



Artículo Especial

Componentes bioactivos del grano integral y su efecto en la salud

Bioactive components of whole grain and their effect on health

Luis Valladares, Fernando Vio

Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA). Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile

Resumen

Las enfermedades no transmisibles representan una carga sanitaria mundial con una prevalencia cada vez mayor. Para prevenir o mejorar este tipo de enfermedades se han sugerido estrategias dietéticas basadas en alimentos saludables. Los cereales son los alimentos más consumidos en todo el mundo y se han descrito efectos preventivos de los cereales integrales sobre la salud. El germen y el salvado de los cereales son abundantes en compuestos bioactivos, incluidos fitoquímicos, vitaminas, minerales y fibras, y estos compuestos son eficaces para prevenir y mejorar las enfermedades no transmisibles. En esta revisión se analiza el contenido y distribución de los componentes primarios de los cereales integrales (trigo, cebada, avena, arroz y trigo negro) y sus fracciones, centrándose en los mecanismos por los que los ácidos fenólicos y la fibra dietética contribuyen a disminuir el riesgo de padecer enfermedades metabólicas, cardiovasculares y cáncer. Existen pruebas claras de los amplios efectos celulares y fisiológicos de los compuestos bioactivos de los granos enteros, que respaldan el valor saludable de una dieta rica en cereales integrales.

Palabras clave:

Grano integral. Fibra dietética. Ácidos fenólicos. Dieta saludable. Enfermedades crónicas no transmisibles.

Abstract

Non-communicable diseases represent a global health burden with increasing prevalence. To prevent or improve this type of diseases, dietary strategies based on healthy foods have been suggested. Cereals are the most consumed foods in the world and preventive effects of whole grains on health have been described. The germ and bran of cereals are abundant in bioactive compounds, including phytochemicals, vitamins, minerals and fibers, and these compounds are effective in preventing and improving non-communicable diseases. This review analyzes the content and distribution of the primary components of whole grains (wheat, barley, oats, rice and black wheat) and their fractions, focusing on the mechanisms by which phenolic acids and dietary fiber contribute to reducing the risk of metabolic and cardiovascular diseases and cancer. There is clear evidence of the broad cellular and physiological effects of bioactive compounds in whole grains, supporting the health value of a diet rich in whole grains.

Keywords:

Whole grain. Dietary fiber. Phenolic acids. Healthy diet. Chronic non-communicable diseases.

Recibido: 06/10/2023 • Aceptado: 29/12/2023

Conflicto de interés: los autores no declaran conflicto de interés.

Inteligencia artificial: los autores declaran no haber empleado inteligencia artificial (IA) ni ninguna herramienta que use IA para la redacción del artículo.

Valladares L, Vio F. Componentes bioactivos del grano integral y su efecto en la salud. *Nutr Hosp* 2024;41(3):706-711

DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.04986>

Correspondencia:

Fernando Vio. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA). Universidad de Chile. El Líbano, 5524. Macul. Santiago de Chile, Chile
e-mails: fvio@inta.uchile.cl

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) son reconocidas como un problema mundial de la salud y constituyen las principales causas de muerte y discapacidad en todo el mundo. Según informes de la OMS, en la actualidad las ECNT representan cerca del 74 % de las defunciones anuales, donde el grupo de las enfermedades cardiovasculares (ECV), cáncer y diabetes representan más del 95 % de todas las muertes por ENT (1). Por otro lado, la aparición de COVID-19 afectó a las ECNT de diversas maneras. En un reciente estudio (2), se señala que los mecanismos del impacto de COVID-19 sobre las ECNT pueden ser tanto directos como indirectos. Los mecanismos directos incluyen lesiones vasculares y miocárdicas, así como también daños en el páncreas que incidirán en el aumento de los casos de diabetes. Los efectos indirectos de la pandemia en las ECNT incluyen el retraso en la presentación de enfermedades agudas, incluido el riesgo de enfermedades cardiovasculares ateroscleróticas y el impacto del distanciamiento social y las políticas de cuarentena en la socialización, la salud mental, la actividad física y las repercusiones sanitarias derivadas de la inactividad y falta de acondicionamiento físico (2,3).

Dadas las evidencias científicas contrastables, la dieta contribuye de manera relevante a la salud humana. El sistema alimentario mundial, sin embargo, debe estar inserto en un desarrollo sostenible "que garantice la salud alimentaria y la nutrición para todos, de manera que no involucren las bases económicas, sociales y ambientales para las futuras generaciones" (4). Por lo general, una dieta saludable incluye cereales integrales, frutas, hortalizas, pescado, mariscos, frutos secos y productos lácteos bajos en grasa (5). Por el contrario, un patrón alimentario poco saludable se caracteriza por el consumo de carnes rojas y procesadas, alimentos y bebidas azucarados, patatas fritas y productos lácteos ricos en grasa, que presentan un riesgo importante de ECNT (6).

Un bajo consumo de granos integrales se ha identificado como el principal factor de riesgo de ECNT en la mayoría de las regiones de la OMS (1). Los estudios epidemiológicos sugieren que la ingesta de cereales integrales se asocia a la reducción del riesgo de obesidad (7), enfermedades cardiovasculares (ECV) (8), diabetes de tipo 2 (9), cáncer (10) y otras enfermedades crónicas (11). Los granos han tenido un gran impacto en la historia de la nutrición del ser humano, donde su almacenamiento y consumo comenzó regularmente hasta hace unos 20.000 años. El grano integral, sin embargo, como parte de la dieta humana se inició hace 11.000 años con el advenimiento de la agricultura (12). El propósito de esta revisión ha sido examinar la investigación de los componentes químicos y fitoquímicos de los cereales integrales y granos refinados, centrados en los ácidos fenólicos y la fibra, que permiten sustentar la hipótesis de que una dieta rica en granos enteros constituye una dieta saludable con menor riesgo de enfermedades metabólicas (obesidad, diabetes de tipo 2) - cáncer y ECV.

ESTRUCTURA DEL GRANO ENTERO

Los granos de cereales de mayor cultivo mundial son maíz, trigo, arroz, cebada, sorgo y avena (13). Todo grano está formado por tres fracciones: salvado, germen y endospermo. El salvado corresponde a la capa externa y contiene proteínas, fibras, vitaminas del grupo B, minerales, antioxidantes y fitoquímicos, especialmente ácidos fenólicos. El germen incluye al embrión de la planta, tiene lípidos, vitamina E, vitaminas del grupo B, fitoquímicos y antioxidantes. El endospermo, que corresponde a la fracción interior, abarca hidratos de carbono del tipo almidón, proteínas y una menor cantidad de vitaminas del grupo B y minerales (14).

¿Qué se entiende exactamente por grano integral? Diversas instituciones en los países tienen criterios diferentes sobre los granos que pueden considerarse integrales. Sin embargo, dados los objetivos de esta revisión, solo nos referiremos a la definición de grano integral como ingrediente alimenticio según la Asociación Americana de Granos y Cereales de EE. UU. (15), que dice: "Los granos integrales consistirán en el grano intacto, molido, agrietado, desmenuzado o procesado de otro modo, tras la eliminación de las partes no comestibles, como la cáscara y la cascarilla. Todos los componentes anatómicos, incluidos el endospermo, el germen y el salvado, deben estar presentes en las mismas proporciones relativas que en el grano intacto". Sin embargo, la mayoría de los cereales que se comercializan actualmente son refinados y, por lo tanto, carecen de una o varias partes del grano integral (16). Así, en los procedimientos tradicionales de trigo refinado, el salvado y el germen se separan del endospermo amiláceo, generando finalmente una harina blanca y fina. Aunque este procedimiento ha generado un producto de mejor presentación, desde el punto de vista nutricional, como veremos más adelante, el endospermo amiláceo no es un producto de buena calidad nutricional.

Los compuestos químicos de mayor relevancia biológica de los cereales integrales son los ácidos fenólicos y las fibras dietéticas, como los β -glucanos, que incluyen lignanos, ácido fítico, inositoles y betaína (17).

COMPUESTOS FENÓLICOS

Los ácidos fenólicos pueden derivarse del ácido benzoico o del ácido cinámico (18). Estos compuestos están presentes en diversos vegetales de consumo, pero son especialmente abundantes en las fracciones del salvado y germinal de los cereales. Los ácidos fenólicos pueden estar en los granos en forma libre, conjugada-soluble o unida-insoluble, donde la forma unida puede llegar a representar casi el 95 % del total de los ácidos fenólicos (19).

Los ácidos fenólicos se clasifican como ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos (20). En los granos, los ácidos más relevantes son el gálico, vanílico, siringico y protocatechuico, derivados del ácido hidroxibenzoico, mientras que los ácidos ferúlico, p-cumárico, cafeico y sinápico provienen del ácido hi-

droxicinámico (21). Todos los ácidos fenólicos mencionados previamente se han analizado en granos integrales de trigo, arroz, maíz, avena, cebada y trigo negro, pero con una gran variabilidad en su contenido. En los ácidos hidroxicinámicos, el ácido ferúlico tiene la más alta prevalencia en todos los granos, con excepción del trigo negro (22). El contenido promedio de ácido ferúlico en estos granos fluctúa entre 38,9 (4,4-122,8) $\mu\text{g/g}$ de peso seco y 869,2 (265,5-1387,0) $\mu\text{g/g}$ de peso seco, siendo el más alto el del maíz y el más bajo el del trigo negro. De los ácidos hidroxibenzoicos, el de mayor presencia fue el ácido gálico, que igualmente presenta una gran variabilidad de contenido (23). La concentración promedio de ácido gálico fluctúa entre 38,8 (26,0-71,2) $\mu\text{g/g}$ de peso seco y 121,5 (1,7-241,2) $\mu\text{g/g}$ de peso seco, donde el valor más bajo fue el del trigo negro y el más alto el de la avena.

Es relevante señalar que la avena, el maíz, el trigo, el arroz y el trigo negro están en orden descendente si se considera la suma de la concentración de los ocho ácidos fenólicos reseñados.

ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS ÁCIDOS FENÓLICOS

La biodisponibilidad de los ácidos fenólicos de los granos integrales es fundamental para comprender las actividades biológicas de estos compuestos, ya que las formas unidas representan aproximadamente el 95 % del contenido total de ácidos fenólicos (23). Los ácidos fenólicos de los cereales integrales pueden presentar diversas actividades biológicas actuando como antioxidantes, anticancerígenos, antiinflamatorios y antimutagénicos (24).

La propiedad más estudiada de los compuestos fenólicos de los granos integrales es su actividad antioxidante. Estos compuestos pueden actuar como antioxidantes directos. Sin embargo, también presentan actividad antioxidante indirecta al inducir enzimas protectoras endógenas y ejercer efectos regulatorios positivos en las vías de señalización (25). Los ácidos fenólicos actúan como antioxidantes debido a la reactividad de la fracción fenólica. Aunque se conocen varios mecanismos para la actividad antioxidante, se estima que la forma principal es la eliminación de radicales mediante la donación de átomos de hidrógeno (26). Los sustituyentes en el anillo aromático de los ácidos fenólicos afectan a la estabilidad de la estructura y, en consecuencia, se modifica la capacidad de eliminación de radicales. Por lo tanto, es diferente la actividad antioxidante de los ácidos fenólicos libres, esterificados y glicosilados (27).

FIBRAS ALIMENTARIAS

Las fibras alimentarias se definen como "hidratos de carbono, con un grado de polimerización igual o superior a 3, que se encuentran de forma natural en alimentos de origen vegetal y que no son digeridos ni absorbidos por el intestino delgado" (28). La fibra dietética, según su solubilidad en agua, se puede

clasificar en fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) (29). Las FDI incluyen la celulosa, la hemicelulosa insoluble en agua y la lignina, y están presentes principalmente en los cereales, frutas y verduras como componentes estructurales de la pared celular (30). Las FDS incluyen diversos polisacáridos y oligosacáridos no celulósicos, como son las pectinas, los β -glucanos y las gomas hidrosolubles (31). La cantidad y la composición de la fibra dietética pueden diferir dependiendo de la fuente de origen.

TRIGO

El contenido de fibra dietética total (FDT), tanto de la FDI como de la FDS en el trigo fluctúa entre el 9 y el 20 % (en peso seco) (32). Las paredes celulares del endospermo amiláceo del trigo están formadas por dos tipos principales de componentes de fibra dietética, arabinoxilanos (AX) y β -glucanos. En los granos de trigo, los β -glucanos representan aproximadamente el 20 % y el AX el 70 % del contenido total de fibra alimentaria (33).

AVENA Y CEBADA

Como se ha señalado anteriormente, la avena y la cebada son excelentes fuentes de FDI y FDS, así como de otros compuestos bioactivos. La fracción FDI se encuentra mayoritariamente en el salvado del cereal, mientras que las fracciones FDS, mayoritariamente el β -glucano, se encuentran en las paredes celulares del endospermo. En cambio, la fracción de fibra dietética insoluble —celulosa, AX y lignina— se encuentran principalmente en el salvado del cereal (34). Considerando una base de materia seca, el contenido de FDT de la cebada varía del 10 al 28 % (35) y en la avena fluctúa entre el 10 y el 38 % (36). Los granos de avena y cebada se caracterizan por tener como polisacáridos primarios β -glucanos y, en concentraciones significativamente menores, AX. Es importante señalar que, en la cebada, los β -glucanos están distribuidos uniformemente en el endospermo pero, en la avena, los β -glucanos están concentrados en las capas externas del endospermo (37). El grano integral de la cebada posee la misma cantidad de β -glucanos que la avena. Por otro lado, las variedades de cebada con bajo contenido de amilosa pueden proporcionar hasta 4 veces más β -glucano que la avena (38).

CENTENO

El contenido de fibra dietética del centeno, de entre el 14 y el 21 %, es superior al del trigo (39). El AX, la celulosa, el fructano y el β -glucano son los tipos de fibra alimentaria dominantes en el centeno, siendo el AX el principal componente de la fibra alimentaria presente en las paredes celulares del endospermo (40). Aunque tanto el centeno como el trigo contienen AX, el contenido y la solubilidad del AX del centeno es mayor en comparación con el AX que se encuentra en el trigo (41). El nivel de fibra dietética

presente en el centeno varía en función de su localización dentro del grano. El endospermo interno contiene menos fibra dietética (12 %), mientras que el endospermo externo y la fracción de salvado contienen alrededor de un 22 % y 38 % de fibra dietética, respectivamente (42). Los niveles más altos de fibra dietética que se encuentran en las capas externas del grano de centeno son otro ejemplo de la importancia de consumir cereales integrales.

ARROZ

El nivel de FDT del arroz varía entre el 2,7 y el 9,9 %. Esta amplia gama de niveles de fibra alimentaria se debe en parte a las diferencias entre las variedades de arroz (43). El arroz integral tiene un mayor contenido de fibra dietética que el observado en el arroz blanco, en el cual las capas externas del grano se han eliminado en el proceso de refinamiento. En el grano de arroz, las fibras dietéticas, al igual que en los otros cereales, se distribuyen principalmente en la cáscara y el salvado. La fracción FDI del arroz está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa, mientras que la FDS está formada por arabinosilanos y β -glucanos (44). El contenido de FDT en el grano de arroz negro es del 7 al 11,9 %, inferior a la fibra dietética del grano integral de trigo, cebada y avena. En el trigo negro, aproximadamente el 70 % de la fibra es insoluble en agua. Por otro lado, la pectina, el arabinolactano y el xiloglucano son las fibras solubles en agua comunes en el grano de arroz negro (45).

Resumiendo, la avena contiene los niveles más altos de fibra dietética, del 10 al 38 %, mientras que el arroz contiene el nivel más bajo (2 a 5 %) de fibra alimentaria entre los cereales. En los otros granos integrales, los rangos de valores son muy variables y el orden decreciente de cantidad de fibra dietética es: avena, cebada, centeno, trigo, maíz, trigo negro y arroz.

ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LAS FIBRAS ALIMENTARIAS

Aunque la solubilidad de las fibras de los granos en sí misma es una característica esencial de las respuestas fisiológicas que genera, la fermentación y la viscosidad pueden desempeñar un papel más pronunciado en los beneficios de los granos integrales para la salud humana (46). La fibra dietética hidrosoluble, que incluye pectina, mucílagos, gomas, fructano, β -glucano y algunos almidones resistentes, se fermenta en el colon, lo que afecta a la absorción de nutrientes en el intestino delgado. Por el contrario, la fibra dietética insoluble, que incluye principalmente lignina, celulosa y hemicelulosa, contribuye a un vaciado gástrico rápido y solo puede fermentarse de forma limitada en el colon, lo que favorece la regularidad digestiva (47).

Como el organismo humano es incapaz de absorber y metabolizar la fibra dietética soluble, no provoca un aumento pronunciado de glucosa en sangre, como pueden hacerlo otros carbohidratos (48). La fibra dietética soluble al interactuar con

el agua forma un gel. Como resultado de esta solución viscosa, se retardan el paso de los alimentos por el tracto digestivo y la absorción de glucosa. La absorción gradual de la glucosa ingerida puede regular en mejor forma la secreción de insulina y el metabolismo de la glucosa, prevenir la hipoglicemia postprandial tardía, adecuar las fluctuaciones de glucosa circulante y aumentar la sensibilidad tisular a la insulina (49). Las velocidades de vaciado gástrico y la absorción intestinal de la glucosa desempeñan un papel decisivo en la magnitud de la hiperglicemia postprandial y la hiperinsulinemia (50). La gradualidad de la glucosa que llega al intestino delgado y la absorción lenta de la glucosa ingerida repercuten en una mejor regulación de la insulina circulante y del metabolismo de la glucosa, lo que conduce a una mayor sensibilidad a la insulina por los tejidos periféricos (51). De igual manera, se estima que la fibra dietética de grano integral reduce el índice glicémico de los productos que contienen hidratos de carbono (52). También se ha demostrado que reduce el colesterol (53) y la presión arterial (54), importantes factores de riesgo de las enfermedades cardiovasculares (Tabla I).

En los últimos años, diversos estudios señalan que otros mecanismos relacionados con la fibra dietaria pueden estar asociados al impacto del consumo de granos integrales en la salud humana (55). Uno de los mecanismos propuestos es la fermentación de las fibras por la microbiota colónica (56). La fibra alimentaria nutre a la microbiota colónica, que es muy activa metabólicamente. Cuando reciben suficiente fibra, la microbiota cataliza la fermentación sacarolítica y produce, entre diversos compuestos bioactivos, ácidos grasos de cadena corta como acetato, propionato y butirato (57). Estos metabolitos favorecen la fisiología de las mucosas y reducen la inflamación, y desempeñan un papel en la modulación del metabolismo de glucosa y lípidos (58). El butirato es la principal fuente de energía de los colonocitos, las células epiteliales del colon (59). El butirato también es inmunomodulador y antiinflamatorio. Estimula la activación de las células T regulatorias (Treg) y ejerce una regulación epigenética de la respuesta (60,61). Además, el butirato desempeña un papel importante en la defensa de la mucosa al estimular la producción de moco y la formación de uniones estrechas en las células del epitelio (62). En conjunto, estas acciones estimuladas por la producción de butirato son anticancerígenas.

Esta revisión narrativa se ha centrado principalmente en las pruebas científicas que demuestran la acción de los principales fitoquímicos de los granos integrales y que dan sustento a la hipótesis de que la ingesta regular de cereales enteros puede impactar positivamente en la salud humana.

CONCLUSIÓN

Los estudios epidemiológicos sugieren que la ingesta de granos integrales se asocia a un menor riesgo de ECNT. Además de su contenido en diversos nutrientes, los granos de los cereales integrales son también abundantes en otros compuestos, incluidos los ácidos fenólicos y las fibras, que se han relacionado con la reducción del riesgo de obesidad, ECV, diabetes de tipo 2 y cáncer.

Tabla I. Posibles mecanismos para explicar el efecto de la ingesta de granos enteros en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles

Enfermedad	Mediador	Mecanismo	Referencia
Obesidad	Fibra total	Tiempo de vaciado gástrico	47
	β -glucano	Absorción de nutrientes	49
DT2	Fibra total	Mejor cinética de glucosa	50
	Fibra total	Secreción de insulina	52
	β -glucano	Menor resistencia periférica a insulina	51
CV	β -glucano	Presión arterial	54
	β -glucano	Colesterol: total, LDL	53
	Ácidos fenólicos	Antioxidante	25
Cáncer CR	Fibra total	Microbiota de colon	56
	Fibra total	Producción de butirato	57
	Ácidos fenólicos	Antioxidante	25

DT2: diabetes de tipo 2; CV: cardiovascular; Cáncer CR: cáncer colorrectal.

La mayoría de los componentes asociados a la salud se concentran en el salvado y el germen, que se eliminan durante el proceso de refinado del grano.

Las evidencias de la bioactividad de los compuestos de los granos son concluyentes por la alta potencialidad antioxidante de los ácidos fenólicos y, por un lado, la capacidad de la fibra soluble para aumentar la viscosidad del contenido intestinal y, por otro, la interrelación que se establece entre la fibra dietaria y la microbiótica del colon.

En general, aunque la bioactividad de los fitoquímicos y de la fibra dietaria de los granos integrales está clara, en el futuro será crucial comprender los mecanismos biológicos subyacentes que rigen sus actividades en la protección frente a las ECNT.

BIBLIOGRAFÍA

- World Health Organization. Non-communicable diseases WHO [Acceso 1 septiembre 2023]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Gordon Patti K, Kohli P. COVID's Impact on Non-communicable Diseases: What We Do Not Know May Hurt Us. *Curr Cardiol Rep* 2022;24:829-37. DOI: 10.1007/s11886-022-01704-6
- Xie Y, XuE, Bowe B. Long-term cardiovascular outcomes of COVID-19. *Nat Med* 2022;28:583-90. DOI: 10.1038/s41591-022-01689
- Fanzo J, Rudie C, Sigman I, Grinspoon S, Benton TG, Brown ME, et al. Sustainable food systems and nutrition in the 21st century: a report from the 22nd annual Harvard Nutrition Obesity Symposium. *Am J Clin Nutr* 2022;115:18-33. DOI: 10.1093/ajcn/nqab315
- World Health Organization. WHO. Healthy diet [Acceso 1 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
- Cena H, Calder PC. Defining a Healthy Diet: Evidence for The Role of Contemporary Dietary Patterns in Health and Disease. *Nutrients* 2020;12:334. DOI: 10.3390/nu12020334
- Kissock K, Warensjö Lemming E, Axelsson C, Neale E, Beck E. Defining whole-grain foods – does it change estimations of intakes and associations with CVD risk factors: An Australian and Swedish perspective. *British Journal of Nutrition* 2021;126:1725-36. DOI: 10.1017/S0007114521000453
- Hu Y, Willett WC, Manson JAE. Intake of whole grain foods and risk of coronary heart disease in US men and women. *BMC Med* 2022;20:192. DOI: 10.1186/s12916-022-02396
- Ghanbari-Gohari F, Mousavi SM, Esmailzadeh A. Consumption of whole grains and risk of type 2 diabetes: A comprehensive systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Food Sci Nutr* 2022;10:1950-60. DOI: 10.1002/fsn3.2811
- Gaesser GA. Whole Grains, Refined Grains, and Cancer Risk: A Systematic Review of Meta-Analyses of Observational Studies. *Nutrients* 2020;12:3756. DOI: 10.3390/nu12123756
- Dorosti M, Jafary Heidarloo A, Bakhshimoghaddam F, Alizadeh M. Whole-grain consumption and its effects on hepatic steatosis and liver enzymes in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a randomised controlled clinical trial. *Br J Nutr* 2020;123:328-36. DOI: 10.1017/S0007114519002769
- Slavin J. Whole grains and human health. *Nutr Res Rev* 2004;17:99-110. DOI: 10.1079/NRR200374
- Poutanen KS, Karlund AO, Gomez-Gallego CD, Johansson DO, Scheers NM, Marklinder IM, et al. Grains – a major source of sustainable protein for health. *Nutr Rev* 2022;80:1648-63. DOI: 10.1093/nutrit/nuab084
- Prasad NVP, Joye IJ. Dietary Fibre from Whole Grains and Their Benefits on Metabolic Health. *Nutrients* 2020;12:3045. DOI: 10.3390/nu12103045
- van der Kamp JW, Jones JM, Miller KB, Ross AB, Seal CJ, Tan B, et al. Consensus, Global Definitions of Whole Grain as a Food Ingredient and of Whole-Grain Foods Presented on Behalf of the Whole Grain Initiative. *Nutrients* 2022;14:138. DOI: 10.3390/nu14010138
- He M, van Dam RM, Rimm E, Hu FB, Qi L. Whole-grain, cereal fiber, bran, and germ intake and the risks of all-cause and cardiovascular disease-specific mortality among women with type 2 diabetes mellitus. *Circulation* 2010;121:2162-8. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.907360
- Kim K, Tsao R, Yang R, Cui S. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chem* 2005;95:466-73. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.01.032
- Adom KK, Liu RH. Antioxidant activity of grains. *J Agric Food Chem* 2002;50:6182-87. DOI: 10.1021/jf0205099
- El-Seedi HR, El-Said AMA, Khalifa SAM, Göransson U, Bohlin L, Borg-Karlson AK, et al. Biosynthesis, natural sources, dietary intake, pharmacokinetic properties, and biological activities of hydroxycinnamic acids. *J Agric Food Chem* 2012;60:10877-95. DOI: 10.1021/jf301807g

20. Zhao Z, Moghadasian MH. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: a review. *Food Chem* 2008;109:691-702. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.02.039
21. Ragaei S, Seetharaman K, Abdel-Aal ESM. The impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2014;54:837-49. DOI: 10.1080/10408398.2011.610906
22. Khan J, Khan MZ, Ma Y, Meng Y, Mushtaq A, Shen Q, et al. Overview of the Composition of Whole Grains' Phenolic Acids and Dietary Fibre and Their Effect on Chronic Non-Communicable Diseases. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:3042. DOI: 10.3390/ijerph19053042
23. Călinoiu LF, Vodnar DC. Whole Grains and Phenolic Acids: A Review on Bioactivity, Functionality, Health Benefits and Bioavailability. *Nutrients* 2018;10:1615. DOI: 10.3390/nu10111615
24. Sies H, Jones DP. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2020;21:363-83. DOI: 10.1038/s41580-020-0230-3
25. Zeb A. Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *J Food Biochem* 2020;44:e13394. DOI: 10.1111/jfbc.13394
26. Wang R, Li M, Brennan MA, Dhital S, Kulasiri D, Brennan CS, Guo B. Complexation of starch and phenolic compounds during food processing and impacts on the release of phenolic compounds. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2023;22:3185-211. DOI: 10.1111/1541-4337.13180
27. Health Canada. List of Dietary Fibres Reviewed and Accepted by Health Canada's Food Directorate—Canada.ca [Acceso 12 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/food-nutrition/list-reviewed-accepted-dietary-fibres.html>
28. Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. Dietary fibre in foods: A review. *J. Food Sci Technol* 2012;49:255-66. DOI: 10.1007/s13197-011-0365-5
29. Li YO, Komarek AR. Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. *Food Qual Saf* 2017;1:47-59. DOI: 10.1093/fqsafe/fyx007
30. Dai FJ, Chau CF. Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *J Food Drug Anal* 2017;25:37-42. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.09.006
31. Gartaula G, Dhital S, Netzel G, Flanagan BM, Yakubov GE, Beahan CT, et al. Quantitative structural organisation model for wheat endosperm cell walls: Cellulose as an important constituent. *Carbohydr Polym* 2018;196:199-208. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.05.041
32. Prasadi NPV, Joye IJ. Dietary Fibre from Whole Grains and Their Benefits on Metabolic Health. *Nutrients* 2020;10:3045. DOI: 10.3390/nu12103045
33. Andersson AAM, Lampi AM, Nyström L, Piironen V, Li L, Ward JL, et al. Phytochemical and dietary fiber components in barley varieties in the HEALTH-GRAIN diversity screen. *J Agric Food Chem* 2008;56:9767-76. DOI: 10.1021/jf802037f
34. Messia MC, Candigliota T, De Arcangelis E, Marconi E. Arabinoxylans and β -glucans assessment in cereals. *Ital J Food Sci* 2017;29:112-22. DOI: 10.14674/1120-1770/ijfs.v573
35. Sterna V, Zute S, Jansone I, Kantane I. Chemical composition of covered and naked spring barley varieties and their potential for food production. *Polish J Food Nutr Sci* 2017;67:151-8. DOI: 10.1515/pjfn-2016-0019
36. Vasanthan T, Temelli F. Grain fractionation technologies for cereal beta-glucan concentration. *Food Res Int* 2008;41:876-81. DOI: 10.1016/j.foodres.2008.07.022
37. Newman CW, Newman RK, Fastnaught CE. Barley. En: *Whole Grains and Their Bioactives: Composition and Health*; Johnson, J., Wallace, T., Eds.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA; 2019. pp. 135-67.
38. Vitaglione P, Napolitano A, Fogliano V. Cereal dietary fibre: A natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends Food Sci Technol* 2008;19:451-63. DOI: 10.1016/j.tifs.2008.02.005
39. Andersson R, Fransson G, Tietjen M, Åman P. Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread. *J Agric Food Chem* 2009;57:2004-8. DOI: 10.1021/jf801280f
40. Ciudad-Mulero M, Fernández-Ruiz V, Matalana-González MC, Morales P. Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. *Adv Food Nutr Res* 2019;90:83-134. DOI: 10.1016/bs.afnr.2019.02.002
41. Rakha A, Åman P, Andersson R. Characterisation of dietary fibre components in rye products. *Food Chem* 2010;119:859-67. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.09.090
42. Prasad VSS, Hymavathi A, Babu VR, Longvah T. Nutritional composition in relation to glycemic potential of popular Indian rice varieties. *Food Chem* 2018;238:29-34. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.03.138
43. Fernando B. Rice as a source of fibre. *J Rice Res* 2013;1:1-4. DOI: 10.4172/jrr.1000e101
44. Lzydorzczuk MS, McMillan T, Bazin S, Kletke J, Dushnicky L, Dexter J. Canadian buckwheat. A unique, useful and under-utilized crop. *Can J Plant Sci* 2013;94:509-24. DOI: 10.4141/cjps2013-075
45. Williams BA, Mikkelsen D, Flanagan BM, Gidley MJ. "Dietary fibre": Moving beyond the "soluble/insoluble" classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs. *J Anim Sci Biotechnol* 2019;10:45. DOI: 10.1186/s40104-019-0350-9
46. Soliman GA. Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease. *Nutrients* 2019;11:1155. DOI: 10.3390/nu11051155
47. Stephen AM, Champ MM, Cloran SJ, Fleith M, van Lieshout L, Mejbourn H, et al. Dietary fibre in Europe: Current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutr Res Rev* 2017;30:149-90. DOI: 10.1017/S095442241700004X
48. Gemen R, Vries JF, Slavina JL. Relationship between molecular structure of cereal dietary fiber and health effects: Focus on glucose/insulin response and gut health. *Nutr Rev* 2011;69:22-33. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00357.x
49. Ray TK, Mansell KM, Knight LC, Malmud LS, Owen OE, Boden G. Long-term effects of dietary fiber on glucose tolerance and gastric emptying in noninsulin-dependent diabetic patients. *Am J Clin Nutr* 1983;37:376-81. DOI: 10.1093/ajcn/37.3.376
50. Dimitriadis GD, Maratou E, Kountouri A, Board M, Lambadiari V. Regulation of Postabsorptive and Postprandial Glucose Metabolism by Insulin-Dependent and Insulin-Independent Mechanisms: An Integrative Approach. *Nutrients* 2021;13:159. DOI: 10.3390/nu13010159
51. Weickert MO, Pfeiffer AFH. Impact of Dietary Fiber Consumption on Insulin Resistance and the Prevention of Type 2 Diabetes. *J Nutr* 2018;148:7-12. DOI: 10.1093/jn/nxx008
52. Papakonstantinou E, Oikonomou C, Nychas G, Dimitriadis GD. Effects of Diet, Lifestyle, Chrononutrition and Alternative Dietary Interventions on Postprandial Glycemia and Insulin Resistance. *Nutrients* 2022;14:823. DOI: 10.3390/nu14040823
53. Henrion M, Francey C, Lê KA, Lamothe L. Cereal B-Glucans: The Impact of Processing and How It Affects Physiological Responses. *Nutrients* 2019;11(8):1729. DOI: 10.3390/nu11081729
54. Tighe P, Duthie G, Vaughan N, Brittenden J, Simpson WG, Duthie S, et al. Effect of increased consumption of whole-grain foods on blood pressure and other cardiovascular risk markers in healthy middle-aged persons: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2010;92:733-40. DOI: 10.3945/ajcn.2010.29417
55. Flint HJ, Duncan SH, Scott KP, Louis P. Links between diet, gut microbiota composition and gut metabolism. *Proc Nutr Soc* 2015;74:13-22. DOI: 10.1017/S0029665114001463
56. Jefferson A, Adolphus K. The Effects of Increasing Intake of Intact Wheat Fibre or Wheat Bran on Gut Microbiota Diversity: a Systematic Review. *Frontiers in Nutrition* 2019;6:33. DOI: 10.3389/fnut.2019.00033
57. Vetrani C, Costabile G, Luongo D, Naviglio D, Rivelles AA, Riccardi G, et al. Effects of whole-grain cereal foods on plasma short chain fatty acid concentrations in individuals with the metabolic syndrome. *Nutrition* 2016;32:217-21. DOI: 10.1016/j.nut.2015.08.006
58. Nilsson AC, Ostman E, Preston T, Björck I. Effects of GI vs content of cereal fibre of the evening meal on glucose tolerance at a subsequent standardized breakfast. *EJCN* 2008;62:712-20. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1602784
59. Kespohl M, Vachharajani N, Luu M, Harb H, Pautz S, Wolff S, et al. The Microbial Metabolite Butyrate Induces Expression of Th1-Associated Factors in CD4+ T Cells. *Front Immunol* 2017;8:1036. DOI: 10.3389/fimmu.2017.01036
60. Cuevas-Sierra A, Ramos-Lopez O, Riezu-Boj JI, Milagro FI, Martinez JA. Diet, Gut Microbiota, and Obesity: Links with Host Genetics and Epigenetics and Potential Applications. *Adv Nutr* 2019;10(suppl_1):S17-S30. DOI: 10.1093/advances/nmy078
61. Salvi PS, Cowles RA. Butyrate and the Intestinal Epithelium: Modulation of Proliferation and Inflammation in Homeostasis and Disease. *Cells* 2021;10:7:1775. DOI: 10.3390/cells10071775
62. Tabat MW, Marques TM, Markgren M, Löfvendahl L, Brummer RJ, Wall R. Acute Effects of Butyrate on Induced Hyperpermeability and Tight Junction Protein Expression in Human Colonic Tissues. *Biomolecules* 2020;10:766. DOI: 10.3390/biom10050766