermedades crónicas [61]; así como también podría presentar propiedades cicatrizantes en todas las fases (homeostasia, coagulación, inflamación, proliferación y re-epitelización) desde la infiltración de neutrófilos y estimulación de células inmunitarias hasta la estimulación de síntesis de fibroblastos y deposición de colágeno [71]; así como también presentan aplicaciones clínicas antibacterianas, antifúngicas y anti-VIH, debido a su capacidad de aglutinar eritrocitos e interactuar en la superficie celular [72]. Estudios *in vivo* en modelos de ratón C57 BL con melanoma B16-F10, señalan que la inclusión en la dieta de proteínas funcionales de lectinas proveniente de frijol de testa roja, manifestaban actividad antitumoral potenciando la apoptosis y la inmodulación, pudiendo actuar como un potencial fármaco contra el cáncer [73]. Los inhibidores de proteasas son compuestos de defensa de la planta [67]. El frijol como la mayoría de las leguminosas en su estado crudo posee altos niveles de inhibidores proteínicos (tripsina, quimiotripsina, y alfa amilasa), que bloquean la función de las enzimas digestivas en el duodeno a partir de la formación de un complejo enzima-inhibidor que impiden la digestión de proteínas y carbohidratos [61]. Sin embargo, la disminución de los niveles de proteasas duodenal favorece la liberación de colecistoquinina que a su vez estimula al páncreas para segregar proteasas de serina adicionales, y de este modo el consumo de inhibidores de proteasas ayuda a regular los niveles de proteasa en el intestino delgado [61]. Los beneficios fisiológicos de los antinutrientes del frijol son relevantes, sin embargo, se requiere mayor investigación, así como estudios *in vivo*.

Macro/micronutriente	Preparación y consumo	Efecto			Referencia
Proteína	Hidrolizados proteicos	Reducción en niveles post-prandiales de glucosa e insulina			[13]
	Granos enteros	Tratamiento	para	trastornos	[36]
		gastrointestinales funcionales			
	Granos enteros, granos en	Pérdida de peso y disminución de grasa abdominal (obesidad)			[74]
Fibra dietética	conserva, granos procesados				
	(salsas, refritos, cocidos)				
	Granos en conserva	Reducción del colesterol sérico total y LDL, y enfermedades cardiovasculares			[75]
Almidón resistente	Harinas de granos cocidos	Efecto prebiótico, incremento de ácidos grasos de cadena corta y modulación de la microbiota intestinal			[76]
Aminoácidos, polifenoles y lípidos	Harinas y snacks	Prevención de colon rectal			[77]

Tabla 1. El beneficio del consumo del frijol en la prevención y control de diferentes enfermedades.

Conclusiones

Es por su contenido en macro y micronutrientes, que el frijol es considerado un alimento emergente para subsanar la desnutrición proteico-energética a menor costo, sin colesterol y gluten, con fibra y minerales. También contiene fitoquímicos como posibles agentes terapéuticos con menor toxicidad en comparación a los fármacos habituales. Por lo que, el impacto de su consumo en la dieta deriva más allá de la nutrición en la prevención de desórdenes metabólicos y gastrointestinales; ya que aporta mejores respuestas glicémicas e insulínicas; saciedad disminuyendo el hambre y la obesidad; y la acción bioactiva asociada con la prevención de enfermedades no transmisibles como el cáncer y desórdenes cardiovasculares, entre otros. Asimismo, es importante acentuar que los métodos de procesamiento elementales del frijol para su consumo no afectan más allá su composición y beneficios nutrimentales y fisiológicos.

Agradecimientos

A la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México, por la beca número 149135 otorgada para la realización de la estancia posdoctoral en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), unidad sureste.

Referencias

1. Popkin BM, Adair LS,Ng SW, Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr Rev* 2012;70:3-21.

2. Pries AM, Bassetti E, Badham J, Baker P, Blankenship J, Dunford EK, et al., Ultraprocessing and presence of additives in commercially produced complementary foods in seven Southeast Asian countries: a cross-sectional study. *Am J Clin Nutr* 2024;120:310-319.

3. Monteiro CA, Cannon G, Levy RB, Moubarac J-C, Louzada MLC, Rauber F, et al., Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. *PHN* 2019;22:936-941.

4. Peniche CS,Chávez GP, La Transición Alimentaria en México: causas económicas y

consecuencias para la salud humana y ambiental. *Revibec* 2022;35:20-36.

5. Dai S, Wellens J, Yang N, Li D, Wang J, Wang L, et al., Ultra-processed foods and human health: An umbrella review and updated meta-analyses of observational evidence. *Clin Nutr ESPEN* 2024;43:1386-1394.

6. Valerino-Perea S, Lara-Castor L, Armstrong MEG, Papadaki A, Definition of the Traditional Mexican Diet and Its Role in Health: A Systematic Review. *Nutrients* 2019;11:2803.

7. Moreno-Valdespino CA, Luna-Vital D, Camacho-Ruiz RM, Mojica L, Bioactive proteins and phytochemicals from legumes: Mechanisms of action preventing obesity and type-2 diabetes. *Food Res Int* 2020;130:108905.

8. King J, Leong SY, Alpos M, Johnson C, McLeod S, Peng M, et al., Role of food processing and incorporating legumes in food products to increase protein intake and enhance satiety. *Trends Food Sci Technol* 2024;147:104466.

9. Le DT, Kumar G, Williamson G, Devkota L, Dhital S, (Poly)phenols and dietary fiber in beans: Metabolism and nutritional impact in the gastrointestinal tract. *Food Hydrocoll* 2024;156:110350.

10. Vieira NM, Peghinelli VV, Monte MG, Costa NA, Pereira AG, Seki MM, et al., Beans consumption can contribute to the prevention of cardiovascular disease. *Clin Nutr ESPEN* 2023;54:73-80.

11. Razo-Belmán R, Castañeda-Rodríguez R, Heil M, Ozuna C, Nonanal, a volatile organic compound, improves the techno-functional, nutritional, and nutraceutical properties of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem Adv* 2024;4:100707.

12. Thummajitsakul S, Piyaphan P, Khamthong S, Unkam M, Silprasit K, Comparison of FTIR fingerprint, phenolic content, antioxidant and anti-glucosidase activities among *Phaseolus vulgaris* L., *Arachis hypogaea* L. and *Plukenetia volubilis* L. *Electron J Biotechnol* 2023;61:14-23.

13. Mojica L, Ramos-Lopez AS, Sánchez-Velázquez OA, Gómez-Ojeda A, Luevano-Contreras C, Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates reduce acute postprandial glucose levels in adults with prediabetes and normal glucose tolerance. *J Funct Foods* 2024;112:105927.

14. McClung de Tapia E, Martínez Yrizar D, Ibarra Morales E, Adriano Morán CC, Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la cuenca de México. *An Antropol* 2014;48:97-121.

15. Ayala Garay AVAG, Jorge Alberto, Muro Luis Reyes, El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. 2021, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias: Celaya, Gto., México.

16. Aguayo Rojas J, Rochín-Medina JJ, Mora-Rochín S, Navarro-Cortez RO, Tovar-Jimenez X, Quiñones-Reyes G, et al., Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de variedades de frijol sembradas en el estado de Zacatecas. *Acta Univ* 2022;31:1-13.

17. Ramírez-Ojeda AM, Moreno-Rojas R, Cámara-Martos F, Mineral and trace element content in legumes (lentils, chickpeas and beans): Bioaccessibility and probabilistic assessment of the dietary intake. *J Food Compos Anal* 2018;73:17-28.

18. Srenuja D, Hema V, Anand MT, Mohan RJ, Vidyalakshmi R, Unveiling the germination behavior of kidney beans: Insights into their physicochemical, antinutrients, and functional characteristics in whole and dehulled matrices. *Food Chem Adv* 2023;3:100509.

19. Allen LH, Legumes, in *Encyclopedia of Human Nutrition* (Third Edition), B. Caballero, Editor. 2013, Academic Press: Waltham. p. 74-79.

20. Keskin SO, Ali TM, Ahmed J, Shaikh M, Siddiq M, Uebersax MA, Physico-chemical and functional properties of legume protein, starch, and dietary fiber—A review. *Legum Sci* 2022;4:e117.

21. Liu T, Zhen X, Lei H, Li J, Wang Y, Gou D, et al., Investigating the physicochemical characteristics and importance of insoluble dietary fiber extracted from legumes: An in-depth study on its biological functions. *Food Chem X* 2024;22:101424.

22. Carbas B, Machado N, Oppolzer D, Ferreira L, Queiroz M, Brites C, et al. Nutrients, Antinutrients, Phenolic Composition, and Antioxidant Activity of Common Bean Cultivars and their Potential for Food Applications. *Antioxidants*, 2020. 9, DOI: 10.3390/antiox9020186.

23. Farid MS, Anjum R, Yang Y, Tu M, Zhang T, Pan D, et al., Recent trends in fermented plant-based analogues and products, bioactive peptides, and novel technologies-assisted fermentation. *Trends Food Sci Technol* 2024;149:104529.

24. FAO, Beneficios de las legumbres para la salud 2021, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
25. Goldstein N, Reifen R. The potential of legume-derived proteins in the food industry. *GOST* 2022;5:167-178.
26. Du S-k, Jiang H, Yu X, Jane J-l, Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT - Food Sci Technol* 2014;55:308-313.
27. Gutiérrez-Urbe J, Guajardo-Flores D, Lopez L, Legumes in the Diet. *Encyclopedia of Food and Health* 2016.
28. Choe U, Osorno JM, Ohm J-B, Chen B, Rao J, Modification of physicochemical, functional properties, and digestibility of macronutrients in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours by different thermally treated whole seeds. *Food Chem* 2022;382:132570.
29. Marinangeli CPF, Nosworthy MG, Shoveller A-K, Cereal proteins in the human diet: Reflecting on their contributions to daily protein intake. *J Cereal Sci* 2024;117:103908.
30. Cervantes-Pahm SK, Liu Y, Stein HH, Digestible indispensable amino acid score and digestible amino acids in eight cereal grains. *Br J Nutr* 2014;111:1663-72.
31. Ulloa JA, Rosas, P., Ramírez, J. and Ulloa, B., El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. CONACYT, Mexico. 2011.
32. Ribeiro JVV, Graziani D, Carvalho JHM, Mendonça MM, Naves LM, Oliveira HF, et al., A peptide fraction from hardened common beans (*Phaseolus vulgaris*) induces endothelium-dependent antihypertensive and renal effects in rats. *Curr Res Food Sci* 2023;6:100410.
33. Paula LC, Lemes AC, Valencia-Mejía E, Moreira BR, Oliveira TS, Campos ITN, et al., Effect of extrusion and autoclaving on the biological potential of proteins and naturally-occurring peptides from common beans: Antioxidant and vasorelaxant properties. *Food Chem X* 2022;13:100259.
34. Nor Azmah U, Makeri MU, Bagirei SY, Shehu AB, Compositional characterization of starch, proteins and lipids of long bean, dwarf long bean, mung bean and French bean seed flours. *Measurement: Food* 2023;12:100111.
35. Mohan VR, Tresina PS, Daffodil ED, Antinutritional Factors in Legume Seeds: Characteristics and Determination, in *Encyclopedia of Food and Health*, B. Caballero, P.M. Finglas .F. Toldrá, Editors. 2016, Academic Press: Oxford. p. 211-220.
36. Gong L, Liu F, Liu J, Wang J, Dietary fiber (oligosaccharide and non-starch polysaccharide) in preventing and treating functional gastrointestinal disorders — Challenges and controversies: A review. *Int J Biol Macromol* 2024;258:128835.
37. Luzardo-Ocampo I, Campos-Vega R, Gaytán-Martínez M, Preciado-Ortiz R, Mendoza S, Loarca-Piña G, Bioaccessibility and antioxidant activity of free phenolic compounds and oligosaccharides from corn (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) chips during in vitro gastrointestinal digestion and simulated colonic fermentation. *Food Res Int* 2017;100:304-311.
38. Ashogbon AO, Temitope AE, Olasupo OA, Daniel OA, Folasade AA, and Imanah OE, Developments in the isolation, composition, and physicochemical properties of legume starches. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2021;61:2938-2959.
39. Punia S, Dhull SB, Sandhu KS, Kaur M, Purewal SS, Kidney bean () starch: A review. *Legum Sci* 2020;2:e52.
40. Obadi M, Xu B, A review of the effects of physical processing techniques on the characteristics of legume starches and their application in low-glycemic index foods. *Int J Biol Macromol* 2024;279:135124
41. Nisa MU, Kasankala LM, Khan FA, Al-Asmari F, Rahim MA, Hussain I, et al., Impact of resistant starch: Absorption of dietary minerals, glycemic index and oxidative stress in healthy rats. *Clin Nutr ESPEN* 2024;62:1-9.
42. Bhadkaria A, Srivastava N, Bhagyawant SS, A prospective of underutilized legume moth bean (*Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal): Phytochemical profiling, bioactive compounds and in vitro pharmacological studies. *Food Biosci* 2021;42:101088
43. Bozkır E, Santamarina C, Mariotti M, Saia S, Resistant starch in common beans: Concentration, characteristics, uses and health effects. A systematic map and review of the studies from 1962 to 2023. *Int J Food Sci Technol* 2023;58:4088-4099
44. Han J, Wu J, Liu X, Shi J, Xu J, Physiological effects of resistant starch and its applications in food: a review. *Food Prod Process Nutr* 2023;5:48.

45. Guillon F, Champ MM, Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *Br J Nutr* 2002;88 Suppl 3:S293-306.
46. Satoh H, Urushidani T, Soluble Dietary Fiber Can Protect the Gastrointestinal Mucosa Against Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs in Mice. *Dig Dis Sci* 2016;61:1903-14.
47. Munekata PES, Pérez-Álvarez JÁ, Pateiro M, Viuda-Matos M, Fernández-López J, Lorenzo JM, Satiety from healthier and functional foods. *Trends Food Sci Technol* 2021;113:397-410.
48. Reverri EJ, Randolph JM, Kappagoda CT, Park E, Edirisinghe I, Burton-Freeman BM, Assessing beans as a source of intrinsic fiber on satiety in men and women with metabolic syndrome. *Appetite* 2017;118:75-81.
49. Niu L, Guo Q, Xiao J, Li Y, Deng X, Sun T, et al., The effect of ball milling on the structure, physicochemical and functional properties of insoluble dietary fiber from three grain bran. *Food Res Int* 2023;163:112263.
50. Kapoor B, Kapoor D, Gautam S, Singh R, Bhardwaj S, Dietary Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs): Uses and Potential Health Benefits. *Curr Nutr Rep* 2021;10:232-242.
51. Pereira AM, Bonemann DH, Scherdien SH, Ávila BP, Antunes IF, Ribeiro AS, et al., Evaluation of total and bioaccessible concentration of minerals in creole beans. *J Food Compos Anal* 2020;94:103622.
52. Faria MA, Araújo A, Pinto E, Oliveira C, Oliva-Teles MT, Almeida A, et al., Bioaccessibility and intestinal uptake of minerals from different types of home-cooked and ready-to-eat beans. *J Funct Foods* 2018;50:201-209.
53. Koolman J, Röhm K-H, Wirth Jr, Bioquímica humana : texto y atlas / Jan Koolman, Klaus-Heinrich Röhm ; 220 figuras en color de Jürgen Wirth. 4ªed. totalmente rev. y amp. ed. 2012, Buenos Aires [etc.]: Panamericana.
54. Dimopoulou M, Varelzis P, Gortzi O, A Systematic Review of the Twelve Most Popular Bean Varieties, Highlighting Their Potential as Functional Foods Based on the Health Benefits Derived from Their Nutritional Profiles, Focused on Non-Communicable Diseases. *Appl Sci* 2024;14:10215.
55. Mullins AP, Arjmandi BH, Health Benefits of Plant-Based Nutrition: Focus on Beans in Cardiometabolic Diseases. *Nutrients* 2021;13.
56. Bento JAC, Ribeiro PRV, Alexandre e Silva LM, Alves Filho EG, Bassinello PZ, de Brito ES, et al., Chemical profile of colorful bean (*Phaseolus vulgaris* L) flours: Changes influenced by the cooking method. *Food Chem* 2021;356:129718.
57. Giusti F, Capuano E, Sagratini G, Pellegrini N, A comprehensive investigation of the behaviour of phenolic compounds in legumes during domestic cooking and in vitro digestion. *Food Chem* 2019;285:458-467.
58. Chen D, Hu K, Zhu L, Hendrickx M, Kyomugasho C, Cell wall polysaccharide changes and involvement of phenolic compounds in ageing of Red haricot beans (*Phaseolus vulgaris*) during postharvest storage. *Food Res Int* 2022;162:112021.
59. Luo B, Wen Y, Ye F, Wu Y, Li N, Farid MS, et al., Bioactive phytochemicals and their potential roles in modulating gut microbiota. *J Agric Food Res* 2023;12:100583.
60. Pawase PA, Goswami C, Shams R, Pandey VK, Tripathi A, Rustagi S, et al., A conceptual review on classification, extraction, bioactive potential and role of phytochemicals in human health. *Future Foods* 2024;9:100313.
61. Singh P, Pandey VK, Sultan Z, Singh R, Dar AH, Classification, benefits, and applications of various anti-nutritional factors present in edible crops. *J Agric Food Res* 2023;14:100902.
62. Tomas-Barberan FA, Selma MV, Espín JC, Polyphenols' Gut Microbiota Metabolites: Bioactives or Biomarkers? *J Agric Food Chem* 2018;66:3593-3594.
63. Mali PS, Kumar P, Optimization of microwave assisted extraction of bioactive compounds from black bean waste and evaluation of its antioxidant and antidiabetic potential in vitro. *Food Chem Adv* 2023;3:100543.
64. Shang R, Wu H, Guo R, Liu Q, Pan L, Li J, et al., The Diversity of Four Anti-nutritional Factors in Common Bean. *Hortic Plant J* 2016;2:97-104.
65. Das G, Sharma A, Sarkar PK, Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. *Appl Food Res* 2022;2:100112.
66. Afzal MU, Pervaiz M, Ejaz A, Bajwa E, Naz S, Saeed Z, et al., A comprehensive study of the sources, extraction methods and structures of the Saponin compounds for its antidiabetic activity. *Biocatal Agric Biotechnol* 2023;54:102913.

67. Madsen CK, Brinch-Pedersen H, The Antinutritional Components of Grains, in Encyclopedia of Food Grains (Second Edition), C. Wrigley, et al., Editors. 2016, Academic Press: Oxford. p. 283-289.
68. Rousseau S, Pallares A, Vancoillie F, Hendrickx M, Grauwet T, Pectin and phytic acid reduce mineral bioaccessibility in cooked common bean cotyledons regardless of cell wall integrity. *Food Res Int* 2020;137:109685.
69. Quynh HD, Karen GL, Ronald BP, Inositol phosphates: health implications, methods of analysis, and occurrence in plant foods. *J Food Bioact* 2018;1.
70. Bhagyawant SS, Bhadkaria A, Gupta N, Srivastava N, Impact of phytic acid on nutrient bioaccessibility and antioxidant properties of chickpea genotypes. *J Food Biochem* 2018;42:e12678.
71. Lal DK, Kumar B, Raghav SS, Bhargava S, Singhal M, Sethiya NK, Lectin: A carbohydrate binding glycoprotein and its potential in wound healing. *Bioact Carbohydr Diet Fibre* 2023;30:100379.
72. Gupta N, Gautam AK, Bhagyawant SS, Biochemical characterisation of lectin from wild chickpea (*Cicer reticulatum* L.) with potential inhibitory action against human cancer cells. *J Food Biochem* 2019;43:e12712.
73. Wang P, Leng X, Duan J, Zhu Y, Wang J, Yan Z, et al., Functional Component Isolated from *Phaseolus vulgaris* Lectin Exerts In Vitro and In Vivo Anti-Tumor Activity through Potentiation of Apoptosis and Immunomodulation. *Molecules* 2021;26:498.
74. Tucker LA, Legume Intake, Body Weight, and Abdominal Adiposity: 10-Year Weight Change and Cross-Sectional Results in 15,185 U.S. Adults. *Nutrients* 2023;15:460.
75. Doma KM, Dolinar KF, Dan Ramdath D, Wolever TMS, Duncan AM, Canned Beans Decrease Serum Total and LDL Cholesterol in Adults with Elevated LDL Cholesterol in a 4-wk Multicenter, Randomized, Crossover Study. *J Nutr* 2021;151:3701-3709.
76. Sheflin AM, Borresen EC, Kirkwood JS, Boot CM, Whitney AK, Lu S, et al., Dietary supplementation with rice bran or navy bean alters gut bacterial metabolism in colorectal cancer survivors. *Mol Nutr Food Res* 2017;61.
77. Baxter BA, Oppel RC, Ryan EP, Navy Beans Impact the Stool Metabolome and Metabolic Pathways for Colon Health in Cancer Survivors. *Nutrients* 2018;11.
78. Augustin J, Beck CB, Kalbfleish G, Kagel LC, Matthews RH, Variation in the Vitamin and Mineral Content of Raw and Cooked Commercial *Phaseolus Vulgaris* Classes. *J Food Sci* 1981;46:1701-1706.

