



## Nutrición inmunomoduladora en la infancia

### *Immunomodulatory Nutrition in Childhood*

Jorge Sergio Torrescano Borboa<sup>1</sup>, Isabela Euán Bojórquez<sup>2</sup>, Israel García-Aguilar<sup>3</sup>, Nereida Montes-Castro<sup>4\*\*</sup>

1. Programa Educativo Ciencias Biomédicas, Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Occidente, México.
3. Programa Educativo Ciencias Biomédicas, Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Occidente, México.
4. Unidad de Investigaciones en Biotecnología Biomédica, Universidad Autónoma de Occidente, México.
5. Unidad de Investigaciones en Biotecnología Biomédica, Universidad Autónoma de Occidente, México

\*\*Correspondencia: [nereida.montes@uadeo.mx](mailto:nereida.montes@uadeo.mx)

Palabras claves	RESUMEN
Inmunidad Alimentación inmunomoduladora Nutrientes Fitoquímicos	<p><b>Introducción:</b> El sistema inmune es una red compuesta por varias células y moléculas que responden de manera conjunta contra antígenos exógenos y endógenos. Actualmente, las enfermedades infecciosas siguen siendo una problemática de salud pública, afectando principalmente a la población inmunológicamente vulnerable que incluye a los infantes, por lo que se destaca la importancia de buscar el fortalecimiento del sistema inmune mediante una alimentación adecuada. <b>El objetivo</b> de este trabajo es hacer una revisión de alimentos con potencial inmunomodulador, describiendo sus nutrientes y compuestos bioactivos, y presentar ejemplos de alimentos que los contienen, demostrando la importancia de su implementación en la dieta a una edad temprana. <b>Resultados:</b> Se describió la función de diversos nutrientes, vitaminas y minerales, omega 3 y glutamina, así como de compuestos fenólicos en el sistema inmune. También se destacó el rol de los probióticos sobre la inmunidad intestinal, relacionando a la microbiota como un componente esencial en el sistema inmune. Se presentaron alimentos como la cebolla, el ajo, la manzana, la papaya, entre otras frutas y verduras comunes en el país. <b>Conclusiones:</b> Los micronutrientes y compuestos bioactivos tienen la capacidad de modular el sistema inmunológico. Una nutrición adecuada es esencial para el desarrollo correcto del sistema inmune y es fundamental en la infancia, quienes poseen un sistema en desarrollo.</p>
Keywords	ABSTRACT
Immunity Immunonutrition Nutrients Phytochemicals	<p><b>Introduction:</b> The immune system is a network composed of various cells and molecules that respond collectively against exogenous and endogenous antigens. Currently, infectious diseases remain a public health problem, primarily affecting immunocompromised populations, including infants. Therefore, strengthening the immune system through proper nutrition is crucial. <b>The objective</b> of this work is to review foods with immunomodulatory potential, describing their nutrients and bioactive compounds, and presenting examples of foods that contain them, demonstrating the importance of incorporating them into the diet at an early age. <b>Results:</b> The function of various nutrients, such as vitamins and minerals, omega-3 fatty acids, and glutamine, as well as phenolic compounds, in the immune system was described. The role of probiotics in gut immunity was also highlighted, relating the gut microbiota to an essential component of the immune system. Foods such as onions, garlic, apples, papayas, and other common fruits and vegetables in the country were presented. <b>Conclusions:</b> Micronutrients and bioactive compounds can modulate the immune system. Adequate nutrition is essential for the proper development of the immune system and is crucial in childhood, when the immune system is still developing.</p>

## INTRODUCCIÓN

El sistema inmunitario está constituido por diversas células especializadas encargadas de proteger al organismo tanto frente a agentes exógenos como endógenos (Abbas y cols., 2022). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), a nivel global, las enfermedades infecciosas como la neumonía, la diarrea, la malaria y la sepsis, continúan siendo las principales causas de mortalidad en niños de entre un mes y nueve años (OMS, 2024). A pesar de los avances logrados mediante la vacunación, las medidas de higiene y el uso de antibióticos, que han reducido significativamente la incidencia de estas patologías, las enfermedades infecciosas aún representan aproximadamente un tercio de las defunciones en países en desarrollo y constituyen un riesgo importante para poblaciones vulnerables, entre las que se incluyen

los lactantes y los adultos mayores (Wiertsema y cols., 2021). En los niños pequeños, el sistema inmunitario se encuentra en proceso de maduración, lo que lo hace particularmente dependiente de una primera línea de defensa eficaz durante las primeras etapas de la vida (Pieren y cols., 2022). No obstante, su funcionamiento óptimo es altamente susceptible a factores externos, entre los que destaca la nutrición. Una ingesta adecuada de macronutrientes, micronutrientes (vitaminas y minerales) y compuestos bioactivos resulta esencial para el desarrollo y la actividad del sistema inmunitario. La desnutrición constituye la principal causa de morbimortalidad infantil a nivel mundial, al incrementar la susceptibilidad a infecciones y comprometer la respuesta inmunitaria (Morales y cols., 2024). El objetivo del presente artículo fue identificar alimentos con potencial inmunomodulador, describir sus principales nutrientes y compuestos bioactivos, y evidenciar su

relevancia en el fortalecimiento del sistema inmunitario, especialmente durante la edad temprana.

## DESARROLLO Y PARTICULARIDADES DEL SISTEMA INMUNITARIO EN LA INFANCIA

### Inmunidad innata en el niño pequeño

El sistema inmune innato representa la primera línea de defensa frente a microorganismos y otros agentes externos, constituye una respuesta rápida e inespecífica mediada por una amplia variedad de células efectoras, entre las que se incluyen granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos), macrófagos, células dendríticas, células *Natural Killer* (NK), así como diversos subconjuntos de células linfoides innatas (ILC, por sus siglas en inglés) que actúan de manera coordinada para la contención temprana de patógenos (Kim y cols., 2022). Las células del sistema inmune innato reconocen patrones moleculares característicos de los agentes patógenos (PAMPs, por sus siglas en inglés) por medio de receptores de reconocimiento patrón (PRR, por sus siglas en inglés) como la familia de *Toll-like receptors* (TLR) (Hachimura y cols., 2018).

Durante la infancia temprana, el sistema inmunitario es funcionalmente inmaduro y alcanza su competencia funcional entre los 7 y 10 años. Durante esta etapa, la inmunidad innata adquiere un papel crucial como principal barrera de defensa; las primeras exposiciones a microorganismos inducen una inmunidad entrenada, la cual genera una forma de memoria no específica que potencia la capacidad de respuesta frente a diversos patógenos. Dado que este sistema aún es inmaduro en las primeras fases posnatales, su eficacia depende en gran medida de los factores inmunitarios proporcionados por la madre (principalmente IgG transplacentaria e IgA de la leche materna), los cuales contribuyen a reforzar la protección temprana del lactante (Kloc y cols., 2020; Pieren y cols., 2022).

### Inmunidad adaptativa y memoria inmunológica en la infancia

El sistema inmune adaptativo constituye un mecanismo altamente específico de reconocimiento antigénico, mediado principalmente por linfocitos T y B. Aunque su activación es más lenta que la de la inmunidad innata, induce una respuesta extremadamente específica frente a los patógenos y establece la memoria inmunológica para potenciar la protección en exposiciones futuras al mismo patógeno (Hachimura y cols., 2018).

En recién nacidos y durante el desarrollo infantil, la inmunidad adaptativa se encuentra funcionalmente inmadura. Los linajes de células T CD4<sup>+</sup> y CD8<sup>+</sup>

comienzan a establecerse alrededor de la semana 15 de la gestación; sin embargo, las células T maduras neonatales muestran un fenotipo más tolerogénico e hiporresponsivo frente a los antígenos. En cuanto al desarrollo de las células B, durante los primeros meses de vida una proporción considerable de las células B circulantes corresponde al subtipo B-1, caracterizado por la secreción de IgM “natural” de baja afinidad que gradualmente son reemplazadas por células B-2 convencionales a medida que el sistema inmune madura (Kloc y cols., 2020; Pieren y cols., 2022).

### El sistema inmune intestinal

El intestino está recubierto por un epitelio monoestratificado compuesto por diversos tipos celulares que mantienen la homeostasis intestinal. Entre estas se encuentran los enterocitos, que absorben nutrientes, las células madre que regeneran el tejido, las células de Paneth secretoras de péptidos antimicrobianos, las células caliciformes que producen moco, las células M, las células en cepillo y las células enteroendocrinas (Reyes-Pavón y cols., 2020). El sistema inmune intestinal se conforma por el tejido linfóide asociado al intestino (GALT, por sus siglas en inglés), así como las placas de Peyer encontradas en el intestino delgado. Además, también de la presencia de linfocitos y nódulos linfáticos mesentéricos (Hachimura y cols., 2018). Las células especializadas en respuesta inmune están ubicadas en la lámina propia, debajo de la barrera epitelial e incluyen células dendríticas, macrófagos, linfocitos intraepiteliales, linfocitos T reguladores, linfocitos T colaboradores, linfocitos B y células plasmáticas (Reyes-Pavón y cols., 2020). El objetivo y la característica principal de la respuesta inmune intestinal es la inducción de la tolerancia oral, entendida como el estado de tolerancia inmunológica generado tras la ingestión de antígenos proteicos alimentarios y considerado un mecanismo fundamental para prevenir la alergia alimentaria. Otra función clave es la producción de IgA, cuya secreción en la mucosa intestinal contribuye a impedir la invasión de microorganismos patógenos y toxinas, además de participar en la regulación de la microbiota. Asimismo, la inducción de linfocitos T reguladores y de linfocitos Th17 es distintiva del ambiente intestinal: mientras los Treg suprimen respuestas inflamatorias y favorecen la tolerancia, las células Th17 fortalecen la integridad de la barrera mucosa y la defensa frente a patógenos extracelulares (Hachimura y cols., 2018).

## MALNUTRICIÓN INFANTIL Y SUS EFECTOS SOBRE LA INMUNIDAD

La malnutrición es definida como un desequilibrio en la ingesta de nutrientes o una alteración en los procesos de utilización de estos. Incluye tanto la desnutrición como la sobrealimentación, como el sobrepeso y la obesidad, las deficiencias de micronutrientes y las enfermedades no transmisibles relacionadas con la dieta (Raczyńska y cols., 2025). La desnutrición, se describe como una condición patológica resultante del aprovechamiento insuficiente de los nutrientes esenciales. Por otra parte, el sobrepeso y la obesidad se deben a una serie de factores como el consumo excesivo de alimentos poco nutritivos, la falta de ejercicio, genética y afecciones médicas (Morales y cols., 2024).

La desnutrición infantil es una problemática mundial que abarca una compleja interacción entre nutrición inadecuada, pobreza y diferencias sociales. Los efectos de la desnutrición también impactan al sistema inmune, los niños desnutridos son más susceptibles a las infecciones, ya que la deficiencia de nutrientes necesarios como las vitaminas, minerales y compuestos bioactivos son esenciales para mantener la función inmunitaria. De la misma manera, un índice de masa corporal elevado y la grasa abdominal aumentan la susceptibilidad a las infecciones y alteran la respuesta inmunitaria (Araujo-Pulido, 2009; Morales y cols., 2024). En individuos con desnutrición se observa una inhibición en el desarrollo del sistema inmune y con ello una respuesta inmune alterada, particularmente dada ante una reducción de la ingesta de micronutrientes (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016).

## NUTRIENTES CRÍTICOS PARA LA FUNCIÓN INMUNITARIA EN LA INFANCIA

En años recientes se ha investigado el papel de los micronutrientes sobre el sistema inmune, como el hierro, el cobre, el zinc, y las vitaminas, sobre todo las liposolubles (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016), en la **tabla 1** se ven resumidas sus funciones.

La vitamina A es esencial para el mantenimiento de la inmunidad intestinal, y su deficiencia se ha asociado con alteración de la barrera epitelial, mayor susceptibilidad a infecciones entéricas, diarrea persistente y ceguera nocturna (nictalopía). Estos efectos se deben a que su ausencia compromete la integridad de la mucosa epitelial, dificulta la regeneración de la barrera dañada por la inflamación y reduce la resistencia a infecciones por diversos patógenos (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016; Hachimura y cols., 2018). Este micronutriente se obtiene principalmente a partir de la dieta como

retinoides preformados o provitamina A (carotenoides). Una vez absorbida, se transporta como un complejo con la proteína de unión a retinol y transtiretina. En el hígado, el retinol se esterifica a ésteres de retinilo y se almacena en las células estrelladas; posteriormente, en otros tejidos se metaboliza nuevamente a retinol (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016). En el tejido linfóide asociado al intestino (GALT), las células dendríticas y algunos macrófagos metabolizan el retinol a ácido retinoico, lo que induce en los linfocitos la expresión de la integrina  $\alpha 4\beta 7$  y del receptor de quimiocinas CCR9, además promueve la diferenciación de células B a plasmáticas secretoras de IgA y facilita la migración de células linfoides innatas (ILC) al intestino (Hachimura y cols., 2018). De esta forma, la vitamina A ejerce una acción inmunomoduladora en funciones fundamentales del sistema inmune, tanto en la inmunidad innata como en la respuesta humoral mediada por anticuerpos, además de participar en la diferenciación epitelial y en la regulación de la expresión génica (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016; Hachimura y cols., 2018).

La vitamina E posee una destacada actividad antioxidante que protege a las membranas celulares del daño inducido por radicales libres y de la peroxidación lipídica. Además, se ha demostrado que optimiza la respuesta inmunitaria al modular funciones tanto innatas como adaptativas (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016). Su deficiencia se ha asociado con una disminución en la producción de anticuerpos, una menor capacidad fagocítica y una proliferación reducida de células T tras estimulación mitogénica (Hachimura y cols., 2018). La suplementación con vitamina E fortalece las respuestas celulares y humorales, atenúa la secreción de citocinas proinflamatorias como IL-6 y TNF- $\alpha$ , promueve la activación de vías antiinflamatorias y preserva la integridad de las membranas mucosas, lo que sugiere un rol protector en la reducción del riesgo de infecciones respiratorias (Lewis y cols., 2019).

De manera análoga, la vitamina C exhibe propiedades antioxidantes que favorecen la función de linfocitos y fagocitos, contribuyendo a acortar la duración de las infecciones respiratorias. Ambos nutrientes, al mitigar el estrés oxidativo y modular vías inmunes clave, representan aliados complementarios en la prevención y manejo de desregulaciones inmunitarias asociadas a deficiencias nutricionales (Raczyńska y cols., 2025; Carr & Maggini, 2017).

La vitamina D<sub>3</sub> (colecalfiferol) se sintetiza en la piel por acción de la radiación UVB sobre el 7-dehidrocolesterol o se obtiene de fuentes dietéticas y suplementos (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016). A nivel inmunológico, la vitamina D modula la secreción de diversas citocinas: favorece la producción de IL-4, IL-5 e

IL-10, mientras que inhibe la secreción de IL-12, IL-6 y TNF- $\alpha$  (Raczyńska y cols., 2025). Además, ejerce efectos directos sobre macrófagos, células dendríticas y linfocitos T y B, modulando tanto la inmunidad innata como la adaptativa. Se ha documentado que múltiples células del sistema inmunitario expresan receptores para la vitamina D (con excepción de los linfocitos B), aspecto fundamental para su acción reguladora (Chun y cols., 2014). La vitamina D participa en procesos de proliferación y diferenciación celular, incluyendo la diferenciación de monocitos a macrófagos, y limita la maduración de las células dendríticas, favoreciendo así un perfil de citocinas y una polarización hacia respuestas de tipo Th2. En consecuencia, la deficiencia de vitamina D se asocia con mayor susceptibilidad a infecciones (especialmente respiratorias y virales), aumento del riesgo de enfermedades autoinmunes (lupus eritematoso sistémico, esclerosis múltiple, diabetes mellitus tipo 1, artritis reumatoide) y mayor incidencia de patologías cardiovasculares y óseas (Seguro-Gurrutxaga y cols., 2016; Holick, 2017; Martens y cols., 2020).

Entre los micronutrientes con impacto inmunológico destacan el hierro, el zinc y el selenio. El hierro es esencial para numerosos procesos enzimáticos implicados en la respuesta inmune, incluyendo la actividad de la ribonucleótido reductasa (replicación del ADN), citocromos (respiración mitocondrial), peroxidasas y catalasa. En el organismo humano, la mayor parte del hierro corporal se obtiene mediante el reciclaje de eritrocitos senescentes, mientras que una fracción menor proviene de la dieta, principalmente a través del consumo de carnes rojas (hierro hemínico) o de fuentes vegetales (hierro no hemínico). Este micronutriente es indispensable para la eritropoyesis, la respiración mitocondrial, la replicación y reparación del ADN, así como para la generación de energía a nivel celular (Aguilera Batista & Miló, 2024).

La disponibilidad de hierro regula tanto la inmunidad innata como la adaptativa. Los macrófagos restringen el hierro extracelular durante la infección mediante la secreción de hepcidina, limitando así el crecimiento de patógenos siderófilos. La deficiencia de hierro altera la secreción de diversas citocinas y se ha asociado con un incremento en la producción de radicales libres, lo que favorece el estrés oxidativo. Además, su déficit se asocia clínicamente con mayor incidencia y gravedad de infecciones respiratorias y gastrointestinales, especialmente en niños y mujeres en edad fértil (Seguro-Gurrutxaga y cols., 2016; Pasricha y cols., 2021). Por otra parte, tanto el zinc como el selenio cumplen funciones relevantes en la modulación de la inmunidad innata y adaptativa, contribuyendo a la regulación del estrés oxidativo y a la maduración y

función de linfocitos y células fagocíticas (Gómez & Killilea, 2021).

El zinc es un oligoelemento esencial que actúa como cofactor en numerosas enzimas, y su participación resulta clave para la síntesis de proteínas, ADN y ARN. Este micronutriente desempeña un papel central en el sistema inmunitario: entre sus funciones se encuentra la mejora de la actividad de células NK, así como la maduración y función de linfocitos T (Raczyńska y cols., 2025). Además, el zinc contribuye a la defensa celular frente al estrés oxidativo mediado por especies reactivas de oxígeno (ROS), estabilizando membranas y facilitando la función normal de fagocitos y células inmunes.

La deficiencia de zinc (incluso marginal) produce rápidamente atrofia tímica, linfopenia, reducción drástica de la respuesta Th1 (IFN- $\gamma$ , IL-2), menor actividad NK y fagocítica, aumento de infecciones respiratorias y diarrea, y mayor riesgo de sepsis. Clínicamente, constituye una de las inmunodeficiencias adquiridas más frecuentes a nivel mundial y se asocia con mayor morbimortalidad infantil (Seguro-Gurrutxaga y cols., 2016; Hachimura y cols., 2018; Wessels y cols., 2021; Gombart y cols., 2020).

El selenio es un micronutriente esencial que se incorpora como selenocisteína en al menos 25 selenoproteínas humanas, entre las que destacan las glutatión peroxidasas (GPX1, GPX4), tioredoxina reductasas (TXNRD1–3) y la yodotironina deiodinasa. Los tejidos con mayor contenido de selenio son el músculo esquelético (~45%), hígado, riñón y glándula tiroides (Seguro-Gurrutxaga y cols., 2016; Avery & Hoffmann, 2018). Es un micronutriente esencial tanto para el sistema inmune innato y el adaptativo, desempeña funciones críticas al mantener la capacidad redox de linfocitos, neutrófilos y macrófagos mediante la actividad de GPX4 y TXNRD1, potencia la proliferación y diferenciación de linfocitos T activados favoreciendo la respuesta Th1 y la producción de IFN- $\gamma$ , incrementa la afinidad de los anticuerpos y la generación de células plasmáticas, mejora la actividad citotóxica de las células NK y la capacidad microbicida de los neutrófilos, y resulta esencial para la replicación eficiente de ciertos virus; paradójicamente, la deficiencia de selenio aumenta la tasa de mutación y la virulencia de algunos virus RNA, como el coxsackievirus o el virus de la influenza (Seguro-Gurrutxaga y cols., 2016; Avery & Hoffmann, 2018; Hoffmann & Berry, 2008; Rayman, 2020). Además, la insuficiencia de selenio se ha relacionado con una baja activación de linfocitos, lo que lleva a una baja respuesta inmune celular y de producción de anticuerpos, y con un incremento en la producción de ROS por neutrófilos y macrófagos, lo que favorece un

ambiente prooxidante y una menor eficiencia en mecanismos antimicrobianos (Hachimura y cols., 2018; Beck y cols., 2001).

Otros nutrientes que han sido ampliamente estudiados por su papel inmunomodulador y las consecuencias de su deficiencia son ciertos aminoácidos, como la glutamina, y los ácidos grasos poliinsaturados, en particular los omega-3. La glutamina es un aminoácido considerado no esencial en condiciones fisiológicas basales, aunque se vuelve condicionalmente esencial durante situaciones de estrés metabólico, inflamación o infección. Su función central es suministrar nitrógeno al organismo y participar en procesos como la homeostasis ácido-base, la gluconeogénesis, el transporte de nitrógeno y la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos. En el sistema inmune, la glutamina desempeña un papel crítico: los linfocitos, macrófagos y células epiteliales intestinales la utilizan en grandes cantidades como fuente energética durante la activación, proliferación y diferenciación (Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016; Newsholme, 2001). Su disponibilidad adecuada es esencial para mantener la integridad de la barrera intestinal, por lo que su deficiencia puede ocasionar ulceraciones, atrofia de las vellosidades y aumento de la permeabilidad intestinal, con la consecuente disrupción de la respuesta inmune mucosal (Raczyńska y cols., 2025; Kim & Kim, 2017). Clínicamente, la suplementación con glutamina (0.3–0.5 g/kg/día) atenúa estos efectos, reduciendo infecciones nosocomiales y mejorando la recuperación mucosal en pacientes quirúrgicos o con lesión intestinal (De-Souza & Greene, 2005).

El omega-3 incluye al ácido eicosapentaenoico (EPA), el ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido alfa-linolénico (ALA), los cuales forman parte estructural de las membranas celulares y participan en procesos de transporte y señalización. Entre sus principales mecanismos de acción se encuentran la inhibición de la producción de eicosanoides proinflamatorios y la modulación negativa de la activación de NF- $\kappa$ B (Raczyńska y cols., 2025). En consecuencia, la ingesta adecuada de omega-3 se asocia con una reducción de enfermedades relacionadas con respuestas inflamatorias exacerbadas, como la artritis reumatoide (Hachimura y cols., 2018).

Los ácidos grasos omega-3 (EPA, DHA y ALA) se incorporan activamente a las membranas de las células inmunes, donde sirven como precursores de mediadores lipídicos con propiedades inmunomoduladoras, regulando la inflamación sin comprometer de manera significativa la defensa del huésped. En macrófagos, disminuyen la producción de citocinas proinflamatorias como TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  e IL-6;

inhiben la activación del inflammasoma, promueven un fenotipo antiinflamatorio M2, y potencian la capacidad fagocítica. En neutrófilos, regulan su migración y pueden favorecer la eliminación de patógenos. En células T, reducen la activación y la diferenciación hacia perfiles proinflamatorios Th1/Th17, al tiempo que favorecen la expansión de poblaciones reguladoras. En células B, atenúan la activación excesiva, aunque pueden aumentar la producción de IgM. Además, disminuyen la activación de células dendríticas, mastocitos y basófilos, y reducen la infiltración eosinofílica, contribuyendo de manera integral a una respuesta inmunitaria más controlada y menos dañina para los tejidos (Gutiérrez y cols., 2019). Por consiguiente, los omega-3 representan una intervención nutricional estratégica para mitigar desregulaciones inflamatorias en autoinmunidad y enfermedades crónicas, con potencial sinérgico en terapias convencionales.

## PROBIÓTICOS Y MICROBIOTA INTESTINAL COMO MODULADORES INMUNITARIOS EN LA INFANCIA

Un componente fundamental del sistema inmunológico es la microbiota intestinal. Esta comunidad microbiana puede modularse mediante el uso de probióticos, definidos como microorganismos vivos que, cuando se administran por vía oral en cantidades adecuadas, confieren beneficios a la salud del huésped. Dentro de este grupo se incluyen diversas cepas bacterianas, como *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus* y *Bifidobacterium* (Zimmermann & Wagner, 2021). El efecto inmunomodulador de los probióticos, especialmente de las bacterias ácido-lácticas y de *Bifidobacterium*, ha sido ampliamente documentado. Diversos estudios demuestran que estas cepas pueden estimular las respuestas humorales mediante el aumento de la producción de IgA e IgG. La inducción de IgA es particularmente relevante, ya que fortalece la inmunidad de la mucosa intestinal y contribuye a prevenir la invasión de patógenos a través de la barrera epitelial. Además, los probióticos ejercen efectos positivos sobre la actividad de las células NK; varias bacterias ácido-lácticas promueven la producción de IL-12, citocina que potencia la función citotóxica de estas células efectoras (Hachimura y cols., 2018). Ensayos clínicos recientes confirman reducciones en la incidencia de infecciones respiratorias y gastrointestinales con suplementación probiótica, subrayando su potencial sinérgico con nutrientes como omega-3 para una resolución inflamatoria óptima (Kallur y cols., 2024).

## COMPUESTOS BIOACTIVOS DE ORIGEN VEGETAL CON ACTIVIDAD INMUNOMODULADORA

Los fitoquímicos son sustancias que se encuentran en los alimentos y en las bebidas de origen vegetal. Son

biológicamente activos y no se consideran como nutrientes esenciales para la vida. Los compuestos bioactivos se pueden clasificar en tres grandes grupos: terpenoides (carotenoides, capsaicina, fitoesteroides), compuestos fenólicos (antocianinas, catequinas, flavonoides, isoflavonas, lignanos y taninos) y tioles (compuestos organosulfurados) (Urrialde y cols., 2022).

Los flavonoides constituyen una de las clases más estudiadas de polifenoles por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladoras. Dentro de este grupo, las antocianinas (pigmentos hidrosolubles responsables del color rojo, púrpura y azul de bayas, uvas, repollo morado y otros vegetales) destacan por su biodisponibilidad relativamente alta en forma de metabolitos fenólicos tras hidrólisis intestinal y conjugación hepática.

Estudios preclínicos y clínicos han demostrado que las antocianinas y sus metabolitos atenúan el daño inducido por dietas altas en grasa al preservar la integridad de la barrera intestinal (expresión de ZO-1 y ocludina), reducir la permeabilidad al LPS y disminuir la inflamación sistémica de bajo grado (Zimmermann & Wagner, 2021; Cremonini y cols., 2019).

En el ámbito inmunológico intestinal, la administración de cianidina-3-O-glucósido (C3G) en modelos murinos de colitis redujo significativamente la expresión de citocinas proinflamatorias (TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-1 $\beta$ ) y aumentó la producción de la quimiocina CCL22 (*macrophage-derived chemokine*) tanto en colon como en ganglios linfáticos mesentéricos. La elevada CCL22 favorece el reclutamiento de linfocitos T reguladores CCR4<sup>+</sup> Foxp3<sup>+</sup>, promoviendo tolerancia inmunitaria y resolución de la inflamación mucosal (Zimmermann & Wagner, 2021; Ferrari y cols., 2019). Este mecanismo sugiere un papel prometedor de las antocianinas en el manejo de enfermedades inflamatorias intestinales y alergias alimentarias.

Los tioles se encuentran en diversos vegetales, particularmente en miembros de la familia Brassicaceae como la col, la coliflor y el brócoli. Estos compuestos poseen una marcada actividad antioxidante, lo que les confiere la capacidad de atenuar el estrés oxidativo y contribuir al mantenimiento de la integridad celular (Lizárraga, 2017).

Dentro de los compuestos fenólicos, los ácidos fenólicos constituyen un grupo relevante y se clasifican en dos subcategorías principales: ácidos hidroxibenzoicos (por ejemplo, ácido vainílico y ácido gálico) y ácidos hidroxicinámicos (como el ácido ferúlico).

Los ácidos hidroxibenzoicos presentan efectos antiinflamatorios bien documentados. El ácido vainílico disminuye los niveles de TNF- $\alpha$ , IL-6, COX-2, prostaglandina E2 y óxido nítrico en macrófagos peritoneales, mientras que el ácido gálico modula la activación de NF- $\kappa$ B y la producción de IL-6, además de favorecer el incremento de la población de linfocitos T reguladores.

Por su parte, los ácidos hidroxicinámicos se caracterizan por su potente actividad antioxidante. El ácido ferúlico reduce la producción de IL-1 $\beta$  e IL-6 en macrófagos, mientras que compuestos derivados de la curcumina han mostrado efectos inmunorreguladores, incluyendo la modulación de la diferenciación de células T, el fortalecimiento de la barrera intestinal y la regulación de la migración de neutrófilos (Zimmermann & Wagner, 2021).

En conjunto, estos compuestos actúan de manera sinérgica al disminuir el estrés oxidativo, reforzar las barreras epiteliales, modular la activación de diversas poblaciones celulares y regular la producción de citocinas. Su incorporación en la dieta favorece un microambiente inmunitario más estable y funcional, capaz de responder de forma eficaz frente a patógenos sin generar una inflamación descontrolada. En su conjunto, la evidencia disponible respalda el papel de los fitoquímicos como moduladores naturales del sistema inmunitario y subraya su potencial como coadyuvantes en la prevención de enfermedades asociadas con inflamación crónica y disfunción inmune.

## **ALIMENTOS INMUNOMODULADORES DE CONSUMO HABITUAL EN MÉXICO Y SU RELEVANCIA EN LA DIETA INFANTIL**

México cuenta con una extraordinaria biodiversidad agroalimentaria que asegura, especialmente entre marzo y septiembre, alta disponibilidad de frutas y hortalizas ricas en compuestos inmunomoduladores. Entre las frutas más consumidas en temporada primavera-verano destacan fresa, mango, papaya, piña, guayaba, cítricos (naranja, limón, toronja), guanábana, tamarindo y sandía; en hortalizas predominan aguacate, nopal, brócoli, coliflor, espinaca, jitomate, cebolla, ajo, zanahoria, pepino y chile (SIAP-SADER, 2024).

En un estudio realizado por Enríquez y cols. (2023) se identificaron los componentes bioactivos presentes en diversas frutas, vegetales y plantas medicinales, así como sus posibles efectos preventivos frente a enfermedades. Entre los vegetales evaluados se incluyen cebolla, ajo, tomate, brócoli, espinaca, pimiento, papa, zanahoria y cúrcuma, mientras que en el grupo de frutas se analizaron ciruela, manzana,

guayaba, pera, limón y naranja. El estudio también incorporó un apartado dedicado a productos lácteos, destacando el papel de los probióticos presentes en el yogur y los péptidos derivados del queso, los cuales mostraron actividad inmunomoduladora. Asimismo, se evaluaron plantas medicinales como toronjil, ortiga, paico y hierba luisa, tradicionalmente utilizadas por sus propiedades terapéuticas.

La dieta mexicana, por tanto, ofrece una combinación natural y culturalmente aceptada de prebióticos, probióticos y fitoquímicos inactivo que puede contribuir de manera significativa a la inmunomodulación en la infancia. En este contexto, la **Tabla 2** resume los principales alimentos de temporada, sus componentes bioactivos más relevantes y los efectos inmunomoduladores asociados a su consumo.

## EVIDENCIA CLÍNICA DE INTERVENCIONES NUTRICIONALES INMUNOMODULADORAS EN NIÑOS

La infancia constituye uno de los grupos demográficos más inmunológicamente vulnerables. El sistema inmune depende de múltiples componentes celulares y bioquímicos, y su funcionalidad está fuertemente modulada por factores dietéticos (Morales y cols., 2024). Durante los primeros años de vida el sistema inmune se desarrolla y madura progresivamente; por ello, acompañarlo de una alimentación adecuada y nutritiva es esencial para asegurar el desarrollo óptimo de la respuesta inmunitaria, por lo que una alimentación equilibrada rica en macronutrientes, micronutrientes (vitaminas A, D, zinc) y compuestos bioactivos (prebióticos, polifenoles) es crucial para optimizar la colonización microbiana intestinal, la producción de IgA secretora y la diferenciación de linfocitos T reguladores, reduciendo así el riesgo de infecciones y alergias a largo plazo (van Neerven y cols., 2025; Wessels y cols., 2023). Esta modulación nutricional no solo fortalece la inmunocompetencia en fases vulnerables, sino que también previene desregulaciones crónicas en la adultez.

Los micronutrientes, como se mencionó previamente, son esenciales para el desarrollo, la maduración y el funcionamiento adecuado de los componentes del sistema inmunitario. La evidencia disponible muestra que la suplementación con vitamina A ejerce beneficios significativos sobre la salud infantil, particularmente al reducir la morbilidad y mortalidad asociadas al sarampión agudo en lactantes y niños pequeños. Asimismo, se ha documentado su papel en la mejoría de enfermedades diarreicas en población preescolar de países en desarrollo, así como en la reducción de la incidencia y gravedad de infecciones respiratorias

agudas, malaria, tuberculosis e infecciones en mujeres embarazadas. Por su parte, la vitamina E ha demostrado potenciar parámetros clave de la inmunidad celular: mejora la proliferación linfocitaria, incrementa la producción de IL-2, fortalece la actividad citotóxica de las células NK y aumenta la capacidad fagocítica de los macrófagos alveolares. De manera similar, la suplementación con zinc ha mostrado ser efectiva en el tratamiento y prevención de enfermedades que cursan con diarrea severa, infecciones del tracto respiratorio y leishmaniosis, particularmente en poblaciones vulnerables (Meydani y cols., 2005; Prasad, A. S., 2008; Segurola-Gurrutxaga y cols., 2016; Sommer, A., & Vitoria, M., 2016).

Respecto al uso de probióticos, Kelishadi y colaboradores evaluaron los efectos antiinflamatorios de un suplemento que combinaba *Lactobacillus* spp. y fructooligosacáridos en niños y adolescentes con sobrepeso y obesidad. El tratamiento se asoció con una disminución significativa de TNF- $\alpha$  e IL-6, junto con un aumento en los niveles de adiponectina, lo que sugiere una mejora en el perfil inflamatorio sistémico. El género *Lactobacillus* desempeña un papel clave en la inmunomodulación de la mucosa intestinal. En un ensayo clínico realizado en niños con desnutrición en Etiopía, la administración regular del probiótico se asoció con un incremento en las poblaciones de células inmunitarias, reflejando una mejoría funcional del sistema inmune. Adicionalmente, una dosis administrada al menos dos veces al mes fue suficiente para reducir la intolerancia a la lactosa y la incidencia de diarrea en esta población pediátrica (Morales y cols., 2024).

## CONCLUSIONES

La nutrición influye de manera directa en el funcionamiento del sistema inmune, ya que los nutrientes y compuestos bioactivos presentes en los alimentos pueden estimular o atenuar la respuesta inmune. En la infancia, una adecuada alimentación es esencial para la formación y el mantenimiento de un sistema inmunitario competente. Sin embargo, problemas de malnutrición siguen siendo frecuentes en la población infantil y comprometen su capacidad de responder eficazmente frente a patógenos.

Durante los primeros años de vida, los infantes poseen un sistema inmune aún inmaduro que se encuentra en desarrollo continuo y expuesto de manera constante a agentes externos. En este contexto, una alimentación correcta implica asegurar el aporte suficiente de nutrientes indispensables para preservar la salud general y, particularmente en los niños, para apoyar un desarrollo óptimo. Esto resulta fundamental para que en

la edad adulta cuentan con un sistema inmunológico plenamente funcional y eficiente.

## REFERENCIAS

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2022). *Inmunología celular y molecular* (10.ª ed.). Elsevier España.
- Aguilera Batista, O., & Miló, C. (2024). El hierro y su relación con la inmunidad. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 33(1), 156–177.
- Araujo-Pulido, G. T. (2009). *Desnutrición infantil: Implicaciones y recomendaciones*. [https://www.insp.mx/images/stories/INSP/Docs/cts/cts\\_dic.pdf](https://www.insp.mx/images/stories/INSP/Docs/cts/cts_dic.pdf)
- Avery, J. C., & Hoffmann, P. R. (2018). Selenium, selenoproteins, and immunity. *Nutrients*, 10(9), Article 1203. <https://doi.org/10.3390/nu10091203>
- Beck, M. A., Handy, J., & Levander, O. A. (2001). Host nutritional status: The neglected virulence factor. *Nutrition Reviews*, 58(3), 69–77. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2001.tb06994.x>
- Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 9(11), 1211. <https://doi.org/10.3390/nu9111211>
- Cremonini, E., Daveri, E., Mastaloudis, A., Adamo, A. M., Mills, D., Kalanetra, K., Hester, S. N., Wood, S. M., Fraga, C. G., & Oteiza, P. I. (2019). Anthocyanins protect the gastrointestinal tract from high-fat diet-induced alterations in redox signaling, barrier integrity and inflammation. *Redox Biology*, 26, 101269. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101269>
- De la Rosa-Reyna, X. F., García-León, I., Hernández-Mendoza, J., Morales-Baquera, J., & Di Carlo Quiroz-Velásquez, J. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426374726001/html/>
- De-Souza, D. A., & Greene, L. J. (2005). Intestinal permeability and systemic infections in critically ill patients: Effect of glutamine. *Critical Care Medicine*, 33(5), 1125–1135. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000162680.52397.97>
- Enríquez, M., Villafuerte, F., & Figueroa, A. (2023). Efectos de los componentes bioactivos de frutas, vegetales, lácteos y plantas medicinales en la nutrición humana. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*, 6(11), 2–24. <https://doi.org/10.56124/allpa.v6i11.0055>
- Ferrari, D., Cimino, F., Fratantonio, D., Molonia, M. S., Bashllari, R., Busa, R., Saija, A., & Speciale, A. (2019). Cyanidin-3-O-glucoside modulates the in vitro inflammatory crosstalk between intestinal epithelial and endothelial cells. *Mediators of Inflammation*, 2019, Article 7134509. <https://doi.org/10.1155/2019/7134509>
- Gombart, A. F., Pierre, A., & Maggini, S. (2020). A review of micronutrients and the immune system: Working in harmony to reduce the risk of infection. *Nutrients*, 12(1), Article 236. <https://doi.org/10.3390/nu12010236>
- Gobierno de México. (s.f.). *Frutas y verdura de temporada, sabor, nutrición y calidad*. <https://www.gob.mx/agricultura/sonora/articulos/frutas-y-verdura-de-temporada-sabor-nutricion-y-calidad-196984?idiom=es>
- Gómez, N. N., & Killilea, D. W. (2021). Zinc and selenium: Critical micronutrients for immune function and oxidative balance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 24(6), 588–594. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000798>
- Hachimura, S., Totsuka, M., & Hosono, A. (2018). Immunomodulation by food: Impact on gut immunity and immune cell function. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1433017>
- Hoffmann, P. R., & Berry, M. J. (2008). The influence of selenium on immune responses. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52(11), 1273–1280. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700330>
- Holick, M. F. (2017). The vitamin D deficiency pandemic: Approaches for diagnosis, treatment and prevention. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 18(2), 153–165. <https://doi.org/10.1007/s11154-017-9424-1>
- Hyun, T. K., & Jang, K. (2016). Apple as a source of dietary phytonutrients: An update on the potential health benefits of apple. *EXCLI Journal*, 15, 565–569. <https://doi.org/10.17179/excli2016-483>
- Kallur, R. K., Madapati, S., Mathur, A., & Bhattacharya, S. (2024). Probiotics, immunomodulation, and health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, Article 1310462. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1310462>
- Kim, J. H., Kim, D. H., Jo, S., Cho, M. J., Cho, Y. R., Lee, Y. J., & Byun, S. (2022). Immunomodulatory functional foods and their molecular mechanisms. *Experimental & Molecular Medicine*, 54, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s12276-022-00724-0>
- Kloc, M., Ghobrial, R. M., Kuchar, E., Lewicki, S., & Kubiak, J. Z. (2020). Development of child immunity in the context of COVID-19 pandemic. *Clinical Immunology*, 217, 108510. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2020.108510>
- Kobaek-Larsen, M., Deding, U., Al-Najami, I., Clausen, B., & Christensen, L. (2023). Carrot juice intake affects the cytokine and chemokine response in human blood after ex vivo lipopolysaccharide-

- induced inflammation. *Nutrients*, *15*, 5002.
- Lewis, E. D., Wu, D., Kim, H. B., Meydani, S. N., & Wu, D. (2019). Regulatory role of vitamin E in the immune system and inflammation. *IUBMB Life*, *71*(4), 430–440. <https://doi.org/10.1002/iub.1976>
- Lizárraga, E. (2017). Tioles: Relatos salvajes, urbanos y humanos. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/imagenes/revista/68\\_3/PDF/Tioles\\_relatos\\_salvajes,.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/imagenes/revista/68_3/PDF/Tioles_relatos_salvajes,.pdf)
- Martens, P.-J., Gysemans, C., Verstuyf, A., & Mathieu, C. (2020). Vitamin D's effect on immune function. *Nutrients*, *12*(5), Article 1248. <https://doi.org/10.3390/nu12051248>
- Meydani, S. N., Han, S. N., & Wu, D. (2005). Vitamin E and immune response in the aged: Molecular mechanisms and clinical implications. *Immunological Reviews*, *205*(1), 269–284. <https://doi.org/10.1111/j.0105-2896.2005.00274.x>
- Morales, F., Montserrat-de la Paz, S., Leon, M. J., & Rivero-Pino, F. (2024). Effects of malnutrition on the immune system and infection, and the role of nutritional strategies regarding improvements in children's health status: A literature review. *Nutrients*, *16*(1), 1. <https://doi.org/10.3390/nu16010001>
- Newsholme, P. (2001). Why is L-glutamine metabolism important to cells of the immune system in health, post-injury, surgery or infection? *Journal of Nutrition*, *131*(9 Suppl), 2515S–2522S. <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2515S>
- OMS. (2024). *Communicable diseases among children*. <https://www.who.int/teams/maternal-newborn-child-adolescent-health-and-ageing/child-health/communicable-diseases-among-children>
- Pasricha, S.-R., Tye-Din, J., Muckenthaler, M. U., & Swinkels, D. W. (2021). Iron deficiency. *The Lancet*, *397*(10270), 233–248. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32594-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32594-0)
- Peluso, I., Miglio, C., Morabito, G., Ioannone, F., & Serafini, M. (2015). Flavonoids and immune function in humans: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*, 383–395.
- Pieren, D. K. J., Boer, M. C., & De Wit, J. (2022). The adaptive immune system in early life: The shift makes it count. *Frontiers in Immunology*, *13*, 1031924. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1031924>
- Prasad, A. S. (2008). Zinc in human health: Effect of zinc on immune cells. *Molecular Medicine*, *14*(5–6), 353–357. <https://doi.org/10.2119/2008-00033.Prasad>
- Pyo, Y., Kwon, K., & Jung, Y. (2024). Anticancer potential of flavonoids: Their role in cancer prevention and health benefits. *Foods*, *13*, 2253.
- Raczyńska, A., Leszczyńska, T., Skotnicki, P., & Koronowicz, A. (2025). The impact of immunomodulatory components used in clinical nutrition—A narrative review. *Nutrients*, *17*(5), 752. <https://doi.org/10.3390/nu17050752>
- Rayman, M. P. (2020). Selenium intake, status, and health: A complex relationship. *Hormones*, *19*(1), 9–14. <https://doi.org/10.1007/s42000-019-00125-5>
- Reyes-Pavón, D., Jiménez, M., & Salinas, E. (2020). Fisiopatología de la alergia alimentaria. *Revista Alergia México*, *67*(1), 34–53. <https://doi.org/10.29262/ram.v67i1.731>
- Seguro-Gurrutxaga, H., Cárdenas-Lagranja, G., & Burgos-Peláez, R. (2016). Nutrientes e inmunidad. *Nutrición Clínica en Medicina*, *10*(1), 1–19. <https://www.aulamedica.es/nutricionclinicamedicina/pdf/5034.pdf>
- SIAP-SADER. (2024). *Atlas Agroalimentario 2024*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera – Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. [https://nube.siap.gob.mx/atlas\\_agroalimentario/](https://nube.siap.gob.mx/atlas_agroalimentario/)
- Singh, D., Bohra, J., Dubey, T., Shivahre, P., Singh, R., Singh, T., & Jaiswal, D. (2023). Common foods for boosting human immunity: A review. *Food Science & Nutrition*, *11*, 6761–6774.
- Sommer, A., & Vitoria, M. (2016). Vitamin A deficiency: Health, survival, and vision. *Food and Nutrition Bulletin*, *37*(1), 65–74. <https://doi.org/10.1177/0379572116629076>
- Srivastava, R., Jaiswal, N., Kharkwal, H., Dubey, N., & Srivastava, R. (2025). Phytomedical properties of *Carica papaya* for boosting human immunity against viral infections. *Viruses*, *17*, 271.
- Stephen, J., Manoharan, D., & Radhakrishnan, M. (2023). Immune boosting functional components of natural foods and its health benefits. *Food Production, Processing and Nutrition*, *5*, 1–25.
- Urrialde, R., Gómez-Cifuentes, A., Pintos, B., Gómez-Garay, M. A., & Cifuentes, B. (2022). Compuestos bioactivos de origen vegetal: Desarrollo de nuevos alimentos. *Nutrición Hospitalaria*, *39*(spe3), 8–11. <https://doi.org/10.20960/nh.04302>
- van Neerven, R. J. J., Savelkoul, H. F. J., & Teodorowicz, M. (2025). Macronutrients, micronutrients, and malnutrition: Effects of nutrition on immune function in infants and young children. *Nutrients*, *17*(9), 1469. <https://doi.org/10.3390/nu17091469>
- Wessels, I., Maywald, M., & Rink, L. (2021). Zinc as a gatekeeper of immune function. *Nutrients*, *13*(8), Article 2838. <https://doi.org/10.3390/nu13082838>
- Wiertsema, S. P., Van Bergenhenegouwen, J., Garsen, J., & Knippels, L. M. J. (2021). The interplay between the gut microbiome and the immune system in the context of infectious diseases throughout life and the role of nutrition in optimizing treatment strategies. *Nutrients*, *13*(3), 886. <https://doi.org/10.3390/nu13030886>
- Zebeaman, M., Tadesse, M. G., Bachheti, R. K., Bachheti, A., Gebeyhu, R., & Chaubey, K. K.

(2023). Plants and plant-derived molecules as natural immunomodulators. *BioMed Research International*, 2023, 7711297. <https://doi.org/10.1155/2023/7711297>  
 Zimmermann, C., & Wagner, A. E. (2021). Impact of food-derived bioactive compounds on intestinal immunity. *Biomolecules*, 11(12), 1901. <https://doi.org/10.3390/biom11121901>

**Contribución de los autores.**

Conceptualización, J. T.-B., I. E.-B. y I. G.-A.; análisis formal, J. T.-B., I. E.-B., I. G.-A. y N. M.-C.; investigación, J. T.-B. y I. E.-B.; redacción: borrador original, J. T.-B., I. E.-B., I. G.-A. y N. M.-C.; redacción: revisión y edición, J. T.-B., I. E.-B., I. G.-A. y N. M.-C. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento.**

El presente trabajo no obtuvo financiamiento del sector público o privado para su realización.

**Tablas**

**Tabla 1.** Efectos de los nutrientes y micronutrientes en los componentes del sistema inmunológico.

Nutriente	Efectos sobre el sistema inmune	Efectos de su deficiencia
Vitamina A	Esencial para la diferenciación del tejido epitelial, estimula la producción de IgA.	Nictalopía, diarrea crónica, alteración de la integridad de la mucosa epitelial.
Vitamina E	Antioxidante que protege membranas; mejora la respuesta humoral y celular; reduce citocinas proinflamatorias.	Reducción de anticuerpos, menor función de células T y disminución de la actividad fagocítica.
Vitamina D	Modula citocinas; regula la actividad de macrófagos, DCs y linfocitos; favorece respuestas Th2.	Mayor riesgo de infecciones y alteración de la inmunidad innata y adaptativa.
Hierro	Participa en la producción de energía, respiración celular y síntesis de ADN; influye en la secreción de citocinas y función inmunitaria.	Aumento del estrés oxidativo, mayor incidencia de infecciones respiratorias y gastrointestinales y alteración inflamatoria.
Zinc	Aumento del estrés oxidativo, mayor incidencia de infecciones respiratorias y gastrointestinales y alteración inflamatoria.	Inmunodeficiencia, menor actividad de NK y fagocitos, y disminución de proliferación de linfocitos.

Selenio	Potente antioxidante; esencial para activar linfocitos y mantener la respuesta inmune celular y humoral.	Reducción de anticuerpos, baja activación de linfocitos y aumento de ROS en células inmunes.
Glutamina	Fuente de energía para linfocitos, macrófagos y epitelio intestinal; necesaria para proliferación inmune.	Daño intestinal, aumento de permeabilidad y menor proliferación de células del sistema inmune.
Omega 3	Disminuye mediadores proinflamatorios y la activación de NF-κB; regula inflamación sistémica.	Mayor predisposición a procesos inflamatorios crónicos.

**Tabla 2.** Componentes bioactivos de frutas y verduras.

Frutas y verduras	Componente bioactivo	Efecto sobre el sistema inmune	Referencia
Cebolla	Compuestos sulfurados	Actividad antioxidante y moduladora de células inmunes	(Singh y cols., 2023)
Tomate	Lycopeno y carotenoides	Antioxidante y antiinflamatorio; modulación de NF-κB	(Pyo y cols., 2024)
Pepino	Cucurbitacinas	Inhibición de vías inflamatorias	(Singh y cols., 2023)
Zanahoria	Falcarinol / falcarindiol	Reducción de citocinas proinflamatorias tras estímulo LPS	(Kobaek-Larsen y cols., 2023)
Espinaca	Luteína, zeaxantina	Antioxidante; apoyo inmunitario	(Singh y cols., 2023)
Aguacate	Fitoesteroles, acetogeninas	Propiedades antiinflamatorias	(Stephen y cols., 2023)
Ajo	Alicina y organosulfurados	Estímulo de NK, macrófagos; inmunomodulación	(Singh y cols., 2023)
Mango	Mangiferina, polifenoles	Reducción de inflamación y modulación de señalización	(Srivastava y cols., 2025)
Fresa	Antocianinas, ácido elágico	Reducción de citocinas inflamatorias	(Pyo y cols., 2024)
Naranja	Hesperidina y naringina	Antiinflamatorio y antioxidante	(Singh y cols., 2023)
Limón	D-limoneno	Activación de Nrf2; reducción de inflamatoria	(Singh y cols., 2023)
Piña	Bromelina	Modulación de citocinas; antiinflamatorio	(Pyo y cols., 2024)

<b>Tamarindo</b>	Proantocianidinas	Efectos antiinflamatorios	(Pyo y cols., 2024)
<b>Papaya</b>	Papaina, carotenoides, vitamina C	Actividad antiviral e inmunomoduladora	(Srivastava y cols., 2025)
<b>Manzana</b>	Quercetina, phloridzina	Antioxidante modulador de citocinas	(Peluso y cols., 2015)