

Influencia de la dieta vegetariana en el microbioma intestinal humano

Influence of the vegetarian diet on the human intestinal microbiome

Alejandro BORREGO RUIZ¹, Juan José BORREGO²

1 Departamento de Psicología Social y de las Organizaciones. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España.

2 Departamento de Microbiología. Universidad de Málaga, Málaga, España. Instituto de Investigación Biomédica de Málaga y Plataforma en Nanomedicina-IBIMA. Plataforma BIONAND, Málaga, España.

Recibido: 29/mayo/2024. Aceptado: 20/junio/2024.

RESUMEN

Introducción: Las dietas vegetarianas son cada vez más populares en todo el mundo, sobre todo por sus beneficios para la salud, por su sostenibilidad medioambiental, y por su contribución al bienestar animal. Varios estudios han identificado una asociación entre el vegetarianismo y distintos indicadores de salud, por medio de una modulación de la diversidad y de la estabilidad del microbioma intestinal humano.

Metodología: Desde una perspectiva holística, se revisan los efectos de las dietas vegetarianas en la composición de la microbiota intestinal y en la producción de metabolitos microbianos que pueden afectar a la salud física y mental humana.

Resultados: La adopción de una dieta vegetariana, rica en fibras no digeribles, reduce la diversidad microbiana β del microbioma intestinal humano, conduciendo a un aumento en la abundancia de los géneros *Prevotella*, *Clostridium* y *Faecalibacterium*, y a una disminución de los géneros *Bacteroides* y *Bifidobacterium*.

Conclusiones: La fermentación de las fibras y el cambio del ecosistema microbiano intestinal se traduce en la producción de metabolitos, como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y otros posbióticos, que ejercen efectos muy beneficiosos en el sistema inmune intestinal, en la integridad de la

barrera hematoencefálica, en el suministro de sustratos energéticos, y en las defensas contra patógenos microbianos.

PALABRAS CLAVE

Microbioma intestinal, Dieta vegetariana, Metabolitos microbianos, Posbióticos.

ABSTRACT

Introduction: Vegetarian diets are increasingly popular around the world, especially for their health benefits, their environmental sustainability, and their contribution to animal welfare. Several studies have identified an association between vegetarianism and different health indicators, through modulation of the diversity and stability of the human gut microbiome.

Methods: From a holistic perspective, the effects of vegetarian diets on the composition of the intestinal microbiota and on the production of microbial metabolites that can affect human physical and mental health are reviewed.

Results: The adoption of a vegetarian diet, rich in indigestible fibers, reduces the β microbial diversity of the human intestinal microbiome, leading to an increase in the abundance of the genera *Prevotella*, *Clostridium* and *Faecalibacterium*, and to a decrease in the genera *Bacteroides* and *Bifidobacterium*.

Conclusions: The fermentation of fibers and the change of the intestinal microbial ecosystem result in the production of metabolites, such as short chain fatty acids (SCFAs) and other postbiotics, which exert beneficial effects on the intes-

Correspondencia:
Alejandro Borrego Ruiz
a.borrego@psi.uned.es

tinal immune system, on the integrity of the blood-brain barrier, on the supply of energy substrates, and on defenses against microbial pathogens.

KEYWORDS

Gut microbiome, Vegetarian diet, Microbial metabolites, Postbiotics.

INTRODUCCIÓN

El vegetarianismo es un patrón dietético, exento de cualquier tipo de carne, que puede subdividirse en distintas categorías de dietas, como el lacto-ovo-vegetarianismo, que incluye el consumo de lácteos y huevos, o el veganismo, que se restringe a una nutrición totalmente basada en productos vegetales¹. En la sociedad occidental, el interés hacia las dietas vegetarianas se ha visto incrementado en los últimos años², debido a cuestiones animalistas, éticas, religiosas, económicas, de salud, y/o medioambientales¹⁻³. Diversos estudios epidemiológicos han establecido los beneficios de las dietas vegetarianas en la salud humana, debido a su alto contenido en macro- y micronutrientes, tales como: fibras vegetales, ácido fólico (vitamina B₉), vitaminas C y E, potasio, magnesio, fitoquímicos, ácidos grasos insaturados, y sustancias antioxidantes⁴. Sin embargo, las dietas vegetarianas presentan bajas concentraciones de ciertos nutrientes esenciales, como las proteínas, el hierro, o la vitamina B₁₂⁵.

En comparación con las personas omnívoras, las vegetarianas presentan un menor riesgo de desarrollar diabetes tipo 2, cardiopatía isquémica, ciertos tipos de cáncer, y obesidad^{1,6}. El vegetarianismo también se ha asociado con una mayor longevidad⁷, y con el bienestar psicológico⁸. Asimismo, el tipo de alimentación es un factor que ejerce un rol crucial en la composición y en la función del microbioma intestinal, y las personas vegetarianas poseen una microbiota estrictamente diferenciada de la de individuos que siguen otros patrones dietéticos⁹.

Aunque los términos «microbioma» y «microbiota» con frecuencia se utilizan de manera indistinta, existen algunas diferencias conceptuales entre ambos. El microbioma engloba a todos los microorganismos, incluidos los Dominios Bacteria, Archaea, Eukarya (hongos y protozoos), los virus, la colección de genomas de los microorganismos mencionados, así como otros elementos estructurales microbianos, los metabolitos, y las condiciones ambientales. Por otra parte, la microbiota describe de manera más restringida al grupo de microorganismos comensales, simbióticos y patógenos que se encuentran en un ecosistema determinado¹⁰. El dominio Bacteria es, tanto cuantitativa como funcionalmente, el más importante del microbioma intestinal humano sano, y este bacterioma consta de 12 filos bacterianos (de los cuales, más del 93% está constituido por Actinomycetota, Bacillota, Bacteroidota y Pseudomonadota); 18 familias, siendo las más prevalentes *Bacteroi-*

daceae (65,6%), *Lachnospiraceae* (11,5%) y *Ruminococcaceae* (8,4%); y 59 géneros, siendo *Bacteroides* el más abundante (más del 65%)⁹.

El objetivo principal del presente trabajo es investigar la influencia de la dieta vegetariana en el microbioma intestinal humano a través de una revisión de estudios recientes. Como objetivo secundario, se analizan los efectos que ejercen los componentes de la dieta vegetariana en los metabolitos microbianos y en los neurotransmisores, destacando su impacto sobre la salud fisiológica y psicológica de las personas.

MÉTODO

Revisión sistemática dirigida a responder al objetivo de la investigación, que es determinar el efecto de la dieta vegetariana en la composición del microbioma intestinal humano, complementando las evidencias recabadas con un análisis en torno a los efectos ejercidos por los posbióticos microbianos. La metodología se basó en las pautas establecidas en la guía PRISMA¹¹. Pese a la naturaleza sistemática del proceso relativo a la búsqueda y selección de artículos, los resultados del presente estudio se exponen de acuerdo a una revisión narrativa. Esta decisión se tomó considerando la gran heterogeneidad de los estudios seleccionados, que presentan variaciones significativas en términos de método y de intervenciones implementadas. De esta manera, el enfoque narrativo facilita la comprensión del fenómeno investigado.

Se consultaron las bases de datos PubMed y Scopus durante el mes de abril de 2024. Para la búsqueda se emplearon las siguientes palabras clave y operadores booleanos: (vegetarian diet OR vegan diet) AND (human gut microbiota OR gut microbiome). Se aplicaron filtros para restringir los resultados de búsqueda a artículos publicados a partir del año 2012. En PubMed también se aplicaron los filtros «full text» y «clinical trials».

Los criterios de exclusión establecidos fueron: [1] artículos no originales; [2] artículos sobre patologías fisiológicas, endocrinas, infecciosas, genéticas o mentales. Los criterios de inclusión establecidos fueron: [1] estudios experimentales y cuasi-experimentales; [2] estudios con participantes humanos; [3] estudios que realicen una intervención clínica en la que se analizan los efectos de la dieta vegetariana en la microbiota intestinal. El primer autor realizó la búsqueda de artículos en las bases de datos, y ambos autores cribaron cada estudio recuperado de manera independiente.

Los siguientes parámetros fueron extraídos de la selección de artículos para su posterior análisis: tamaño de muestra, distribución por género, edad media, contexto geográfico, tipo de dieta vegetariana, diseño del estudio, género/especie bacteriana, abundancia microbiana (incremento/descenso), método de secuenciación empleado, referencia del artículo. No se utilizaron herramientas automatizadas en el proceso.

RESULTADOS

De la primera identificación de artículos (PubMed: N = 1805; Scopus: N = 187) se excluyeron los duplicados (N = 170) y de los restantes se excluyeron 1791 artículos en función de la lectura de su título y de su resumen. Los artículos restantes

(N = 31) se examinaron mediante la lectura íntegra de su contenido, y se descartaron aquellos que no satisfacían las pautas de elegibilidad. Finalmente, 14 artículos (dentro del periodo temporal 2012-2024) fueron incluidos en la presente revisión. En la Figura 1 se muestra una síntesis del proceso de búsqueda y selección de artículos.

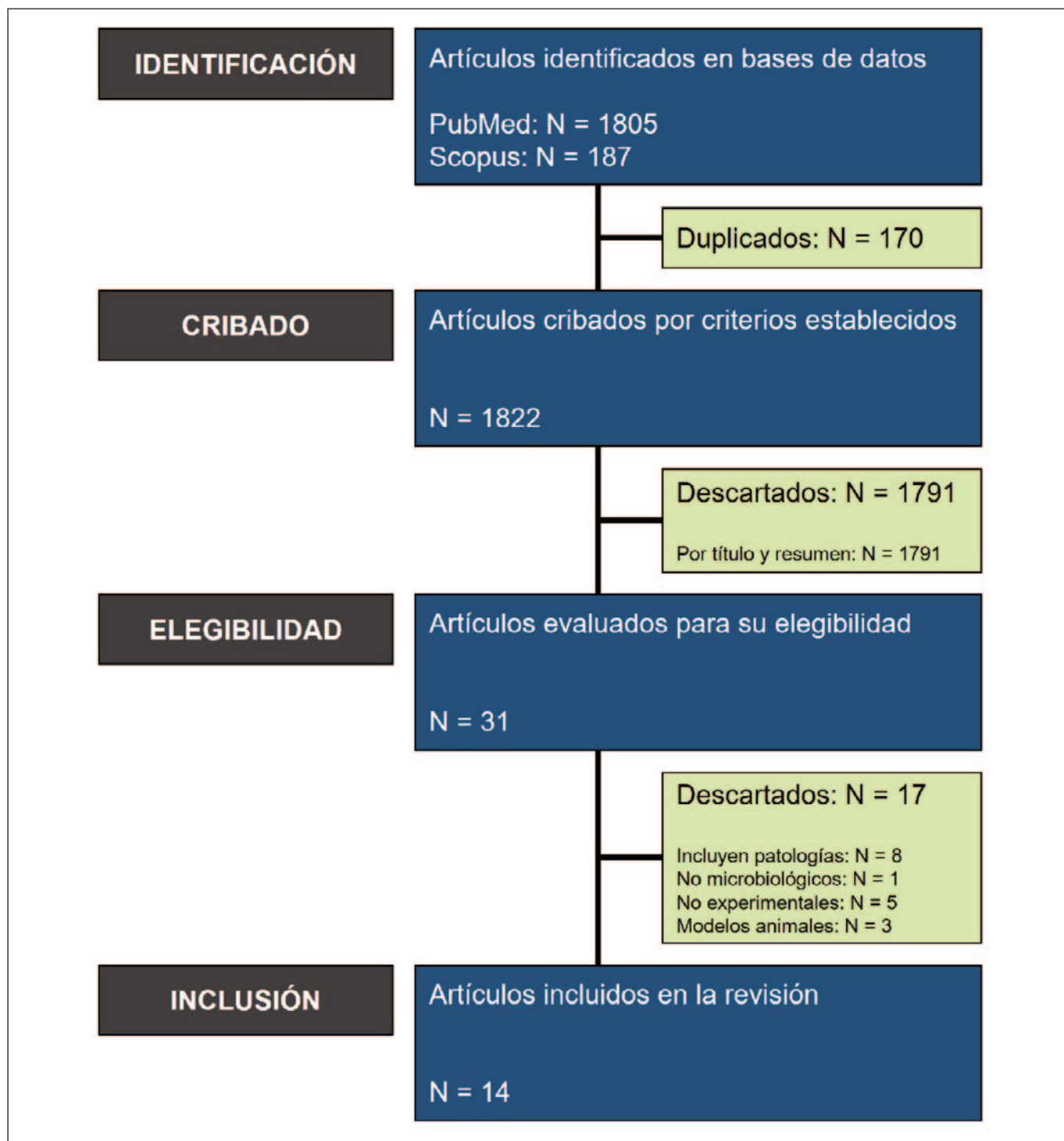


Figura 1. Diagrama de flujo sobre la búsqueda y selección de artículos

Influencia de la dieta vegetariana en la composición del microbioma intestinal

En base a los resultados obtenidos, es posible afirmar que la diferencia en la composición del microbioma intestinal entre personas vegetarianas y omnívoras está bien documentada. Los cambios en la composición de este microbioma podrían deberse a las diferencias en las bacterias suministradas directamente a través de los alimentos, a las diferencias en los sustratos consumidos, a las variaciones temporales en el tránsito a través del sistema gastrointestinal, al pH y a las secreciones gastrointestinales del hospedador influenciadas por los patrones dietéticos, o a la regulación de la expresión genética del hospedador y/o de su microbiota¹². Las dietas vegetarianas aportan ciertos nutrientes implicados en la cinética del crecimiento de las bacterias intestinales, como los glicanos (inulina, lignina, pectina, celulosa y fructooligosacáridos), que son carbohidratos no digeribles por el ser humano¹³. Sin embargo, ciertas bacterias intestinales, denominadas degradadoras primarias y que incluyen miembros de los géneros *Bacteroides*, *Bifidobacterium* y *Ruminococcus*, pueden descomponer los glicanos¹⁴. Además, las dietas pueden influir en el metabolismo y en el sistema inmunológico del hospedador y, por tanto, pueden modular la configuración del microbioma a través de diversas sustancias, como compuestos derivados del indol, vitaminas A y D, y ácidos grasos poliinsaturados¹⁵. La adopción de estas dietas reduce la diversidad microbiana β (la magnitud de cambio en la composición de las comuni-

dades microbianas, o el grado de diferenciación entre las comunidades microbianas) del microbioma intestinal, pero no la diversidad individual a nivel local (diversidad microbiana α)¹⁶.

Los principales enterotipos bacterianos del microbioma intestinal humano están conformados por los géneros *Bacteroides*, *Prevotella*, y *Ruminococcus*¹⁷. La abundancia de *Bacteroides* (filo Bacteroidota) se ha correlacionado positivamente con hábitos dietéticos de larga duración ricos en proteína animal y ácidos grasos saturados¹⁸, y la prevalencia de este enterotipo desciende con las dietas vegetarianas¹⁹. *Prevotella* es un género del filo Bacteroidota, cuya abundancia aumenta como respuesta a una dieta vegetariana²⁰. El género *Ruminococcus* (filo Bacillota) está asociado con el consumo cotidiano de frutas y vegetales; las especies de este género son capaces de degradar carbohidratos complejos, como la celulosa o el almidón resistente, presentes frecuentemente en las dietas vegetarianas²¹. Sin embargo, *Ruminococcus* también se ha relacionado con dietas omnívoras que son pobres en fibras vegetales²¹. Respecto a otros microorganismos, las dietas vegetarianas inducen un cambio en la distribución de los mismos, conllevando un aumento de la abundancia de los géneros *Roseburia*, *Haemophilus*, *Neisseria*, *Aggregatibacter*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Eubacterium*, *Faecalibacterium*, y *Veillonella*; y un descenso de la abundancia de *Bifidobacterium*^{21,22}. La Tabla 1 muestra los diferentes estudios seleccionados sobre la influencia de la dieta vegetariana en la composición del microbioma intestinal humano.

Tabla 1. Influencia de la dieta vegetariana en la composición del microbioma intestinal humano

Género/Especie bacteriana	Alteración	Método	Datos descriptivos	Referencia
<i>Bacteroides</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Bifidobacterium</i>	D D D	Cultivo	Alemania. Transversal. GI: (V: n=46 [H/M:60,8/39,1%] EM:47,8) (Vg: n=46 [H/M:60,8/39,1%] EM:46,5) GC: (n=46 [H/M:60,8/39,1%] EM:46,2)	Zimmer et al. ²³
<i>Bacteroides thetaiotaomicron</i> <i>Bacteroides/Prevotella</i> <i>Clostridium clostridioforme</i> <i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	I I I I	DGGE	Eslovenia. Transversal. GI: (V: n=11 [H/M:58,3/41,7%] EM:34) (Vg: n=20 [H/M:60/40%] EM:35) GC: (n=29 [H/M:43,3/56,7%] EM:30)	Matijašič et al. ²⁴
<i>Alistipes</i> <i>Bilophila</i> <i>Bacteroides</i> <i>Roseburia</i> <i>Eubacterium</i> <i>Ruminococcus</i>	D D D I I I	Secuenciación gen ARNr 16S	Estados Unidos. Transversal. GI: (V: n=11 [H/M:54,5/45,5%] EM:28,1) GC: NE	David et al. ²⁵
<i>Bacteroides fragilis</i> <i>Bifidobacterium</i> <i>Prevotella</i>	D D I	Cultivo y DGGE	Italia. Transversal. GI: (V: n=51) (Vg: n=51) GC: (n=51) 3 grupos: ([H/M:50/50%] EM:38)	Ferrocino et al. ²⁶
<i>Bilophila wadsworthia</i> <i>Escherichia hermannii</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i>	D D I	Pirosecuenciación	Tailandia. Transversal. GI: (V: n=36 [H/M:NE] EM:50,9) GC: (n=36 [H/M:NE] EM:51,8)	Ruengsomwong et al. ²⁷

D: Descenso. I: Incremento. DGGE: Electroforesis en gel con gradiente de desnaturalización del ARNr. GI: Grupo intervención. GC: Grupo control. V: Vegetarianos/as. Vg: Veganos/as. H: Hombres. M: Mujeres. EM: Edad media. NE: No especificado.

Tabla 1 continuación. Influencia de la dieta vegetariana en la composición del microbioma intestinal humano

Género/Especie bacteriana	Alteración	Método	Datos descriptivos	Referencia
<i>Prevotella</i> <i>Bacteroides</i> <i>Bifidobacterium</i>	I D D	Cultivo	Italia. Transversal. GI: (V: n=12 [H/M:25/75%] EM:39) (Vg: n=10 [H/M:70/30%] EM:33) GC: (n=7 [H/M:57,1/42,9%] EM:41)	Federici et al. ²⁸
<i>Haemophilus</i> <i>Neisseria</i> <i>Aggregatibacter</i> <i>Veillonella</i> <i>Roseburia</i> <i>Ruminococcus</i> <i>Streptococcus</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Alistipes</i> <i>Proteus</i>	I I I I I I I I D D	Secuenciación metagenómica «shotgun»	China. Longitudinal (3 meses). GI: (V: n=15 [H/M:46,7/53,3%] EM:35,4) GC: (n=14 [H/M:50/50%] EM:37,9)	Zhang et al. ²⁹
<i>Lachnospira</i> <i>Ruminococcus</i>	I D	Secuenciación metagenómica «shotgun»	Italia. Transversal. GI: (V: n=10 [H/M:40/60%]) (Vg: n=10 [H/M:50/50%]) GC: (n=10 [H/M:50/50%]) 3 grupos: EM:36	De Angelis et al. ³⁰
<i>Faecalibacterium prausnitzii</i> <i>Bacteroides fragilis</i>	I D	Secuenciación gen ARNr 16S (uBiome)	Estados Unidos. Longitudinal (16 semanas). GI: (V: n=84 [H/M:17,9/82,1%] EM:52,9) GC: (n=84 [H/M:11,9/88,1%] EM:57,5)	Kahleova et al. ³¹
<i>Anaerostipes</i> <i>Streptococcus</i> <i>Clostridium</i> <i>Odoribacter</i>	I I I I	Secuenciación gen ARNr 16S (NGS)	Italia. Longitudinal (3 meses). GI: (V: n=12 EM:55,2) GC: (n=11 EM:62,4) 2 grupos: [H/M:69,6/30,4%]	Pagliai et al. ³²
<i>Lachnoclostridium</i> <i>Dialister</i> <i>Prevotella</i> <i>Faecalibacterium</i>	D D I I	Secuenciación gen ARNr 16S	Alemania. Transversal. GI: (V: n=36 [H/M:50/50%] EM:37,5) GC: (n=36 [H/M:50/50%] EM:38,5)	Trefflich et al. ³³
<i>Coprococcus</i> <i>Faecalibacterium</i> <i>Roseburia</i>	I I D	Secuenciación gen ARNr 16S	Alemania. Longitudinal (4 semanas). GI: (V: n=26 [H/M:30,8/69,2%] EM:33,2) GC: (n=27 [H/M:44,4/55,6%] EM:29,9)	Kohnert et al. ³⁴
<i>Lachnospira</i> <i>Ruminiclostridium</i> <i>Alistipes</i> <i>Bifidobacterium</i> <i>Blautia</i> <i>Fusicatenibacter</i> <i>Dorea</i> <i>Anaerostipes</i>	I I D D D D D D	Secuenciación gen ARNr 16S	República Checa. Transversal. GI: (V: n=62 [H/M:40,3/59,7%] EM:30,9) GC: (n=33 [H/M:51,5/48,5%] EM:31,3)	Prochazkova et al. ³⁵
<i>Faecalibacterium</i> <i>Eubacterium</i> <i>Bacteroides</i> <i>Blautia</i> <i>Dorea</i> <i>Alistipes</i> <i>Eisenbergiella</i> <i>Sellimonas</i>	I I I D D D D D	Secuenciación metagenómica «shotgun»	Estados Unidos. Longitudinal (3 meses). GI: (V: n=705 [H/M:32,5/67,5%] EM:71) GC: NE	Shen et al. ³⁶

D: Descenso. I: Incremento. DGGE: Electroforesis en gel con gradiente de desnaturización del ARNr. GI: Grupo intervención. GC: Grupo control. V: Vegetarianos/as. Vg: Veganos/as. H: Hombres. M: Mujeres. EM: Edad media. NE: No especificado.

Influencia de los posbióticos microbianos en la salud humana

Dependiendo del tipo bacteriano de la microbiota intestinal, los nutrientes presentes en la dieta vegetariana son transformados en diferentes moléculas bioactivas, como los posbióticos y/o ácidos grasos de cadena corta (AGCC), que poseen efectos beneficiosos para la salud humana, incluyendo efectos antiinflamatorios, inmunomoduladores, antioxidantes, antiproliferativos, y antihipertensivos³⁷. Además, se ha demostrado que estos metabolitos microbianos poseen un papel esencial en la función del eje microbiota-intestino-cerebro, al actuar sobre funciones cerebrales, y al estar implicados en determinados trastornos psicológicos y neuropsiquiátricos^{38,39}.

Los AGCC son metabolitos microbianos que se producen como resultado de la fermentación de la fibra vegetal y otros carbohidratos, siendo los más importantes el acetato, el propionato, y el butirato. La concentración de estas sustancias aumenta con el consumo de frutas, vegetales y legumbres, componentes propios de las dietas vegetarianas⁴⁰. Los principales microorganismos sintetizadores de AGCC son: *Akkermansia muciniphila*, *Bifidobacterium* spp., *Prevotella* spp. y *Bacteroides* spp. para el acetato; *Bacteroides* spp. para el propionato; y *Coprococcus* spp. y *Clostridium* spp. para el butirato^{21,40}. Los AGCC presentan un papel protector en diferentes tipos de enfermedades, como las del sistema inmune, la diabetes tipo 2 y la enfermedad intestinal inflamatoria, y también aportan protección contra las infecciones microbianas²¹. Además, hay evidencias que sugieren que los AGCC están asociados con aspectos psicobiológicos a través de vías endocrinas, neuronales e inmunes; de esta manera, podrían regular los síntomas y las respuestas relacionadas con el estrés, con los trastornos del comportamiento alimentario, o con los brotes esquizofrénicos^{41,42}.

Los fitoestrógenos son polifenoles de origen vegetal que interactúan con los receptores de estrógenos mediante acciones agonistas o antagonistas. Estos polifenoles poseen propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antioxidantes, y se ha descrito su asociación con una disminución en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes y osteoporosis, y también en la formación de fibras amiloides, característica de las enfermedades de Parkinson y de Alzheimer⁴³. Estos efectos beneficiosos se obtienen cuando los polifenoles vegetales son bioactivados por la microbiota intestinal humana, que los convierte en equol, urolitina y enterolignanos, principalmente por los géneros *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Bacteroides*, *Saccharomyces*, y miembros de la familia *Coriobacteriaceae*^{44,45}. La interacción entre los polifenoles y la microbiota intestinal es bidireccional; las bacterias intestinales sintetizan metabolitos a partir de los polifenoles, que a su vez actúan como prebióticos para el crecimiento microbiano, principalmente de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*⁴⁵.

El papel de la microbiota intestinal también es crucial para mantener los niveles adecuados de vitaminas en el organismo humano, fundamentalmente la menaquinona (vitamina K₂), el folato (vitamina B₉), la cobalamina (vitamina B₁₂) y la riboflavina (vitamina B₂). El género *Bifidobacterium* sintetiza vitaminas K₂, B₉, B₇ (biotina) y B₁ (tiamina), mientras que otros microorganismos sintetizadores son *Bacillus* y *Escherichia* (vitamina B₂), y *Lactobacillus* (vitamina B₁₂)⁴⁶. Se ha reportado que las deficiencias de las vitaminas B₉, B₁₂, B₁, B₆ y E causan disfunciones mentales y trastornos neurológicos, como ataques epilépticos, depresión, síntomas de confusión y desorientación, encefalopatía de Wernicke, psicosis de Korsakoff⁴⁷, así como una reducción en la síntesis de diversos neurotransmisores (dopamina, noradrenalina, adrenalina, serotonina, histamina, GABA) que también están asociados con diferentes trastornos mentales^{38,47} (Tabla 2).

Los isotiocianatos son compuestos de glucosinolatos que se encuentran en elevada cantidad en las plantas. Estos glucosi-

Tabla 2. Relación entre los microorganismos productores de neurotransmisores y los trastornos psicológicos y neuropsiquiátricos (modificado de Borrego-Ruiz & Borrego³⁸)

Neurotransmisor	Género microbiano productor	Trastornos mentales implicados
Ácido γ-aminobutírico (GABA)	<i>Lactobacillus</i> <i>Bifidobacterium</i> <i>Escherichia</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Bacteroides</i> <i>Parabacteroides</i> <i>Eubacterium</i>	Ansiedad
L-Glutamina	<i>Lactobacillus</i> <i>Bacteroides</i> <i>Corynebacterium</i> <i>Brevibacterium</i> <i>Campylobacter</i>	Ansiedad Depresión Trastorno bipolar Esquizofrenia Enfermedad de Alzheimer
Dopamina	<i>Bacillus</i> <i>Escherichia</i> <i>Staphylococcus</i> <i>Serratia</i>	Depresión Ansiedad Esquizofrenia Enfermedad de Parkinson
Serotonina	<i>Escherichia</i> <i>Streptococcus</i> <i>Staphylococcus</i> <i>Clostridium</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Enterococcus</i> <i>Candida</i>	Depresión Estrés Trastornos emocionales Trastornos del espectro autista
Norepinefrina	<i>Bacillus</i> <i>Escherichia</i> <i>Saccharomyces</i>	Depresión Esquizofrenia

nolatos son metabolizados a isotiocianatos por diferentes microorganismos intestinales, como *Escherichia coli*, *Bacteroides* spp., *Enterococcus* spp., *Ligilactobacillus agilis*, *Peptostreptococcus* spp. y *Bifidobacterium* spp. Estos metabolitos tienen propiedades citoprotectoras y efectos antioxidantes a través de la regulación de la expresión genética de procesos neoplásicos, de aterosclerosis, y neurodegenerativos⁴⁸.

Un grupo diferente de posbióticos son los metabolitos derivados del colesterol. Determinadas cepas bacterianas intestinales pueden convertir el colesterol dietético o el sintetizado *de novo* en coprostanol, que es escasamente absorbido por el intestino humano, lo que reduce su concentración sérica y disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares⁴⁹. Por otro lado, los ácidos biliares sintetizados a partir del colesterol se convierten por la microbiota en ácidos biliares secundarios, que están involucrados en diversas enfermedades, como la inflamatoria intestinal, la hepática o el cáncer de colon, además de en el desarrollo de varios trastornos psicológicos, como la ansiedad y la depresión⁵⁰⁻⁵².

El N-óxido de trimetilamina (TMAO) es un metabolito microbiano que se asocia con trastornos cardiovasculares y neurológicos⁵³. Los precursores del TMAO son la carnitina y la colina, que se encuentran principalmente en alimentos de origen animal, e inducen el crecimiento de diferentes géneros de la microbiota intestinal, como *Bacteroides*, *Alistipes*, *Ruminococcus*, *Clostridium* y *Bilophila*, y la estarvación de *Bifidobacterium*. Los vegetarianos, por su particular composición de la microbiota, poseen una reducida capacidad de síntesis de trimetilamina, que es la molécula precursora del TMAO⁵⁴.

DISCUSIÓN

Como cualquier otro trabajo de revisión, el presente también es susceptible de haber podido incurrir en sesgos durante el proceso de búsqueda y selección de artículos. En este sentido, se han consultado solo dos bases de datos, por lo que podrían no haberse considerado estudios elegibles dentro del periodo establecido (2012-2024). Entre las limitaciones de la presente revisión también se encuentra un posible sesgo relativo a las características diferenciales de los distintos estudios seleccionados, como la heterogeneidad en los tamaños poblacionales, el tipo de intervención realizada, la edad de los grupos intervenidos, y la diversidad de métodos utilizados para la secuenciación de las muestras. Por otro lado, un factor de confusión implícito en casi todos los estudios que analizan las dietas vegetarianas es, precisamente, dicho término, ya que incluye variantes alimentarias que pueden afectar al proceso de homeostasis microbiana intestinal de distintas formas. De igual modo, es importante señalar un aspecto negativo de los estudios incluidos en la revisión: la mayoría son intervenciones transversales y no longitudinales. Además, la adherencia a las dietas vegetarianas se ha evaluado mediante autoinformes, no especificándose el tiempo durante el que los participantes han mante-

nido dicha adherencia dietética. Asimismo, los tratamientos antibióticos previos a la intervención se han considerado en pocos estudios, así como otros parámetros clínicos vinculados a los participantes. A pesar de lo expuesto, una clara fortaleza de la revisión se refleja en la homogeneidad y coherencia de los resultados obtenidos en cuanto a «disbiosis» bacterianas resultantes del consumo de una dieta vegetariana, incluso a través de la utilización de diferentes métodos de secuenciación genética de las muestras.

Aunque diversos estudios han establecido que las dietas vegetarianas son pobres en macro- y micronutrientes esenciales para el ser humano, como proteínas, hierro y vitamina B₁₂, otros estudios establecen importantes beneficios para la salud, debido a su capacidad antioxidante, antiinflamatoria, inmunomoduladora, antiproliferativa y antihipertensiva. Además, los componentes de estas dietas inducen la síntesis microbiana de AGCC y posbióticos, como equol, urolitina, enterolignanos, vitaminas (K₂, B₁, B₂, B₇, B₉, y B₁₂), isotiocianatos, coprostanol y ácidos biliares secundarios, que presentan diversas funciones beneficiosas sobre distintos procesos fisiológicos e inmunológicos.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que las dietas vegetarianas influyen significativamente en la composición y en la función del microbioma intestinal humano. Asimismo, estas dietas podrían desempeñar un papel clave en relación al tratamiento de diversos trastornos fisiológicos, psicológicos y neuropsiquiátricos. Cabe resaltar que, más allá de los potenciales efectos beneficiosos para la salud humana, las dietas vegetarianas destacan por su sostenibilidad medioambiental, pues generan una cantidad considerablemente menor de gases de efecto invernadero, y de otros contaminantes, en comparación con otras dietas, además de requerir un menor uso de recursos terrestres y acuícolas. Por último, es de rigor considerar que las dietas vegetarianas poseen importantes implicaciones éticas, especialmente en relación con el bienestar de los animales, ya que suponen una menor explotación y un menor sufrimiento para ellos.

REFERENCIAS

1. Craig WJ, Mangels AR, Fresán U, Marsh K, Miles FL, Saunders AV, et al. The safe and effective use of plant-based diets with Guidelines for Health Professionals. *Nutrients*. 2021; 13(11):4144. doi: 10.3390/nu13114144
2. Ruby MB. Vegetarianism. A blossoming field of study. *Appetite*. 2012; 58(1):141-50. doi: 10.1016/j.appet.2011.09.019
3. Fox N, Ward K. Health, ethics and environment: A qualitative study of vegetarian motivations. *Appetite*. 2008; 50(2-3):422-9. doi: 10.1016/j.appet.2007.09.007
4. Neufingerl N, Eilander A. Nutrient intake and status in adults consuming plant-based diets compared to meat-eaters: A systematic review. *Nutrients*. 2021; 14(1):29. doi: 10.3390/nu14010029

5. Gilsing AM, Crowe FL, Lloyd-Wright Z, Sanders TA, Appleby PN, Allen NE, et al. Serum concentrations of vitamin B12 and folate in British male omnivores, vegetarians and vegans: Results from a cross-sectional analysis of the EPIC-Oxford cohort study. *Eur J Clin Nutr.* 2010; 64: 933-9. doi: 10.1038/ejcn.2010.142
6. Melina, V., Craig, W., & Levin, S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian diets. *J Acad Nutr Diet.* 2016; 116(12):1970-80. doi: 10.1016/j.jand.2016.09.025
7. Norman K, Klaus S. Veganism, aging and longevity: New insight into old concepts. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2020; 23(2): 145-50. doi: 10.1097/MCO.0000000000000625
8. Jin Y, Kandula NR, Kanaya AM, Talegawkar SA. Vegetarian diet is inversely associated with prevalence of depression in middle-older aged South Asians in the United States. *Ethn Health.* 2021; 26:504-11. doi: 10.1080/13557858.2019.1606166
9. Borrego-Ruiz A, Borrego JJ. Human gut microbiome, diet, and mental disorders. *Int Microbiol.* 2024a; 27(3). doi: 10.1007/s10123-024-00518-6
10. Berg G, Rybakova D, Fischer D, Cernava T, Vergès MC, Charles T, et al. Microbiome definition re-visited: Old concepts and new challenges. *Microbiome.* 2020; 8:103. doi: 10.1186/s40168-020-00875-0
11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021; 372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71
12. Salonen A, de Vos WM. Impact of diet on human intestinal microbiota and health. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2014; 5:239-62. doi: 10.1146/annurev-food-030212-182554
13. Cantarel BL, Lombard V, Henrissat B. Complex carbohydrate utilization by the healthy human microbiome. *PLoS One.* 2012; 7:e28742. doi: 10.1371/journal.pone.0028742
14. Eilam O, Zarecki R, Oberhardt M, Ursell LK, Kupiec M, Knight R, et al. Glycan degradation (GlyDeR) analysis predicts mammalian gut microbiota abundance and host diet-specific adaptations. *mBio.* 2014; 5:e01526-14. doi: 10.1128/mBio.01526-14
15. Hibberd MC, Wu M, Rodionov DA, Li X, Cheng J, Griffin NW, et al. The effects of micronutrient deficiencies on bacterial species from the human gut microbiota. *Sci Transl Med.* 2017; 9:eaal4069. doi: 10.1126/scitranslmed.aal4069
16. Sidhu SRK, Kok CW, Kunasegaran T, Ramadas A. Effect of plant-based diets on gut microbiota: A systematic review of interventional studies. *Nutrients.* 2023; 15(6):1510. doi: 10.3390/nu15061510
17. Arumugam M, Raes J, Pelletier E, Le Paslier D, Yamada T, Mende DR, et al. Enterotypes of the human gut microbiome. *Nature.* 2011; 473(7346):174-80. doi: 10.1038/nature09944
18. Wu GD, Chen J, Hoffmann C, Bittinger K, Chen YY, Keilbaugh SA, et al. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. *Science.* 2011; 334:105-18. doi: 10.1126/science.1208344
19. Jain A, Li XH, Chen WN. Similarities and differences in gut microbiome composition correlate with dietary patterns of Indian and Chinese adults. *AMB Express.* 2018; 8:104. doi: 10.1186/s13568-018-0632-1
20. De Filippo C, Cavalieri D, Di Paola M, Ramazzotti M, Poullet JB, Massart S, et al. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2010; 107:14691-6. doi: 10.1073/pnas.1005963107
21. Tomova A, Bukovsky I, Rembert E, Yonas W, Alwarith J, Barnard ND, et al. The effects of vegetarian and vegan diets on gut microbiota. *Front Nutr.* 2019; 6:47. doi: 10.3389/fnut.2019.00047
22. Xiao W, Zhang Q, Yu L, Tian F, Chen W, Zhai Q. Effects of vegetarian diet-associated nutrients on gut microbiota and intestinal physiology. *Food Sci Hum Wellness.* 2022; 11(2):208-17. doi: 10.1016/j.fshw.2021.11.002
23. Zimmer J, Lange B, Frick JS, Sauer H, Zimmermann K, Schwiertz A, et al. A vegan or vegetarian diet substantially alters the human colonic faecal microbiota. *Eur J Clin Nutr.* 2012; 66(1):53-60. doi: 10.1038/ejcn.2011.141
24. Matijašič BB, Obermajer T, Lipoglavšek L, Grabnar I, Avguštin G, Rogelj I. Association of dietary type with fecal microbiota in vegetarians and omnivores in Slovenia. *Eur J Nutr.* 2014; 53:1051-64. doi: 10.1007/s00394-013-0607-6
25. David LA, Maurice CF, Carmody RN, Gootenberg DB, Button JE, Wolfe BE, et al. Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature.* 2014; 505:559-63. doi: 10.1038/nature12820
26. Ferrocino I, Di Cagno R, De Angelis M, Turrone S, Vannini L, Bancalari E, et al. Fecal microbiota in healthy subjects following omnivore, vegetarian and vegan diets: Culturable populations and rRNA DGGE profiling. *PLoS One.* 2015; 10(6):e0128669. doi: 10.1371/journal.pone.0128669
27. Ruengsomwong S, La-Ongkham O, Jiang J, Wannissorn B, Nakayama J, Nitisinprasert S. Microbial community of healthy Thai vegetarians and non-vegetarians, their core gut microbiota, and pathogen risk. *J Microbiol Biotechnol.* 2016; 26:1723-35. doi: 10.4014/jmb.1603.03057
28. Federici E, Prete R, Lazzi C, Pellegrini N, Moretti M, Corsetti A, et al. Bacterial composition, genotoxicity, and cytotoxicity of fecal samples from individuals consuming omnivorous or vegetarian diets. *Front Microbiol.* 2017; 8:300. doi: 10.3389/fmicb.2017.00300
29. Zhang C, Björkman A, Cai K, Liu G, Wang C, Li Y, et al. Impact of a 3-months vegetarian diet on the gut microbiota and immune repertoire. *Front Immunol.* 2018; 9:908. doi: 10.3389/fimmu.2018.00908
30. De Angelis M, Ferrocino I, Calabrese FM, De Filippis F, Cavallo N, Siragusa S, et al. Diet influences the functions of the human intestinal microbiome. *Sci Rep.* 2020; 10(1):4247. doi: 10.1038/s41598-020-61192-y
31. Kahleova H, Rembert E, Alwarith J, Yonas WN, Tura A, Holubkov R, et al. Effects of a low-fat vegan diet on gut microbiota in overweight individuals and relationships with body weight, body composition, and insulin sensitivity. A randomized clinical trial. *Nutrients.* 2020; 12(10):2917. doi: 10.3390/nu12102917

32. Pagliai G, Russo E, Niccolai E, Dinu M, Di Pilato V, Magrini A, et al. Influence of a 3-month low-calorie Mediterranean diet compared to the vegetarian diet on human gut microbiota and SCFA: the CAR-DIVEG study. *Eur J Nutr.* 2020; 59(5):2011-24. doi: 10.1007/s00394-019-02050-0
33. Trefflich I, Jabakhanji A, Menzel J, Blaut M, Michalsen A, Lampen A, et al. Is a vegan or a vegetarian diet associated with the microbiota composition in the gut? Results of a new cross-sectional study and systematic review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2020; 60(17):2990-3004. doi: 10.1080/10408398.2019.1676697
34. Kohnert E, Kreutz C, Binder N, Hannibal L, Gorkiewicz G, Müller A, et al. Changes in gut microbiota after a four-week intervention with vegan vs. meat-rich diets in healthy participants: A randomized controlled trial. *Microorganisms.* 2021; 9(4):727. doi: 10.3390/microorganisms9040727
35. Prochazkova M, Budinska E, Kuzma M, Pelantova H, Hradecky J, Heczkova M, et al. Vegan diet is associated with favorable effects on the metabolic performance of intestinal microbiota: A cross-sectional multi-omics study. *Front Nutr.* 2022; 8:783302. doi: 10.3389/fnut.2021.783302
36. Shen X, Tilves C, Kim H, Tanaka T, Spira AP, Chia CW, et al. Plant-based diets and the gut microbiome: Findings from the Baltimore Longitudinal Study of aging. *Am. J. Clin. Nutr.* 2024; 119:628-38. doi: 10.1016/j.ajcnut.2024.01.006
37. Aguilar-Toalá JE, Garcia-Varela R, Garcia HS, Mata-Haro V, Gonzalez-Cordova AF, Vallejo-Cordoba B, et al. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends Food Sci Technol.* 2018; 75:105-14. doi: 10.1016/j.tifs.2018.03.009
38. Borrego-Ruiz A, Borrego JJ. An updated overview on the relationship between human gut microbiome dysbiosis and psychiatric and psychological disorders. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 2024b; 128:118061. doi: 10.1016/j.pnpbp.2023.110861
39. Cryan JF, O'Riordan KJ, Sandhu K, Peterson V, Dinan TG. The gut microbiome in neurological disorders. *Lancet Neurol.* 2020; 19:179-94. doi: 10.1016/S1474-4422(19)30356-4
40. Koh A, De Vadder F, Kovatcheva-Datchary P, Bäckhed F. From dietary fiber to host physiology: Short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell.* 2016; 165:1332-45. doi: 10.1016/j.cell.2016.05.041
41. Quagebeur R, Dalile B, Rae, J, Van Oudenhove L, Verbeke K, Vriese E. The role of short-chain fatty acids (SCFAs) in regulating stress responses, eating behavior, and nutritional state in anorexia nervosa: Protocol for a randomized controlled trial. *J Eat Disord.* 2023; 11(1):191. doi: 10.1186/s40337-023-00917-6
42. Peng H, Ouyang L, Li D, Li Z, Yuan L, Fan L, et al. Short-chain fatty acids in patients with schizophrenia and ultra-high risk population. *Front Psychiatry.* 2022; 13:977538. doi: 10.3389/fpsy.2022.977538
43. Hossen MS, Ali MY, Jahurul MHA, Abdel-Daim MM, Gan SH, Khalil MI. Beneficial roles of honey polyphenols against some human degenerative diseases: A review. *Pharmacol Rep.* 2017; 69:1194-1205. doi: 10.3389/fpsy.2022.977538
44. Landete JM, Arqués J, Medina M, Gaya P, de Las Rivas B, Muñoz R. Bioactivation of phytoestrogens: Intestinal bacteria and health. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2016; 56:1826-43. doi: 10.1080/10408398.2013.789823
45. Tomás-Barberán FA, González-Sarrías A, García-Villalba R, Núñez-Sánchez MA, Selma MV, García-Conesa MT, et al. Urolithins, the rescue of "old" metabolites to understand a "new" concept: Metabotypes as a nexus among phenolic metabolism, microbiota dysbiosis, and host health status. *Mol Nutr Food Res.* 2017; 61:1. doi: 10.1002/mnfr.201500901
46. LeBlanc JG, Milani C, de Giori GS, Sesma F, van Sinderen D, Ventura M. Bacteria as vitamin suppliers to their host: A gut microbiota perspective. *Curr Opin Biotechnol.* 2013; 24:160-8. doi: 10.1016/j.copbio.2012.08.005
47. Cornish S, Mehl-Madrona L. The role of vitamins and minerals in psychiatry. *Integr Med Insights.* 2008; 3:33-42.
48. Giacoppo S, Galuppo M, Montaut S, Iori R, Rollin P, Bramanti P, et al. An overview on neuroprotective effects of isothiocyanates for the treatment of neurodegenerative diseases. *Fitoterapia.* 2015; 106:12-21. doi: 10.1016/j.fitote.2015.08.001
49. Horácková Š, Plocková M, Demnerová K. Importance of microbial defence systems to bile salts and mechanisms of serum cholesterol reduction. *Biotechnol Adv.* 2018; 36:682-690. doi: 10.1016/j.biotechadv.2017.12.005
50. Chen S, Shao Q, Chen J, Lv X, Ji J, Liu Y, et al. Bile acid signalling and its role in anxiety disorders. *Front Endocrinol.* 2023; 14:1268865. doi: 10.3389/fendo.2023.1268865
51. Hashimoto K. Gut-microbiota-brain axis by bile acids in depression. *Psychiat Clin Neurosci.* 2022; 76(7):281. doi: 10.1111/pcn.13370
52. Li S, Hua D, Wang Q, Yang L, Wang X, Luo A, et al. The role of bacteria and its derived metabolites in chronic pain and depression: Recent findings and research progress. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2020; 23(1):26-41. doi: 10.1093/ijnp/pty061
53. Praveenraj SS, Sonali S, Anand N, Tousif HA, Vichitra C, Kalyan M, et al. The role of a gut microbial-derived metabolite, trimethylamine N-oxide (TMAO), in neurological disorders. *Mol Neurobiol.* 2022; 59(11):6684-700. doi: 10.1007/s12035-022-02990-5
54. Obeid R, Awwad HM, Keller M, Geisel J. Trimethylamine-N-oxide and its biological variations in vegetarians. *Eur J Nutr.* 2017; 56:2599-609. doi: 10.1007/s00394-016-1295-9