

ALAN-VE ISSN 0004-0622
ISSN-e:2309-5806
Depósito Legal: pp 199602DF83

ALAN

A R C H I V O S

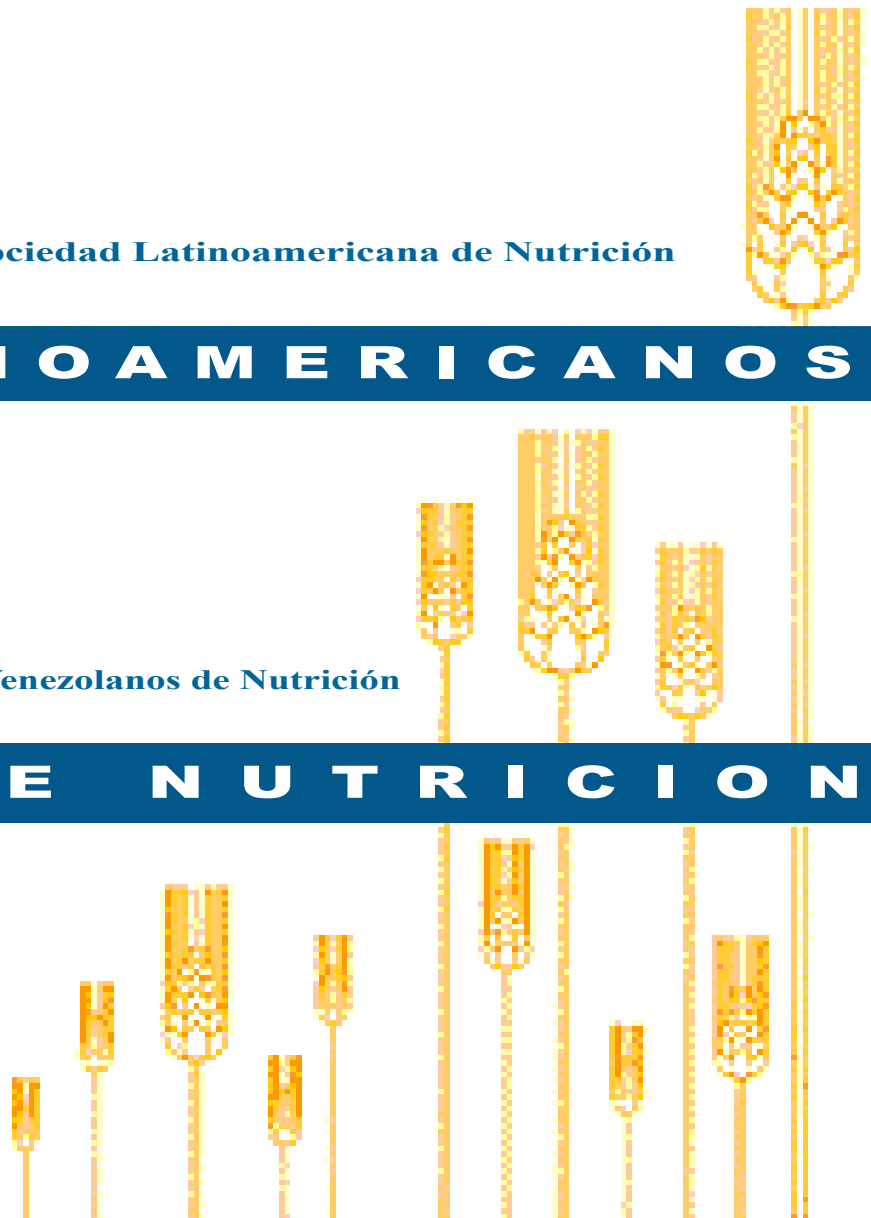
Volumen 75, N°2
Abril - Junio 2025

Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición

L A T I N O A M E R I C A N O S

Continuación de Archivos Venezolanos de Nutrición

D E N U T R I C I O N



ALAN-VE ISSN0004-0622
Depósito Legal: pp 199602DF83

Archivos Latinoamericanos de Nutrición, es la revista oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición (SLAN) que se edita desde 1966, cuando el Instituto Nacional de Nutrición de Venezuela transfirió, a la recién creada Sociedad Latinoamericana de Nutrición la revista Archivos Venezolanos de Nutrición que se publicaba desde 1950.

Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Arch Latinoamer Nutr / ISSN 0004-0622, ISSN-e: 2309-5806), es una revista Ibero Latinoamericana revisada por pares. Publica editoriales, artículos originales, artículos breves, revisiones sistemáticas y narrativas, artículos especiales y cartas al editor, sobre temas de alimentación, nutrición humana, bioquímica nutricional aplicada, nutrición clínica, pública y comunitaria, educación en nutrición, ciencia y tecnología de alimentos, microbiología de alimentos, entre otras.

Todos los manuscritos presentados a la revista deben ser originales, que no estén en consideración simultánea en otro lugar y no infrinjan los derechos de propiedad intelectual de ninguna persona u organización. Archivos Latinoamericanos de Nutrición publica artículos en tres idiomas: español, inglés y portugués y tiene una frecuencia de publicación trimestral en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, respectivamente.

Archivos Latinoamericanos de Nutrición está registrado en ASEREME e indizado en Web of Science Citation Index (SCI), Scopus, Citescore, Scimago, H-index, Directory of Open Access Journal (DOAJ), Latindex, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Literatura Latinoamericana en Ciencias de la Salud (LILACS/BVS). También se encuentra incluida en ICDS-Miar, Google Scholar, PERIODICA, The Keepers, WorldCat Biblat, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD), REVENCYT, OCLC WorldCat, SCILITR, Electronic Journals Library EZB y el Repositorio Institucional Saber-UCV. Además, hace uso de las herramientas o plataformas de Crossref, Dimensions, AURA, Publons, Reviewer Credits y ResearchGate.

La revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición se edita en Venezuela desde 1992, bajo la responsabilidad del Capítulo Venezolano de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. La Fundación Bengoa, el Centro de Atención Nutricional Infantil Antímamo, CANIA y el Instituto Nacional de Nutrición respaldan esta publicación. La oficina editorial de la revista se encuentra en las instalaciones de la Fundación Bengoa en la ciudad de Caracas.

The Latin American Nutrition Archives is the official journal of the Latin American Nutrition Society (SLAN) that has been published since 1966, when the National Institute of Nutrition of Venezuela transferred, to the recently created Latin American Nutrition Society, the Venezuelan Nutrition Archives journal, which is published since 1950.

The Latin American Nutrition Archives (Arch Latinoamer Nutr / ISSN 0004-0622, ISSN-e: 2309-5806) is a peer reviewed Ibero Latin American journal. It publishes editorials, original articles, short articles, systematic reviews and narratives, special articles, that letters to the editor, on topics of diet, human nutrition, applied nutritional biochemistry, clinical, public and community nutrition, nutrition education, food science and technology, food microbiology, among others.

All manuscripts submitted to the journal must be original, not under simultaneous consideration elsewhere, that does not infringe the intellectual property rights of any person or organization. The Latin American Nutrition Archives publishes articles in three languages: Spanish, English and Portuguese and is published quarterly in the months of March, June, September, and December, respectively.

Latin American Nutrition Archives is registered in ASEREME and indexed in Web of Science Citation Index (SCI), Scopus, Citescore, Scimago, H-index, Directory of Open Access Journal (DOAJ), Latindex, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Latin American Literature in Health Sciences (LILACS/BVS). It is also included in ICDS-Miar, Google Scholar, PERIODICA, The Keepers, WorldCat Biblat, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD), REVENCYT, OCLC WorldCat, SCILITR, Electronic Journals Library EZB, Saber-UCV Repository. In addition, it makes use of the tools or platforms of Crossref, Dimensions, AURA, Publons, Reviewer Credits and ResearchGate.

The Latin American Nutrition Archives journal has been published in Venezuela since 1992, under the responsibility of the Venezuelan Chapter of the Latin American Nutrition Society. The Bengoa Foundation, the Antímamo Child Nutrition Care Center, CANIA and the National Institute of Nutrition support this publication. The editorial office of the journal is in the facilities of the Bengoa Foundation in the city of Caracas.

Dirección: Centro Seguros La Paz, piso 4, Oficina E-41C, sector La California, Avenida Francisco de Miranda, Municipio Sucre, Caracas, Venezuela. Teléfono: (0212) 2351824. Apartado 62.778. Chacao, Caracas 1060. Venezuela.

Correo electrónico: info@alanrevista.org

Página web: www.alanrevista.org

Diagramación y montaje: Ana María Reyes. Teléfono: (0412) 3950405

Portada: Chavez & López, Diseño Gráfico. Caracas, Venezuela. Teléfono: (0212) 2855529

Página web: [Nexus Radical® - web@nexusradical.com](http://NexusRadical.com)

Archivos Latinoamericanos de Nutrición

Revista Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición

VOL 75

ABRIL - JUNIO 2025

Nº 2

Contenido

Páginas

ARTÍCULOS ORIGINALES

Aporte nutricional de alimentos procesados sin gluten de alto consumo en personas con enfermedad celíaca

Germán Mora, Catalina Andrade, Javiera Gaminao, Álvaro Reyes, Carolina Aguirre, Carolina Fredes, Loreto Rojas, Alejandra Parada..... 79

Sensory acceptance and biological implications of volatile compounds in Mexican soybean germplasm

Mónica López-Fernández, Octelina Castillo-Ruíz, Benjamín Abraham Ayil-Gutiérrez, Homar Rene Gill-Langarica..... 87

Occurrence of aflatoxin M1 and its main determinants in raw cow milk the Chiriquí in Panama farms

Aracelly Vega, Dianela A. Costamagna, Marcelo L. Signorini, Audino Melgar M, Eduard A. Villarreal..... 97

Concordancia de ecuaciones predictivas el gasto energético basal en adultos sanos de Chillán, Chile, 2025

Geraldine Laura Endrussat Araya, Bárbara Daniela Orrego Ubilla, Miguel Ángel López Espinoza..... 108

Association between dietary patterns and quality of life: A multicenter study in Latin American university students

Solange Parra-Soto, María Consuelo Díaz-Pinto, Israel Ríos-Castillo, Gladys Morales, Jacqueline Araneda-Flores, Leslie Landaeta-Díaz, Georgina Gómez, Ana Gabriela Murillo, Valeria Carpio-Arias, Brian M Cavagnari, Edna J. Nava-González, Jhon Jairo Bejarano-Roncancio, Beatriz Elizabeth Núñez-Martínez, Karla Cerdón-Arrivillaga, Eliana Romina Meza-Miranda, Saby Mauricio-Alza, Samuel Durán Agüero..... 118

ARTICULOS DE REVISIÓN

Modelos predictivos para la seguridad alimentaria en América Latina: Una revisión de alcance

Juanita Trejos-Suárez, Lina Valeria Cuadrado Pardo, Josueph Esteban Tabares, Sandra Garzón, Alejandro Bryon, Zaida Alarcón..... 129

Un análisis bibliométrico de la colaboración científica en la nutrición en salud pública de la niñez de 1942 a 2024

Mariela Contreras, María Elena Perdomo..... 143

Archivos Latinoamericanos de Nutrición

Official Publication of the Latin American Society of Nutrition

VOL 75

APRIL - JUNE 2025

N° 2

Contents

Pages

ORIGINAL ARTICLE

Nutritional contribution of high-consumption gluten-free processed foods in people with celiac disease

Germán Mora, Catalina Andrade, Javiera Gaminao, Álvaro Reyes, Carolina Aguirre, Carolina Fredes, Loreto Rojas, Alejandra Parada..... 79

Sensory acceptance and biological implications of volatile compounds in Mexican soybean germplasm

Mónica López-Fernández, Octelina Castillo-Ruíz, Benjamín Abraham Ayil-Gutiérrez, Homar Rene Gill-Langarica..... 87

Occurrence of aflatoxin M1 and its main determinants in raw cow milk the Chiriquí in Panama farms

Aracelly Vega, Dianela A. Costamagna, Marcelo L. Signorini, Audino Melgar M, Eduard A. Villarreal..... 97

Agreement of predictive equations for basal energy expenditure in healthy adults from Chillán, Chile, 2025

Geraldine Laura Endrussat Araya, Bárbara Daniela Orrego Ubilla, Miguel Ángel López Espinoza..... 108

Association between dietary patterns and quality of life: A multicenter study in Latin American university students

Solange Parra-Soto, María Consuelo Díaz-Pinto, Israel Ríos-Castillo, Gladys Morales, Jacqueline Araneda- Flores, Leslie Landaeta-Díaz, Georgina Gómez, Ana Gabriela Murillo, Valeria Carpio-Arias, Brian M Cavagnari, Edna J. Nava-González, Jhon Jairo Bejarano-Roncancio, Beatriz Elizabeth Núñez-Martínez, Karla Cordón-Arrivillaga, Eliana Romina Meza-Miranda, Saby Mauricio-Alza, Samuel Durán Agüero..... 118

REVIEW ARTICLE

Predictive models for food security in Latin America: A scoping review

Juanita Trejos-Suárez, Lina Valeria Cuadrado Pardo, Josuepth Esteban Tabares, Sandra Garzón, Alejandro Bryon, Zaida Alarcón..... 129

A bibliometric analysis of scientific collaboration in childhood public health nutrition from 1942 to 2024

Mariela Contreras, María Elena Perdomo..... 143

Aporte nutricional de alimentos procesados sin gluten de alto consumo en personas con enfermedad celíaca

Germán Mora¹ , Catalina Andrade² , Javiera Gaminao² , Álvaro Reyes³ , Carolina Aguirre² ,
Carolina Fredes² , Loreto Rojas² , Alejandra Parada^{1,2} .

Resumen: Aporte nutricional de alimentos procesados sin gluten de alto consumo en personas con enfermedad celíaca. **Introducción:** La industria alimentaria ha buscado diferentes ingredientes para elaborar productos sin gluten que cumplan con las expectativas organolépticas del consumidor, repercutiendo en diferencias en la composición nutricional entre los alimentos sin gluten y su equivalente con gluten. **Objetivo:** Comparar el aporte de energía, azúcares totales, grasas saturadas y sodio entre alimentos procesados sin gluten de alto consumo en personas con Enfermedad celíaca en Chile con su equivalente con gluten. **Materiales y métodos:** Se comparó el contenido de macronutrientes de 159 productos sin gluten de mayor consumo en personas con enfermedad celíaca, con 161 equivalentes con gluten. Todos los productos fueron seleccionados en supermercados y plataformas de ventas en línea. Se identificó el contenido de calorías, azúcares totales, grasas saturadas y sodio declarada en el etiquetado de alimentos con y sin gluten. **Resultados:** Los grupos de alimentos sin gluten de mayor consumo fueron harinas, pan molde, premezclas de harinas, productos de pastelería y galletas, pastas y salsas. Los alimentos sin gluten tienen significativamente menor aporte de proteínas, fibra, grasa total, grasas saturadas, ácidos grasos trans, hidratos de carbono disponibles, azúcares totales. Además, los alimentos sin gluten tienen más grasas monoinsaturadas y poliinsaturada. Solo las harinas muestran un mayor contenido de grasas mono y poliinsaturadas, y de proteínas, en comparación a su equivalente. **Conclusiones:** Los alimentos procesados sin gluten de alto consumo en Chile tienen un menor contenido de energía y grasa total que los alimentos con gluten. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 79-86.**

Palabras clave: Enfermedad celíaca, dieta libre de gluten, composición nutricional, alimentos sin gluten.

Abstract: Nutritional contribution of high-consumption gluten-free processed foods in people with celiac disease. **Introduction:** The food industry has explored various ingredients to develop gluten-free (GF) products that meet consumers organoleptic expectations. This has led to differences in the nutritional composition between GF products and their gluten-containing counterparts. **Objective:** To compare the energy, total sugars, saturated fats, and sodium content of commonly consumed processed gluten-free foods in individuals with Celiac Disease in Chile with their gluten-containing equivalents. **Material and methods:** The nutritional content of 159 gluten-free products frequently consumed by individuals with Celiac Disease was compared with 161 gluten-containing counterparts. Products were selected from supermarkets and online sales platforms. Energy, total sugars, saturated fats, and sodium contents were extracted from the nutritional labels of both GF and gluten-containing products. **Results:** The most consumed GF food groups included flour, sliced bread, flour premixes, pastries and cookies, pasta, and sauces. GF products showed significantly lower levels of protein, fiber, total fat, saturated fat, trans fat, available carbohydrates, and total sugars. In contrast, GF foods contained higher amounts of monounsaturated and polyunsaturated fats. Notably, GF flours had higher content of protein, monounsaturated and polyunsaturated fats compared to their gluten-containing counterparts. **Conclusions:** Commonly consumed processed gluten-free foods in Chile contain lower energy and total fat levels compared to gluten-containing products. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 79-86.**

Keywords: Celiac disease, gluten-free diet, nutritional composition, gluten free products.

Introducción

La enfermedad celíaca es una patología inmune intestinal crónica desencadenada por la ingesta de gluten de la dieta (1). En la actualidad, el único tratamiento de la enfermedad celíaca es la dieta libre de gluten.

¹Departamento Nutrición, Diabetes y Metabolismo. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. ²Departamento de Nutrición y Dietética. Escuela Ciencias de la Salud. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. ³Exercise and Rehabilitation Sciences Laboratory, School of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation Sciences, Universidad Andres Bello, Chile. Autor para la correspondencia: Alejandra Parada Daza, e-mail: apcarada@uc.cl



El gluten corresponde a un conjunto de proteínas ricas en prolaminas que se encuentran en las semillas de trigo, cebada y centeno y, por lo tanto, en todos los productos que contiene a estos ingredientes (2). El gluten otorga viscosidad, elasticidad y capacidad de retención de agua, mejorando las características organolépticas y físicas (textura, estructura y volumen) de los alimentos (3). Además, estas características físicas y organolépticas del gluten son útiles para su uso como aditivo en los alimentos (3). Por esta razón, el gluten no sólo puede estar presente en los alimentos de forma natural, sino que también es añadido por el fabricante en la elaboración de productos procesados y ultra procesados o, incluso, agregado involuntariamente como es el caso de la contaminación cruzada, producida en plantas que procesan en conjunto alimentos en base a trigo, cebada, centeno y alimentos sin gluten (4).

Para dar cumplimiento a las exigencias de la autoridad sanitaria, la industria de los alimentos ha buscado alternativas para el reemplazo del gluten en la formulación de alimentos procesados y ultra procesados. Se han utilizado distintas formulaciones que combinan diferentes harinas en base a cereales sin gluten como el arroz, maíz, legumbres (garbanzos, soya), de pseudocereales (amaranto, quinoa) y de aditivos como goma xanthan, hidroxipropil metil celulosa, carboximetil celulosa, goma guar y otras gomas vegetales (5). Asimismo, la producción de este tipo de productos tiene el desafío de cumplir con las expectativas del consumidor, en cuanto a las características organolépticas y físicas, las cuales deben ser similares a las de un alimento con gluten.

Lo anterior establece diferencias en la composición nutricional entre los alimentos sin gluten y con gluten. La evidencia demuestra que en general los alimentos libres de gluten como harinas, mezclas de harinas y panes tienen un menor aporte de proteínas totales y de fibra (6). Con respecto a las diferencias encontradas entre el contenido de grasa total, ácidos grasos, azúcares y sodio va a depender del tipo de producto y del país (7). En España y Reino Unido los alimentos sin

gluten tienen mayor contenido de grasa total, grasa saturada y azúcares totales en pan, pizza y productos de pastelería (8-10). En Australia (11) y Eslovenia (12), dichas diferencias se encontraron al comparar la composición nutricional de todos los alimentos con y sin gluten. En Noruega se encontró que la mayoría de los alimentos libres de gluten analizados aportaban mayor cantidad de energía, grasas saturadas, carbohidratos, azúcares y sodio (13).

En Latinoamérica hay escasa información que identifiquen la cantidad de calorías y macronutrientes de los alimentos procesados libres de gluten consumidos por personas con enfermedad celíaca. El objetivo de este estudio fue comparar el aporte de energía, azúcares totales, grasas saturadas y sodio entre alimentos procesados con y sin gluten de alto consumo en personas con Enfermedad Celíaca en Chile. Los resultados de este estudio permitirán entregar mejores recomendaciones en cuanto a la frecuencia de consumo de alimentos procesados libres de gluten para la población celíaca chilena.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

El estudio fue observacional, transversal.

Selección de alimentos sin gluten de alto consumo.

Para determinar la selección de alimentos de alto consumo por personas con enfermedad celíaca se realizó una encuesta alimentaria de frecuencia de consumo diaria y semanal. Esta encuesta fue publicada en la página web de la Fundación de intolerancia al gluten (CONVIVIR) (14) durante el mes de junio del año 2019, para ser respondida por personas con enfermedad celíaca que visitan la página.

La encuesta alimentaria tenía preguntas de frecuencia semanal de ingesta de: helados, grasas, productos de pastelería, repostería y confitería, azúcares y miel, conservas, encurtidos, caldos deshidratados, sopas deshidratadas y cremas, comidas y platos preparados, bebidas, jugos de fruta, suplementos alimentarios, salsas y derivados lácteos. Las preguntas de frecuencia de consumo diaria correspondían a alimentos sin gluten como: pan, harinas y premezclas, almidón de papa, fécula de maíz, almidón de yuca, semillas, frutas y verduras, legumbres, especias y condimentos, huevos, pescado y productos de pesca, carnes y productos cárnicos,

aceites, leches y productos lácteos. Se consideró un alto consumo de alimentos procesados sin gluten a aquellos que se consumieran tres o más veces por semana.

Información nutricional del etiquetado de alimentos

Para asegurarse que los alimentos sin gluten de alto consumo estuvieran certificados, se seleccionaron aquellos que solo estuvieran publicados en los sitios web de las agrupaciones de personas con enfermedad celíaca chilenas, la Corporación de Apoyo al Celíaco (COACEL) (15) y la Fundación de intolerancia al gluten (CONVIVIR) (14). El total de estos productos publicados en las listas de las fundaciones se consideró como el 100% de disponibilidad. Para la selección de los alimentos procesados con gluten, se buscaron los alimentos que fueran elaborados en Chile, que tuvieran una mayor demanda y que estén disponibles en las grandes cadenas de supermercados que estuvieran en la ciudad de Santiago de Chile.

Luego se buscaron todos los alimentos de alto consumo certificados sin gluten que estuvieran disponibles en las grandes cadenas de supermercados y en tiendas especializadas de venta de alimentos sin gluten, que estuvieran en la ciudad de Santiago de Chile. Además, se visitó el sitio web de fabricantes de alimentos sin gluten. Para obtener la información nutricional de los alimentos sin gluten de alto consumo, se buscó la información nutricional declarada en la etiqueta del producto, por 100 gramos y por porción.

Análisis estadístico

El aporte de calorías, azúcares totales, grasas saturadas y sodio se expresaron como promedio y desviación estándar. Para establecer las diferencias entre el aporte de energía y nutrientes de los alimentos con y sin gluten, se comparó los aportes promedios de cada grupo de alimento mediante la prueba estadística *t-student*, considerando como significativo un valor *p* menor a 0,05. El análisis estadístico se realizó con el programa STATA 15.1.

Resultados

Ciento cinco personas contestaron la encuesta en línea de frecuencia de consumo de alimentos, que identificaba los alimentos sin gluten de alto consumo. Los grupos de alimentos procesados sin gluten de alto consumo fueron: 1) harinas, 2) pan molde, 3) premezclas de harinas, 4) productos de pastelería

y galletas, 5) pastas y 6) salsas. De estos alimentos, se identificaron 321 alimentos sin gluten con su respectiva marca comercial que estaban publicados en las listas de las fundaciones COACEL y CONVIVIR. La disponibilidad en el comercio de los alimentos procesados sin gluten correspondió, con relación a lo publicado en la página web de las fundaciones, a un 35%. Finalmente, se obtuvo la información nutricional de 159 alimentos sin gluten disponibles en el comercio y de 161 alimentos con gluten.

Para el grupo de las harinas, se analizaron 27 productos diferentes que correspondía a harinas de maíz, mandioca, diferentes tipos de quínoa, arroz, coco, almendra, amaranto, avena, chía, linaza, lenteja y garbanzo. Para el caso de premezclas se analizaron 14 productos diferentes, cuyas mezclas principales eran en base a arroz, mandioca, maíz con menor proporción de quínoa, tapioca y papa.

El aporte promedio de energía de los alimentos procesados sin gluten, por 100g de producto, fue de 286 ± 78 kcal, mientras que para los alimentos con gluten fue de 326 ± 60 kcal ($p < 0,05$). El análisis general de los alimentos sin gluten en comparación a los con gluten, muestra que los primeros tienen significativamente menor aporte de proteínas, fibra, grasa total, grasas saturadas, ácidos grasos trans, hidratos de carbono disponibles, azúcares totales y sodio (Tabla 1). Por su parte, los alimentos sin gluten contienen más grasas monoinsaturadas y poliinsaturada ($p = 0,000$) (Tabla 1).

Al analizar los aportes según grupo de alimento con respecto a los macronutrientes, el grupo de las harinas sin gluten presentan mayor aporte energético, grasa total y menos hidratos de carbono disponibles ($p = 0,0043$, $0,011$ y $0,017$, respectivamente) en comparación a los alimentos con gluten. El grupo de los panes presentan menor aporte energético, proteína e hidratos de carbono disponibles ($p < 0,05$) y más aporte de grasa total ($p = 0,012$) en comparación a los alimentos con gluten. Por su parte, las pastas presentan menor aporte de proteínas ($p = 0,000$) y las premezclas tienen menor aporte de grasa total ($p = 0,001$) en comparación a los alimentos con gluten. El

Tabla 1. Aporte promedio de energía y macronutrientes de todos los alimentos con y sin gluten analizados.

Energía y nutrientes por 100 g de alimento	Sin gluten (n= 159)	Con gluten (n=161)	Valor-p
Energía (kcal)	286 ± 78	326 ± 60	0,000
Proteínas (g)	5,9 ± 3,5	7,59 ± 2,3	0,000
Grasa total (g)	6,0 ± 8,9	7,7 ± 6,2	0,024
Grasas saturadas (g)	2,4 ± 2,4	3,7 ± 2,8	0,000
Grasas Monoinsaturadas (g)	5,0 ± 4,9	2,4 ± 2,4	0,000
Grasas Poliinsaturadas (g)	6,1 ± 4,8	2,6 ± 2,7	0,000
Grasas Trans (g)	0,0 ± 0,1	2,3 ± 4,1	0,000
Colesterol (mg)	8,5 ± 12,3	8,0 ± 15,3	0,358
Hidratos de carbono disponibles (g)	51,1 ± 16,5	56,2 ± 5,8	0,000
Azúcares totales (g)	4,5 ± 6,1	13,5 ± 6,7	0,000
Fibra dietética (g)	5,2 ± 4,4	6,5 ± 3,9	0,002
Sodio (mg)	188 ± 201	331 ± 301	0,000

Datos expresados en promedios ± desviación estándar. Prueba estadística *t-student*

grupo de pasteles y galletas tienen menos aporte de energía, grasa total e hidratos de carbono disponibles ($p= 0,05$). Finalmente,

el grupo de las salsas tiene menos aporte de calorías ($p= 0,003$) en comparación a los alimentos con gluten (Tabla 2).

Tabla 2. Aporte promedio de energía y macronutrientes por 100 g de alimentos con y sin gluten.

Tipo de alimento	Energía cal/100g			Proteínas g/100g			Grasa total g/100g			Hidratos de Carbono disponibles g/100g		
	SG	CG	Valor-p	SG	CG	Valor-p	SG	CG	Valor-p	SG	CG	Valor-p
Harinas												
n	27	19		27	19		27	19		27	19	
Promedio	378	344	0,043	11,3	9,9	0,216	11,3	2,0	0,011	57,3	70,7	0,017
DS	81,2	22		7,4	1,4		17,0	1,6		26,2	5,3	
Pan molde												
n	13	20		13	20		13	20		13	20	
Promedio	218	247	0,002	3,6	10,1	0,000	4,7	3,2	0,012	40,5	44,8	0,030
DS	26	25		1,2	1,8		2,4	1,2		7,1	5,4	
Pastas												
n	17	23		17	23		17	23		17	23	
Promedio	336	345	0,231	8,2	12,3	0,000	1,8	2,5	0,096	67,0	68,6	0,357
DS	49	21		4,5	1,3		1,3	1,6		20,6	3,2	
Premezclas de harina												
n	14	21		14	21		14	21		14	21	
Promedio	335	362	0,053	5,1	5,0	0,473	1,9	5,9	0,001	74,5	74,4	0,491
DS	35	52		4,3	2,0		2,1	4,2		14,2	9,2	
Pastelería y galletas												
n	64	54		64	54		64	54		64	54	
Promedio	380	482	0,000	6,2	6,0	0,387	13,6	20,3	0,000	60,1	70,5	0,000
DS	83	39		2,8	5,8		8,0	5,5		20,0	5,6	
Salsas												
n	24	24		24	24		24	24		24	24	
Promedio	632	173	0,030	1,7	2,2	0,108	2,9	12,9	0,072	7,6	8,5	0,366
DS	197	202		1,0	1,7		23,1	23,4		11,0	6,2	

SG: sin gluten; CG: con gluten. Datos expresados en promedio y desviación estándar. Prueba estadística *t-student*.

Tabla 3. Aporte de diferentes tipos de grasa, colesterol, fibra dietética y sodio en 100g de productos con y sin gluten.

Tipo de alimento	Grasas saturadas g/100g			Grasas Monoinsaturadas g/100g			Grasas Poliinsaturadas g/100g			Grasas Trans g/100g			Colesterol mg/100g			Azúcares g/100g			Fibra dietética g/100g			Sodio mg/100g				
	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P	SG	CG	Valor P		
Harinas																										
n	27	19		27	19		27	19		27	19		27	19		27	19		27	19		27	19		27	19
Promedio	3,0	0,8	0,040	5,8	1,8	0,050	9,8	1,9	0,013	0,0	0,0	****	0,0	0,0	****	3,7	2,6	0,282	11,5	7,4	0,084	13	85	0,008		
DS	5,3	1,1		10,4	2,2		14,6	2,7		0,0	0,0		0,0	0,0		8,1	1,5		11,9	5,7		20	147			
Pan molde																										
n	13	20		13	20		13	20		13	20		13	20		13	20		13	20		13	20		13	20
Promedio	1,1	0,8	0,061	1,7	0,8	0,005	1,9	1,3	0,041	0,0	0,1	****	14,6	0,01	0,000	3,0	4,5	0,024	5,6	6,8	0,159	333	359	0,228		
DS	0,8	0,3		1,5	0,5		1,2	0,6		0,0	0,4		16,0	0,03		2,0	1,9		2,5	3,6		143	41			
Pastas																										
n	17	23		17	23		17	23		17	23		17	23		17	23		17	23		17	23		17	23
Promedio	0,3	0,9	0,008	0,0	0,6	****	0,0	1,3	***	0,0	0,0	****	0,0	12,8	****	1,3	4,4	0,000	4,1	5,3	0,107	80	73	0,500		
DS	0,0	1,5		0,0	0,6		0,0	0,9		0,0	0,0		0,0	15,0		2,6	2,1		3,4	2,3		162	201			
Premezclas de harina																										
n	14	21		14	21		14	21		14	21		14	21		14	21		14	21		14	21		14	21
Promedio	0,6	4,4	0,000	0,7	1,5	0,041	1,0	0,6	0,062	0,0	0,1	0,002	7,4	0,3	0,029	4,1	31,1	0,000	2,5			251	395	0,040		
DS	1,1	3,6		0,6	1,5		1,1	0,6		0,0	0,1		16,5	0,8		7,1	19,5		2,1			247	220			
Pastelería y galletas																										
n	64	54		64	54		64	54		64	54		64	54		64	54		64	54		64	54		64	54
Promedio	5,5	10,7	0,000	5,2	6,7	0,081	4,2	3,2	0,017	0,2	0,5	0,052	12,8	12,8	0,495	9,9	32,7	0,000	6,1			257	235	0,286		
DS	5,5	4,1		5,5	5,4		3,0	1,7		0,5	1,8		24,9	29,7		11,4	9,3		5,8			266	97			
Salsas																										
n	24	24		24	24		24	24		24	24		24	24		24	24		24	24		24	24		24	24
Promedio	4,4	4,7	0,410	17,0	3,7	0,000	20,0	7,8	0,000	0,1	13,5	0,003	16,4	21,9	0,296	5,1	5,3	0,450	1,1			194	842	0,004		
DS	1,9	6,6		11,8	4,5		9,2	9,8		0,2	22,7		16,3	46,6		5,7	5,9		0,7			367	1098			

SG: sin gluten; CG: con gluten. Datos expresados en promedio y desviación estándar. Prueba estadística t-student.

Con respecto a los aportes de los diferentes tipos de grasas en los alimentos procesados sin gluten en comparación a los con gluten, las harinas tienen más grasas saturadas, monoinsaturadas y poliinsaturadas ($p= 0,040$, $0,050$ y $0,013$, respectivamente). El grupo de pan molde tienen más grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas ($p= 0,005$ y $0,041$, respectivamente). El grupo de las pastas tienen menos grasas saturadas ($p= 0,008$). Las premezclas tienen menos grasas saturadas, monoinsaturada y Trans ($p= 0,000$, $0,041$ y $0,002$, respectivamente). Los productos de pastelería y galletas tienen menos grasas saturadas, pero más poliinsaturada ($p= 0,000$ y $0,017$, respectivamente) y las salsas tienen más grasas poliinsaturada y Trans ($p 0,000$ y $0,003$, respectivamente) (Tabla 3).

Los alimentos procesados sin gluten que aportan más colesterol en comparación a los con gluten son los panes de molde y premezclas de harina ($p= 0,000$ y $0,029$, respectivamente). Finalmente, el aporte de sodio en los alimentos sin gluten es menor en las harinas, premezclas de harinas y salsas, respecto a los alimentos con gluten ($p 0,008$, $0,040$ y $0,004$, respectivamente) (Tabla 3).

Discusión

En base al análisis comparativo de alimentos con y sin gluten en Chile, los alimentos sin gluten en promedio tienen un menor contenido de energía y grasa total que los alimentos con gluten. Estos datos difieren de un estudio realizado en el Reino Unido (10), donde se muestra que los alimentos sin gluten tienen mayor contenido de grasa y grasa saturada que los alimentos regulares. Sin embargo, es interesante destacar que las harinas sin gluten analizadas tienen significativamente más contenido de materia grasa total que las harinas regulares, debido principalmente a que en los análisis se consideraron harinas con diversos contenidos de ingredientes como almendras, que aumenta el aporte de grasa total, esto a partir de ácidos grasos mono y poliinsaturados, que han demostrado efectos beneficiosos para la salud (16).

Es importante mencionar que los ingredientes de los alimentos analizados, específicamente de los panes sin gluten, incluyen almidones dentro de sus primeros cinco ingredientes, a diferencia de los productos con gluten. Los almidones utilizados en los alimentos sin gluten provienen comúnmente

del maíz, mandioca, tapioca y papa, fuentes que suelen tener un alto contenido de amilopectina y una digestión rápida (17). La velocidad de digestión del almidón no depende únicamente de la proporción de amilosa y amilopectina, sino también del grado de formación de almidón resistente durante el procesamiento, así como de la presencia de otros componentes que interfieren con la digestión, como la fibra dietética (17). Algunos estudios han asociado el alto consumo de almidones de digestión rápida con una mayor liberación de glucosa e incrementos más pronunciados en la concentración de insulina, lo que podría contribuir, en ciertos contextos, al desarrollo de alteraciones metabólicas como el síndrome metabólico o la hiperlipidemia (18). Por ello, se sugiere considerar estos aspectos en la educación alimentaria de personas con enfermedad celíaca, evaluando la calidad de los ingredientes en productos sin gluten y promoviendo una alimentación saludable y equilibrada.

El uso de almidones como ingredientes en las harinas, pastas y panes, además del uso en alta proporción de harinas de arroz, repercute en la baja cantidad de proteína de estos alimentos. En alimentos sin gluten consumidos en Italia, un estudio reportó que tienen un menor aporte de proteínas (19), similar a lo observado en el presente estudio, cuando se analizan todos los alimentos en conjunto. Sin embargo, el análisis específico por grupos de alimentos del presente estudio muestra que las harinas tienen un aporte significativamente mayor de proteínas en comparación a las regulares. Esto debido a que las harinas disponibles para análisis, se consideraron harinas de almendras y lentejas, que tiene mayor contenido de proteína que el resto de las harinas sin gluten (20).

Asimismo, el mayor aporte de colesterol en panes de molde y premezclas de harina sin gluten se debe principalmente a la presencia de huevo dentro de los ingredientes, ingrediente que no es habitual en los mismos alimentos, pero con gluten.

El grupo de alimentos sin gluten de pastelería y galletas contiene un menor aporte de calorías totales en comparación a los regulares, esto es por el aporte más bajo de grasas, hidratos de carbono disponibles y azúcares totales. En Chile, existe una Ley que regula el etiquetado de alimentos (21) para limitar el alto contenido de energía, grasa saturada, azúcares y sodio. Además, incluye la obligatoriedad de indicar en el etiquetado el mensaje frontal "ALTO EN" que indica cuáles alimentos superan los límites establecidos, de manera visible y de fácil comprensión. Este etiquetado ha contribuido a que la industria alimentaria disminuya el contenido de estos nutrientes para evitar la incorporación de mensajes "alto en" y de esta manera los alimentos sin gluten se han beneficiado al tener menor contenido de azúcares.

Un hallazgo interesante de este estudio fue que la disponibilidad de alimentos sin gluten en Chile es baja, no alcanza el 50% de los alimentos certificados sin gluten, publicado por las fundaciones de pacientes celíacos en Chile y esto dificulta aún más, la adherencia a la dieta sin gluten (22).

Un 30% de las personas con enfermedad celíaca presentan sobrepeso y obesidad, en Chile esta situación es similar (23,24). El sobrepeso y obesidad es multicausal, la recuperación del epitelio intestinal conduce a la mejora en síntomas gastrointestinales con la consecuente mayor ingesta de alimentos (23). Otro factor puede ser el aumento de ingesta de alimentos procesados sin gluten de alta densidad energética y poco saludables. Se puede argumentar que la materia prima utilizada en los alimentos sin gluten es relevante para generar productos saludables. El análisis de subgrupos del presente estudio, principalmente el grupo de harinas demuestra que la industria alimentaria debe realizar esfuerzos para elaborar alimentos sin gluten saludables. Considerando esta información, utilizar ingredientes que sean altos en ácidos grasos mono y poliinsaturados como los frutos secos (almendras, nueces, avellanas) y alimentos con alto contenido proteico, como proteínas vegetales de frutos

secos y legumbres, puede resultar beneficioso en este grupo estudiado, ya que la mayor ingesta de alimentos sin gluten fueron las harinas, pan molde y premezclas.

Finalmente, este estudio tuvo algunas limitaciones como que el número de alimentos analizados fue bajo, además, la información nutricional de los alimentos se obtuvo a través de la observación del etiquetado nutricional y no a través de análisis proximal. Por otra parte, solo se hizo el análisis a partir de aquellos alimentos de alto consumo en las personas con enfermedad celíaca. Para obtener una información general de estos alimentos se deben analizar todos los alimentos disponibles en el mercado. Sin embargo, fue interesante identificar que existen alimentos que utilizan como ingrediente principal frutos secos, esto cambia la composición de ácidos grasos a un perfil más saludable.

Conclusiones

Los alimentos procesados sin gluten de alto consumo en Chile en general no contienen un mayor aporte de energía y grasas totales que los procesados con gluten. Sin embargo, al analizar por grupos de alimentos por separado, las harinas sin gluten presentan mayor aporte calórico, pero a partir de un mayor aporte de grasas saludables y proteínas vegetales.

Agradecimientos

Se agradece a la Fundación de Intolerancia al Gluten de Chile, CONVIVIR, por su colaboración en las encuestas de frecuencia de alimentos.

Conflicto de intereses

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

Referencias

1. Lebowohl B, Rubio-Tapia A. Epidemiology, Presentation, and Diagnosis of Celiac Disease. *Gastroenterology*. 2021;160(1):63-75. doi: 10.1053/j.gastro.2020.06.098.
2. Biesiekierski JR. What is gluten?. *J Gastroenterol Hepatol*. 2017; Suppl 1:78-81. doi: 10.1111/jgh.13703.

3. Wieser H. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiol.* 2007;24(2):115-9. doi: 10.1016/j.fm.2006.07.004.
4. Wieser H, Segura V, Ruiz-Carnicer Á, Sousa C, Comino I. Food Safety and Cross-Contamination of Gluten-Free Products: A Narrative Review. *Nutrients.* 2021;13(7):2244. doi: 10.3390/nu13072244.
5. El Khoury D, Balfour-Ducharme S, Joye IJ. A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients.* 2018;10(10):1410. doi: 10.3390/nu10101410.
6. Romão B, Botelho RBA, Alencar ER, da Silva VSN, Pacheco MTB, Zandonadi RP. Chemical Composition and Glycemic Index of Gluten-Free Bread Commercialized in Brazil. *Nutrients.* 2020;12(8):2234. doi: 10.3390/nu12082234.
7. Fajardo V, González MP, Martínez M, Samaniego-Vaesken ML, Achón M, Úbeda N, Alonso-Aperte E. Updated Food Composition Database for Cereal-Based Gluten Free Products in Spain: Is Reformulation Moving on? *Nutrients.* 2020;12(8):2369. doi: 10.3390/nu12082369.
8. Calvo-Lerma J, Crespo-Escobar P, Martínez-Barona S, Fornés-Ferrer V, Donat E, Ribes-Koninckx C. Differences in the macronutrient and dietary fibre profile of gluten-free products as compared to their gluten-containing counterparts. *Eur J Clin Nutr.* 2019;73(6):930-936. doi: 10.1038/s41430-018-0385-6.
9. De Las Heras-Delgado S, Alías-Guerrero ALN, Cendra-Duarte E, Salas-Salvado J, Vilchez E, Roger E, Hernández-Alonso P, Babio N. Assessment of price and nutritional quality of gluten-free products versus their analogues with gluten through the algorithm of the nutri-score front-of-package labeling system. *Food Funct.* 2021;12(10):4424-4433. doi: 10.1039/d0fo02630a.
10. Fry L, Madden AM, Fallaize R. An investigation into the nutritional composition and cost of gluten-free versus regular food products in the UK. *J Hum Nutr Diet.* 2018;31(1):108-120. doi: 10.1111/jhn.12502.
11. Wu JH, Neal B, Trevena H, Crino M, Stuart-Smith W, Faulkner-Hogg K, Yu Louie JC, Dunford E. Are gluten-free foods healthier than non-gluten-free foods? An evaluation of supermarket products in Australia. *Br J Nutr.* 2015;114(3):448-54. doi: 10.1017/S0007114515002056.
12. Lavrisa Z, Hribar M, Kusar A, Zmitek K, Pravst I. Nutritional Composition of Gluten-Free Labelled Foods in the Slovenian Food Supply. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(21):8239. doi: 10.3390/ijerph17218239.
13. Myhrstad MCW, Slydahl M, Hellmann M, Garnweidner-Holme L, Lundin KEA, Henriksen C, Telle-Hansen VH. Nutritional quality and costs of gluten-free products: a case-control study of food products on the Norwegian market. *Food Nutr Res.* 2021; 202;65. doi: 10.29219/fnr.v65.6121.
14. Fundación de Intolerancia al Gluten, Convivir [Internet]. Santiago de Chile. Citado 20 de agosto de 2024. Recuperado a partir de: <https://www.fundacionconvivir.cl/>
15. Corporación de apoyo al Celiaco, Coacel. [Internet]. Santiago de Chile. Citado 20 de agosto de 2024. Recuperado a partir de: <https://www.coacel.cl/>
16. Singar S, Kadyan S, Patoine C, Park G, Arjmandi B, Nagpal R. The Effects of Almond Consumption on Cardiovascular Health and Gut Microbiome: A Comprehensive Review. *Nutrients.* 2024;16(12):1964. doi: 10.3390/nu16121964.
17. Kong H, Yu L, Li C, et al. Perspectives on evaluating health effects of starch: Beyond postprandial glycemic response. *Carbohydr Polym.* 2022;292:119621. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119621
18. Feng R, Du S, Chen Y, et al. High carbohydrate intake from starchy foods is positively associated with metabolic disorders: a Cohort Study from a Chinese population. *Sci Rep.* 2015;5:16919. doi: 10.1038/srep16919
19. Cornicelli M, Saba M, Machello N, Silano M, Neuhold S. Nutritional composition of gluten-free food versus regular food sold in the Italian market. *Dig Liver Dis.* 2018;50(12):1305-1308. doi: 10.1016/j.dld.2018.04.028.
20. Senthilkumaran A, Babaei-Ghazvini A, Nickerson MT, Acharya B. Comparison of Protein Content, Availability, and Different Properties of Plant Protein Sources with Their Application in Packaging. *Polymers (Basel).* 2022;14(5):1065. doi: 10.3390/polym14051065.
21. Ley 20606 sobre Composición Nutricional de los Alimentos y su Publicidad. Ministerio de Salud; Subsecretaría de Salud Pública. [Internet]. Santiago de Chile: Ministerio de Salud de Chile. Citado 15 de agosto de 2024. Recuperado a partir de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1041570Leyetiquetado>
22. Makharia GK, Singh P, Catassi C, Sanders DS, Leffler D, Ali RAR, Bai JC. The global burden of coeliac disease: opportunities and challenges. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2022;19(5):313-327. doi: 10.1038/s41575-021-00552-z.
23. Parada A, Méndez C, Aguirre C. Sobrepeso y obesidad en la enfermedad celíaca activa: posibles mecanismos fisiopatológicos. *Rev Chil Nutr.* 2019;46(4):485-490. <http://doi.org/10.4067/S0717-75182019000400485>.
24. Parada AC, Méndez C, Aguirre C. Excess weight and gastrointestinal symptoms in Chilean celiac patients at the time of diagnosis. *Rev Esp Enferm Dig.* 2019;111(5):384-387. doi: 10.17235/reed.2019.5251/2017

Recibido: 30/09/2024
Aceptado: 12/06/2025

Sensory acceptance and biological implications of volatile compounds in Mexican soybean germplasm

Mónica López-Fernández¹ , Octelina Castillo-Ruíz² , Benjamín Abraham Ayil-Gutiérrez¹ ,
Homar Rene Gill-Langarica¹ .

Abstract: Sensory acceptance and biological implications of volatile compounds in Mexican soybean germplasm.

Introduction: The growing demand for healthy foods has increased interest in soybean products due to their high protein content and bioactive compounds. However, consumer acceptance of these products is limited by undesirable flavors, largely attributed to lipoxygenase activity. **Objective:** Identify the volatile compounds responsible for off-flavors in beverages derived from Mexican soybean germplasm and analyze their impact on both sensory attributes and the plant's biological characteristics. **Materials and methods:** Beverages from eleven Mexican soybean varieties with normal lipoxygenase activity, two Japanese lipoxygenase-free materials, and one commercial beverage were evaluated. Sensory tests were conducted with untrained panelists, and volatile compounds were identified through gas chromatography. **Results:** Sensory analysis revealed significant differences in taste, appearance, and overall acceptance. Huasteca 200, though not lipoxygenase-free, stood out for its high sensory acceptance. Gas chromatography revealed variations in volatile compounds, such as hexanal and 1-octen-3-ol, associated with bitter flavors and biological traits like pest resistance. **Conclusions:** Huasteca 200 proved to be a promising variety for genetic improvement programs due to its favorable sensory profile. Volatile compounds such as hexanal and 1-octen-3-ol play a critical role in flavor perception and reflect important biological aspects. These findings underscore the potential of genetic selection to optimize both sensory quality and biological resistance in future Mexican soybean varieties. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 87-96.**

Keywords: volatile compounds, beany flavor, lipoxygenase.

Resumen: Efecto de los compuestos volátiles en la aceptación sensorial e implicaciones biológicas en germoplasma de soya mexicana. **Introducción:** La creciente demanda de alimentos saludables ha impulsado el interés en los productos de soya, valorados por su alto contenido proteico y compuestos bioactivos. Sin embargo, la aceptación de estos productos por parte de los consumidores se ve limitada por los sabores desagradables, en gran parte atribuidos a la actividad de las lipoxigenasas. **Objetivo:** Identificar los compuestos volátiles responsables de los sabores indeseables en bebidas derivadas de germoplasma de soya mexicana y analizar su impacto en los atributos sensoriales y biológicos de la planta. **Materiales y métodos:** Se evaluaron bebidas de once variedades de soya mexicana con actividad normal de lipoxigenasas, dos materiales japoneses libres de esta enzima, y una bebida comercial. Se realizaron pruebas sensoriales con panelistas no entrenados y se identificaron compuestos volátiles mediante cromatografía de gases. **Resultados:** Los análisis sensoriales revelaron diferencias significativas en sabor, apariencia y aceptación general. Huasteca 200, aunque no está libre de lipoxigenasas, destacó por su alta aceptación sensorial. La cromatografía de gases mostró variaciones en la concentración de volátiles, como hexanal y 1-octen-3-ol, relacionados con sabores amargos y con características biológicas como la resistencia a plagas. **Conclusiones:** Huasteca 200 demostró ser una variedad prometedora para programas de mejoramiento genético debido a su perfil sensorial favorable. Los compuestos volátiles, como hexanal y 1-octen-3-ol, juegan un papel crucial en la percepción del sabor y también reflejan aspectos clave del comportamiento biológico, lo que resalta el potencial de la selección genética para optimizar tanto los atributos sensoriales como la resistencia biológica. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 87-96.**

Palabras clave: compuestos volátiles, sabor afrijolado, lipoxygenasa.

¹Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, México.
²Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Reynosa, México. Autor para la correspondencia: Homar Rene Gill-Langarica, e-mail: hgill@ipn.mx

Introduction

The fast-paced nature of modern life has driven a growing demand for convenient foods rich in essential nutrients like proteins, vitamins, and



bioactive compounds (1). Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.], a leguminous crop, is a significant source of proteins and bioactive compounds, including isoflavones and phenols, which offer various health benefits (2). Products incorporating soybeans or fortified with soybean protein, such as soybean beverages, tofu, oil, and sauces, have become increasingly popular (3).

However, many soybean-based products suffer from undesirable flavors due to lipoxygenase enzymes in soybeans (4). These enzymes produce volatile compounds during grain milling, leading to beany flavors that affect consumer acceptance (5). Lipoxygenases oxidize polyunsaturated fatty acids, generating hydroperoxides that degrade into compounds like aldehydes, alcohols, ketones, and furans, responsible for off flavors described as beany, herbal, metallic, and sulfurous (6,7). Major contributors include hexanal, 1-octen-3-ol, and benzaldehyde (8-10).

To enhance consumer acceptance, soybean beverages are now made from grains with both natural and induced genetic modifications that eliminate the effects of lipoxygenases (11,12). In Mexico, commercial soybean production struggles to meet local demand, resulting in a high dependence on imports from the United States (13). So far, genetic improvement efforts in Mexico have focused on yield and other agronomic traits, neglecting the sensory attributes of derived products (14-16). Therefore, this study aims to analyze the volatile compounds associated with undesirable flavors in beverages made from a group of Mexican soybean germplasm and their implications for sensory acceptance and plant biology.

Materials and methods

Fourteen soybean beverages were analyzed, eleven from commercially cultivated soybeans in Mexico developed by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Additionally, two materials provided by the National Institute of Agrobiological

Sciences (NIAS) in Japan, reported as lipoxygenase-free (17) and a SILK® brand commercial soybean beverage produced in Mexico (Table 1).

Soybean beverages preparation and sensory acceptance test. The beverages were prepared by soaking 140 g of grains in deionized water overnight, draining, and blending with 1 L of purified water. The mixture was heated to boiling (100 °C), 1 g of salt was added, then cooled to room temperature. Maltodextrin (2 g), soybean lecithin (1.2 g), xanthan gum (0.4 g), sodium citrate (1.8 g), and calcium carbonate (3 g) were added as emulsifiers, stabilizers, and thickeners. The beverages were stored at 4 °C until analysis (18). In May 2023, the sensory acceptance test was carried out with 20 untrained panelists (50% male, 50% female, aged 25-57 years) in a quiet environment. A 9-point hedonic scale was used, interpreted as follows: 1= Disliked extremely, 5= Neither liked nor disliked, and 9= Liked extremely. Although larger panels are often recommended for population-

Table 1. List of soybean germplasm analysed.

Number	Material	Origin	Adaptation	Progeny
1	JP30790	USA	USA	Unknown
2	JP28955	USA	USA	Unknown
3	Vernal	Mexico	Tamaulipas state	D77-12244 x Bedford
4	Huasteca 100	Mexico	Tamaulipas state	Santa Rosa x Jupiter
5	Huasteca 200	Mexico	Tamaulipas state	F815344 x Santa Rosa
6	Huasteca 300	Mexico	Tamaulipas state	H82- 1930 x H80- 2535
7	Huasteca 400	Mexico	Tamaulipas state	DM 301 individual selection
8	Tamesi	Mexico	Tamaulipas state	Santa Rosa x H80-2535
9	Huasteca 600	Mexico	Tamaulipas state	H88-1880 x H88-3868
10	Huasteca 700	Mexico	Tamaulipas state	Santa Rosa x F81-5517
11	Nainari	Mexico	Sonora state	Derived from Suaqui 86 (irradiated with cobalt 60)
12	Suaqui 86	Mexico	Sonora state	(Rad x Cajeme) x (Tetabiate x Cajeme)
13	GuayparimeS-10	Mexico	Sonora state	Nainari x PI-171443

level inference, the use of 20 panelists is adequate for exploratory sensory studies under controlled conditions. This approach is supported by previous evaluations of soybean beverages using similar sample sizes (19, 20), and aligns with standard recommendations for academic sensory testing (21, 22). The 14 soybean beverages, including the commercial control, were evaluated across three sessions with rest intervals between them to prevent taste fatigue. Samples were served at room temperature. The methodologies followed were based on Ugochi et al. (19) and Alhendi et al. (20).

Identification of volatile compounds. In July 2023, the volatile compounds 1-hexanol, hexanal, 1-penten-3-ol, and 1-octen-3-ol were identified in a previously prepared soybean beverage without additives. The identification was conducted using reference standards from Sigma Aldrich (USA). The analysis was conducted through Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) following Solid Phase Extraction (SPE) with a C18 column, and molsin (*Aspergillus protease*) was employed during the process. First, the proteolysis of soybean beverage involved adding 0.25 g of molsin to 50 mL of beverage at pH 2.4-2.5 adjusted with 1 N HCl. Samples were then incubated at 30°C for 21 h to hydrolyze the proteins, centrifuged at 1000 rpm for 10 min, and filtered through Whatman #4 paper to obtain a clear filtrate. Then, the filtrate was injected into the solid-phase column at a flow rate of 0.6 mL min⁻¹ and washed with 5 mL of distilled water. Compounds adsorbed in the column were eluted with 0.2 mL of methanol and subsequently with 2 mL of a hexane and diethyl ether mixture (3:1 v/v) at a flow rate of 0.6 mL min⁻¹ (9).

2 µL of the eluted sample was injected into an Agilent technologies gas chromatograph (model 7890A), with an Agilent capillary column measuring 30 m in length x 0.250 mm in diameter (Scientific, USA). The column oven temperature was maintained at 70 °C for 10 min with an initial increase to 150 °C at a constant rate of 3 °C min⁻¹, followed by a second increase to 220 °C at a constant rate of 20 °C min⁻¹, and held at 220 °C for 5 min. The analytes eluted from the gas chromatography were detected using a flame ionization detector connected to a computer (9). To ensure identification of volatile compounds, chromatograph analysis results were compared with spectra of pure homologous compounds from the standard, matching retention times. For quantification, spectra were normalized, considering peak areas of all compounds, and expressed as a percentage (relative abundance) (23).

Statistical analysis. The results of the sensory analysis and volatile compounds underwent analysis of variance (ANOVA) and a Tukey test to identify differences among soybean beverages. A principal component analysis (PCA) was conducted to detect clusters and elucidate potential correlations between traits and soybean beverages (24). The analysis was performed using the statistical software InfoStat v 2020 (25).

Results

Sensory acceptance analysis. ANOVA analysis revealed highly significant differences ($p < 0.05$) in flavor, appearance, mouthfeel, and overall impression for the soybean beverages (Table 2). Tukey test comparisons indicated significant differences ($p < 0.05$) across all sensory traits. Notably, the control drink received the highest ratings across all analyzed traits. Among the Mexican beverage soybean varieties, the Huasteca 200 exhibiting higher average values in aroma, flavor, mouthfeel, and overall appearance, as well as exceptional average values in color and appearance (Table 3). The PCA analysis shows that the first three principal components captured 99% of the total variation of the sensory acceptance traits. On the positive side of PC1 (85%) the control soybean beverage exhibited high association with all six analyzed sensory acceptance traits. Conversely, on the negative side, beverages from varieties JP30790, Suaqui 86, Nainari, Huasteca 600, Huasteca 700, Huasteca 400, and Vernal were located, showing a low association with sensory acceptance attributes, resulting in decreased acceptance among the panelists.

In the center of the PCA biplot, a cluster of soybean beverages from varieties Huasteca 100, JP28955, Tamesí, Huasteca 300, and Guayparime S-10 was integrated. This group demonstrated intermediate association and values in sensory attributes, leading to moderate acceptance by the panelists. Notably, the soybean beverage from the variety Huasteca 200, positioned in the positive direction of PC1 and the negative direction of PC2, indicated a positive

Table 2. Analysis of variance of six sensory traits of acceptance in soybean beverage from Mexican commercial soybean germplasm.

Variety	Mean squares				p-value		
	Model	Soybean beverage	Panelist	Error	Model	Soybean beverage	Panelist
Aroma	359.1	54.7	304.4	1427.8	***	**	***
Color	475.9	52.6	423.3	1745.6	***	*	***
Taste	581.4	232.3	349.1	2985.6	***	***	***
Appearance	428.9	96.1	332.7	2104.1	***	***	***
Mouthfeel	682.1	205.1	477.1	2943.1	***	***	***
Overall acceptance	473.4	211.2	262.2	2554.1	***	***	***

*, ** = significant difference; *** = highly significant difference.

Table 3. Comparison of the means of six sensory traits in soybean beverage from Mexican commercial soybean germplasm.

Variety	Means ($p < 0.05$)					
	Aroma	Color	Flavor	Appearance	Mouthfeel	Overall acceptance
Control	6.28±0.24 ^a	6.83±0.08 ^a	6.52±0.30 ^a	6.93±0.10 ^a	6.68±0.08 ^a	6.72±0.12 ^a
Huasteca 100	5.63±0.06 ^b	6.20±0.41 ^b	5.53±0.51 ^c	6.05±0.28 ^b	5.70±0.23 ^c	5.77±0.33 ^c
Huasteca 200	5.68±0.33 ^b	6.30±0.41 ^b	5.95±0.35 ^b	6.17±0.48 ^b	6.10±0.18 ^b	6.17±0.33 ^b
Huasteca 300	5.55±0.44 ^b	6.35±0.45 ^b	5.35±0.61 ^c	6.22±0.32 ^b	5.47±0.43 ^c	5.55±0.54 ^c
Huasteca 400	5.47±0.29 ^b	5.82±1.00 ^b	4.62±1.63 ^c	5.37±1.16 ^b	4.78±1.71 ^c	4.77±1.33 ^c
Tamesí	5.42±0.42 ^b	6.43±0.29 ^b	5.12±0.61 ^c	6.25±0.40 ^b	5.43±0.68 ^c	5.48±0.56 ^c
Huasteca 600	5.35±0.77 ^b	6.38±0.74 ^b	5.37±1.58 ^c	6.12±0.92 ^b	5.18±1.59 ^c	5.50±1.34 ^c
Huasteca 700	5.35±0.65 ^b	5.97±0.70 ^b	5.20±0.28 ^c	5.83±0.51 ^b	5.30±0.33 ^c	5.32±0.28 ^c
Suaqui 86	5.57±0.28 ^b	6.25±0.78 ^b	4.72±1.25 ^c	5.90±0.83 ^b	4.92±1.38 ^c	5.00±1.15 ^c
Nainari	5.55±0.44 ^b	6.43±0.54 ^b	4.70±0.58 ^c	6.12±0.60 ^b	5.08±0.67 ^c	5.13±0.50 ^c
Guayparime S-10	5.55±0.52 ^b	6.43±0.45 ^b	5.48±0.68 ^c	6.13±0.16 ^b	5.55±0.48 ^c	5.55±0.63 ^c
JP 28955	5.67±0.28 ^b	6.55±0.35 ^b	5.00±0.26 ^c	6.08±0.15 ^b	5.28±0.49 ^c	5.37±0.55 ^c
JP 30790	5.22±0.61 ^b	6.10±0.58 ^b	4.53±1.67 ^c	5.85±0.68 ^b	5.02±1.36 ^c	4.95±1.39 ^c
Vernal	5.20±0.87 ^b	6.03±1.12 ^b	4.88±2.25 ^c	5.67±1.36 ^b	4.92±2.23 ^c	4.97±2.27 ^c

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

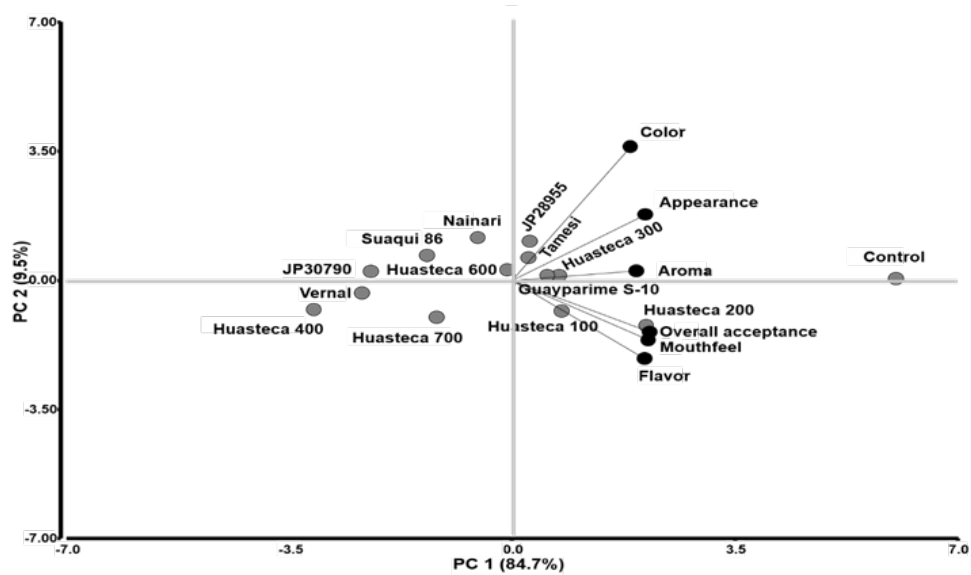


Figure 1. Biplot graphic depicting six sensory traits of acceptance in soybean beverage from Mexican commercial soybean germplasm.

association and high values in attributes such as aroma, overall acceptance, mouthfeel, and flavor, suggesting significant acceptance of these attributes among the panelists (Table 3, Figure 1).

Relative quantification of volatile compounds. Relative quantification of the volatile compounds hexanal, 1-octen-3-ol, 1-hexanol, and 1-penten-3-ol was achieved in eight Mexican soybean beverages, while it was not possible in five others. Hexanal and 1-octen-3-ol were undetectable in the beverages derived from Huasteca 100, Huasteca 200, Huasteca 300, Guayparime S-10, and JP30790. ANOVA revealed significant differences ($p < 0.05$) for hexanal, 1-octen-

3-ol, and 1-hexanol among the Mexican soybean beverages (Table 4). Subsequent mean comparison using Tukey's test showed significant differences ($p < 0.05$) for hexanal and 1-octen-3-ol. The varieties Huasteca 600 and JP28955 exhibited the highest levels of these compounds and were significantly different from the other varieties (Table 5).

PCA facilitated the establishment of associations between identified volatile compounds and the analyzed population of Mexican soybean beverages. The biplot graph of PC1 explained 58% of the total

Table 4. Analysis of variance of volatile compounds identified in soybean beverage from Mexican commercial soybean germplasm.

Compound	Mean squares				p-value		
	Model	Variety	Repetition	Error	Model	Variety	Repetition
1-hexanol	299.99	291.08	8.91	195.11	ns	*	ns
1-penten-3-ol	73.14	69.08	4.06	73.49	ns	ns	ns
hexanal	139.74	135.78	3.96	34.02	**	***	ns
1-octen-3-ol	16.53	15.5	1.04	4.16	**	***	ns

ns= not significant; **= significant difference; *** = highly significant difference.

Table 5. Comparison of the means of four volatile compounds identified in soybean beverage from Mexican commercial soybean germplasm.

Variety	Means ($p < 0.05$)			
	1-hexanol	1-penten-3-ol	hexanal	1-octen-3-ol
Huasteca 400	90.7 ^a	6.2 ^a	2.9 ^c	0.11 ^b
Huasteca 600	97.4 ^a	0.9 ^a	1.5 ^c	0.08 ^b
Huasteca 700	87.2 ^a	3.5 ^a	8.9 ^a	0.43 ^b
Tamesí	93.7 ^a	3.2 ^a	2.9 ^c	0.10 ^b
Suaqui 86	97.4 ^a	0.7 ^a	1.8 ^c	0.04 ^b
Nainari	89.4 ^a	3.8 ^a	6.7 ^b	0.12 ^b
Vernal	93.6 ^a	1.3 ^a	4.0 ^c	1.12 ^b
JP28955	90.3 ^a	2.4 ^a	4.9 ^c	2.49 ^a
Huasteca 100+	-	-	-	ni
Huasteca 200+	-	-	-	ni
Huasteca 300+	-	-	ni	-
Guayparime S-10+	-	-	-	ni
JP30790+	-	-	ni	ni

ni= not identified; +=materials that were not included in the ANOVA and PCA. Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$).

variance, with volatile compounds 1-hexanol and hexanal carrying the highest descriptive weight in PC1. This differentiation allowed for the distinction of varieties Huasteca 600 and Suaqui 86, characterized by high values in 1-hexanol, and the Huasteca 700 variety, exhibiting elevated values in hexanal. Orthogonality of PC2 described 29% of the

explained variation in Mexican soybean beverages, with the volatile compounds 1-penten-3-ol and 1-octen-3-ol contributing significantly to the explained variation. This enabled differentiation of varieties with higher values in these volatile compounds, specifically Huasteca 400 and JP28955, respectively (Figure 2 and Table 2).

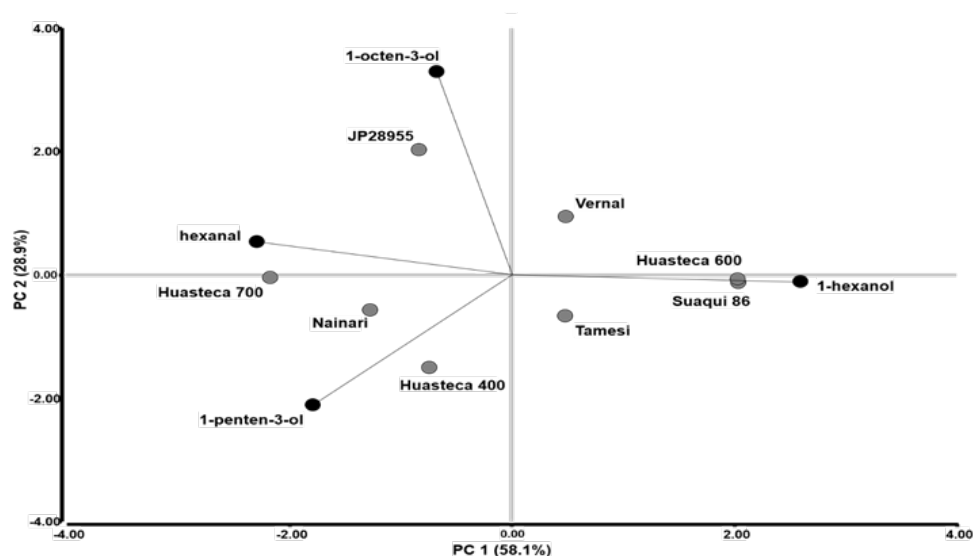


Figure 2. Biplot graphic illustrating the identified volatile compounds in soybean beverage from Mexican commercial soybean germplasm.

Discussion

Sensory analysis and volatile compounds in soybean beverages. The sensory analysis of soybean beverages derived from Mexican varieties revealed high ratings for visual attributes such as color, aroma, and appearance, although deficiencies were noted in flavor and mouthfeel. The Huasteca 200 variety stood out with a favorable sensory profile, comparable to the control beverage, possibly due to its volatile composition, particularly the presence of 1-hexanol and hexanal. Although Huasteca 200 showed higher relative sensory scores among Mexican varieties, its scores did not exceed the general acceptance threshold (>6), indicating the need for further improvement before being considered suitable for consumer markets. 1-hexanol was more abundant in all samples, while hexanal was absent in JP30790 and Huasteca 300, suggesting that 1-hexanol plays a significant role in the bitter taste of JP30790.

1-hexanol and other volatile alcohols, such as 1-penten-3-ol, seem to influence the sensory profile (26), even when lipoxygenase (LOX) activity is reduced or absent (27). This suggests the existence of other biochemical mechanisms modulating the production of these compounds, as evidenced by previous studies on the low genetic variation in the *Lox 1*, *Lox 2*, and *Lox 3* genes in JP30790 (28). Although the absence of LOX activity was expected to mitigate undesirable flavors, this finding indicates that other genetic and molecular factors are involved in the generation of volatiles in soybeans.

1-penten-3-ol, a volatile compound derived from fatty acid hydroperoxides, also plays an important role in flavor (29-31). These hydroperoxides are generated from linoleic and linolenic acids, which are substrates for LOX enzymes. Both Huasteca 600 and Suaqui 86 showed lower relative abundances of 1-penten-3-ol and 1-octen-3-ol but higher levels of 1-hexanol, suggesting that fatty acid composition influences the production of volatiles and, consequently, the sensory profile.

Huasteca 600, although it presented an intermediate sensory profile, contains lower levels of linoleic and linolenic acids, which could explain the lower abundance of 1-penten-3-ol and 1-octen-3-ol compared to other varieties (32). While the fatty acid levels in Suaqui 86 are not fully defined, gas chromatography suggests that it may share

this characteristic with Huasteca 600, contributing to the reduction of unpleasant flavors.

Genetic influence on volatile composition. The Huasteca 300 and Guayparime S-10 varieties presented three additional volatile compounds compared to JP30790, including 1-hexanol in both and hexanal in Guayparime S-10. These varieties showed higher sensory acceptance, likely linked to a nonsynonymous change in exon six of the *Lox 2* gene, affecting the functionality of lipoxygenase 2 in the C/C homozygous genotype, thereby reducing the incidence of undesirable flavors (28).

Soybean beverages derived from Huasteca 100 and Huasteca 200 also stood out in sensory acceptance, with the notable presence of 1-octen-3-ol only detected in Huasteca 300. This highlights the complex interaction between volatiles and flavor perception. This compound was not detected in Guayparime S-10, Huasteca 100, Huasteca 200, or JP30790, which could be explained by genetic and environmental influences, as the production of 1-octen-3-ol is not directly dependent on LOX activity (29-31).

Relationship with pathogen resistance. Guayparime S-10 is the result of a cross between Nainari, which is tolerant to whiteflies (*Bemisia tabaci*), and PI-171443, which is resistant to geminivirus (16). The absence of 1-octen-3-ol in this variety coincides with the lack of pest stress, as in Nainari it has been observed that the production of this compound increases under stress conditions (33). The Huasteca 100 and Huasteca 200 varieties, which share Santa Rosa as a progenitor, also lacked 1-octen-3-ol. Santa Rosa is known for its resistance to frogeye leaf spot (*Cercospora sojina*) (14), suggesting a possible relationship between genetic resistance to pathogens and the absence of certain volatiles.

The case of JP28955 is particularly interesting, as despite being a null variety for LOX activity, it presented the highest relative abundance of 1-octen-3-ol. This finding

contradicts the belief that lipoxygenases are the only pathway for the production of this compound, highlighting the need to explore alternative mechanisms for volatile biosynthesis.

Implications for genetic improvement. This study emphasizes the importance of understanding the relationships between soybean genetics, environmental conditions, and the presence of volatile compounds to optimize the sensory profile of soybean beverages. The absence of hexanal in certain varieties, such as JP30790 and Huasteca 300 (34-36), suggests that genetic improvement aimed at eliminating these compounds could be a viable approach to reduce undesirable flavors.

Varieties such as Guayparime S-10, which do not produce 1-octen-3-ol under low pest infestation conditions, offer a model for future research on the genetic and environmental interactions in volatile biosynthesis. Furthermore, variability in the production of 1-penten-3-ol, associated with fatty acid composition, underscores the potential to use genetic improvement tools to modify these volatile profiles and improve the sensory acceptance of soybean-based products. Although none of the samples achieved optimal hedonic values, Huasteca 200 demonstrated superior sensory characteristics within the evaluated Mexican germplasm. Additionally, the relative presence or absence of specific volatile compounds suggests potential genetic and biochemical pathways for improvement.

Finally, these results provide a baseline for future genetic improvement strategies targeting both sensory quality and biological resistance in Mexican soybean varieties, contributing to the development of products with greater market acceptance.

Acknowledgments

Mónica López Fernández acknowledges CONAHACYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías) and

IPN (Instituto Politécnico Nacional) for the scholarship that supported her doctoral studies in Biotechnology.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

Referencias

1. Janowicz M, Cieurzyńska A, Karwacka M, Kowalska J, Galus S. Mathematical Estimation of the Energy, Nutritional and Health-Promoting Values of Multi-Layer Freeze-Dried Vegetable Snacks. *Appl Sci.* 2022;12(13):6379. <https://doi.org/10.3390/app12136379>
2. Zhu Y, Chen G, Diao J, Wang C. Recent advances in exploring and exploiting soybean functional peptides-a review. *Front Nutr.* 2023;10:1185047. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1185047>
3. Arora A, Dogra A, Dogra A, Goyal B. Production of Soybean beverage and Comparative Analysis with Cow Milk. *Res J Pharm Technol.* 2018;11(10):4515-4520. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2018.00826.0>
4. López-Fernández M, Castillo-Ruiz O, Gill-Langarica HR. First sensory analysis of soybean drinks made with commercial grain grown in Mexico. *CJFS.* 2022;40(5):400-406. <https://doi.org/10.17221/153/2021-CJFS>
5. Carneiro RC, Yin Y, Duncan SE, O'Keefe SF. Edamame flavor characteristics driving consumer acceptability in the United States: a review. *ACS Food Sci Technol.* 2021;1(10):1748-1756. <https://doi.org/10.1021/acfoodscitech.1c00261>
6. Wang B, Zhang Q, Zhang N, Bak KH, Soladoye OP, Aluko RE, Zhang Y. Insights into formation, detection and removal of the beany flavor in soybean protein. *Trends Food Sci Technol.* 2021; 112:336-347. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.018>
7. Moreano ICF, Falquez NPT, Gutiérrez MCM, Bermúdez FLL. Evaluación agronómica de materiales de soya [Glycine max (L.) Merr.] de hiliium claro. *RECIAMUC.* 2017;1(4):850-860. <https://doi.org/10.26820/reciamuc/1.4.2017.850-860>
8. Sakai K, Sato Y, Okada M, Yamaguchi S. Cyclodextrins produced by cyclodextrin glucanotransferase mask beany off-flavors in plant-based meat analogs. *PLoS One.* 2022;17(6):e0269278. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269278>
9. Wang B, Zhang Q, Zhang N, Bak KH, Soladoye OP, Aluko RE, Wang ZH, Dou J, Macura D, Durance TD, Nakai S. Solid phase extraction for GC analysis of beany flavours in soymilk. *Food Res Int.* 1997;30(7):503-511. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00006-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00006-4)
10. Zhang C, Hua Y, Li X, Kong X, Chen Y. Key volatile off-flavor compounds in peas (*Pisum sativum* L.) and their relations with the endogenous precursors and enzymes

- using soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] as a reference. *Food Chem.* 2020;333:127469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127469>
11. Yang A, Smyth H, Chaliha M, James A. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenases. *Food Sci Nutr.* 2016;4(2):207-215. <https://doi.org/10.1002/fsn3.274>
 12. Jegadeesan S, Yu K. Food grade soybean breeding, current status and future directions. *Legume Crops Prospect Prod Uses.* 2020; 51:75. <http://doi.org/10.5772/intechopen.92069>
 13. Rivera de la Rosa AR, Ortiz Pech R. Producción de soya transgénica y miel en Yucatán, México. Impactos en la sustentabilidad de productores en Tekax. *Rev Econ.* 2017;34(88):45-81.2024. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2395-87152017000100045&lng=es&tlng=es
 14. Maldonado Moreno N, Ascencio Luciano G. Huasteca 200, variedad de soya de baja sensibilidad a fotoperiodo corto para el trópico de México. *Rev Mex Cienc Agric.* 2010;1(5):707-714. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000500010&lng=es&tlng=es
 15. Maldonado Moreno N, Ascencio Luciano G. Tamesí, nueva variedad de soya para el trópico húmedo de México. *Rev Mex Cienc Agric.* 2012;3(8):1671-1677. <http://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1332>
 16. Rodríguez-Cota FG, Manjarrez-Sandoval P, Cortez-Mondaca E, Saucedo-Acosta RH, Valenzuela-Herrera V, González-González D, Velarde-Félix S. Guayparime S-10, nueva variedad de soya resistente a mosca blanca y geminivirus para Sinaloa. *Rev Mex Cienc Agric.* 2017;8(1):241-245. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.88>
 17. NARO. Plant Search (Simple Queries). National Agriculture and Food Research Organization (NARO), Genebank Project. Available at https://www.gene.affrc.go.jp/databases-plant_search_en.php. Accessed Dec 16, 2023
 18. Chong WK, Mah SY, Easa AM, Tan TC. Thermal inactivation of lipoxygenase in soybean using superheated steam to produce low beany flavour soybean beverage. *J Food Sci Technol.* 2019;56(9):4371-4379. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03905-4>
 19. Ugochi NF, Chukwuma UM, Nwanneoma OJ, Ndako KJ, Nwabugo MA. Nutrient and sensory quality of soymilk produced from different improved varieties of soybean. *Pak J Nutr.* 2015;14(12):898-906. <https://doi.org/10.3923/pjn.2015.898.906>
 20. Alhendi A, Yang W, Goodrich-Schneider R, Sims C, Marshall S, Sarnoski PJ. Sensory evaluation and flavour analysis of soybean beverage produced from lipoxygenase-free soybeans after modified processes and pulsed light treatment. *Int J Food Sci Technol.* 2018;53(6):1434-1441. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13721>
 21. Stone H, Sidel JL. *Sensory Evaluation Practices* (3rd ed.). Academic Press. (2004)
 22. Meilgaard M, Civille GV, Carr BT. *Sensory Evaluation Techniques* (4th ed.). CRC Press. (2006)
 23. Cruz Flores O, Espinoza Ruiz M, Santiesteban Hernández A, Cruz-López L. Caracterización química de los volátiles de *Tagetes nelsonii*. *Polibotánica.* 2021;(51):203-211. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.13>
 24. Deng J, Yu HJ, Li YY, Zhang XM, Liu P, Li Q, Jiang WJ. Leaf volatile compounds and associated gene expression during short-term nitrogen deficient treatments in *Cucumis* seedlings. *Int J Mol Sci.* 2016;17(11):1713. <https://doi.org/10.3390/ijms17111713>
 25. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
 26. Matsui K, Takemoto H, Koeduka T, Ohnishi T. 1-Octen-3-ol is formed from its glycoside during processing of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seeds. *J Agric Food Chem.* 2018;66(28):7409-7416. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01950>
 27. Baldin ELL, Cruz PL, Morando R, Silva IF, Bentivenha JPF, Tozin LRS. Characterization of antixenosis in soybean genotypes to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype. *B. J Econ Entomol.* 2017;110(4):1869-1876. <https://doi.org/10.1093/jee/tox143>
 28. López-Fernández M, Sifuentes-Rincón AM, Paredes-Sánchez FA, Maldonado-Moreno N, Gill-Langarica HR. Molecular variation of lipoxygenase-associated genes in grain of commercial Mexican soybean cultivars. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 2024;41(2):e244111. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v41.n2.01](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v41.n2.01)
 29. Ning XIA, Yan WB, Wang XQ, Shao YP, Yang MM, Wang ZK, et al. Genetic dissection of hexanol content in soybean seed through genome-wide association analysis. *J Integr Agric.* 2019;18(6):1222-1229. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62674-2](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62674-2)
 30. Yu YJ, Yang SP, Lin T, Qian YF, Xie J, Hu C. Effect of cold chain logistic interruptions on lipid oxidation and volatile organic compounds of salmon (*Salmo salar*) and their correlations with water dynamics. *Front Nutr.* 2020;7:155. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00155>
 31. Tomé-Rodríguez S, Ledesma-Escobar CA, Penco-Valenzuela JM, Priego-Capote F. Cultivar influence on the volatile components of olive oil formed in the lipoxygenase pathway. *LWT.* 2021;147:111485. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111485>
 32. Maldonado Moreno N, Ascencio Luciano G, García Rodríguez JC. Huasteca 600: variedad

- de soya para el sur de Tamaulipas. *Rev Mex Cienc Agríc.* 2017;8(8):1897-1904. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.713>
33. Ayala JAC, Olivas AF, Soto JHV, Pagaza YR, Castillo FDH, López PF, *et al.* Preference for Oviposition by Sweetpotato Whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) 1, in Two Soybean Genotypes, and Volatile Release. *Southwest Entomol.* 2020;45(1):99-108. <https://doi.org/10.3958/059.045.0111>
34. Wang Z, Bao G, Yang C, Yang M, Zhao X, Shao Y, *et al.* A genome-wide association study of hexanal content related to soymilk off-flavours in seed of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Crop Pasture Sci.* 2020;71(6):552-561. <https://doi.org/10.1071/CP20068>.
35. Feng X, Li X, Zhang C, Kong X, Chen Y, Hua Y. Formation mechanism of hexanal and (E)-2-hexenal during soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] processing based on the subcellular and molecular levels. *J Agric Food Chem.* 2021;70(1):289-300. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06732>
36. Choi SW, Ly S, Lee JH, Oh HS, Kim SY, Kim NH, *et al.* Breeding of Penta Null Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] for Five Antinutritional and Allergenic Components of Lipoxygenase, KTI, Lectin, 7S α' Subunit, and Stachyose. *Front Plant Sci.* 2022; 13:910249. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.910249>

Recibido: 22/10/2024
Aceptado: 24/06/2025

Occurrence of aflatoxin M₁ and its main determinants in raw cow milk the Chiriquí in Panama farms

Aracelly Vega¹ , Dianela A. Costamagna² , Marcelo L. Signorini² ,
Audino Melgar M.³ , Eduard A. Villarreal⁴ .

Abstract: Occurrence of aflatoxin M₁ and its main determinants in raw cow milk the Chiriquí in Panama farms.

Introduction: Aflatoxin contamination and its effects on human health have been a global concern and a research subject in developed countries for many decades. However, data generated from Latin America are scarce.

Objective. To evaluate the occurrence of aflatoxin M₁ (AFM₁) and to identify its determinants in raw cow milk under current farm feeding practices in Panama. **Materials and Methods.** The study included 32 raw milk samples and 79 dairy cattle feed samples from 32 farms suppliers for a Panama dairy processing company. Contents of aflatoxin B₁ (AFB₁) and AFM₁ were determined using HPLC-FLC and immunoaffinity columns. The carry-over of AFB₁ to AFM₁ was determined according to aflatoxin contents in feed and raw milk. A survey was also applied to all dairy farmers in the study regarding the explanatory variables associated with AFM₁ occurrence in milk. **Results.** The overall prevalence of AFB₁ in feeds was 39.2%, whereas the highest prevalence was for concentrate feed (74.3%) and the lowest (3.70%) for fresh forages. The occurrence of AFM₁ in milk was 46.8%. The carry-over from AFB₁ to AFM₁ averaged 2.36%, which is characteristic of low-producing cows. **Conclusion.** The incidence and concentration of AFB₁ in dairy cattle feed observed in the present study resulted under the maximum levels set by the U.S. Food and Drug Administration (FDA) and the European Union Commission Regulation (EC). Under current feeding practices, silage and haylage fed are determinants of AFM₁ occurrence in tropical raw cow milk. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 97-107.**

Keywords: Aflatoxin B₁, cattle feed, management practices, HPLC

Resumen: Presencia de aflatoxina M₁ y sus principales determinantes en la leche cruda de vaca en las fincas de Chiriquí, Panamá.

Introducción: La contaminación por aflatoxinas y sus efectos en la salud humana ha sido de preocupación global y un tema de investigación en los países desarrollados durante muchas décadas, pero los datos generados desde América Latina son escasos. **Objetivo.** Evaluar la presencia de aflatoxina M₁ (AFM₁) e identificar sus determinantes en la leche cruda de vaca bajo prácticas actuales de alimentación en Panamá. **Materiales y métodos.** El estudio incluyó 32 muestras de leche cruda y 79 muestras de alimento para ganado lechero de 32 fincas proveedoras de una empresa procesadora de lácteos en Panamá. Los contenidos de aflatoxina B₁ (AFB₁) y AFM₁ se determinaron utilizando HPLC-FLC y columnas de inmunoafinidad. Se calculó la tasa de transferencia de AFB₁ a AFM₁ de acuerdo a los contenidos de aflatoxina en el alimento y la leche cruda. También se aplicó una encuesta a todos los productores lecheros participantes en el estudio, sobre las variables explicativas asociadas con la ocurrencia de AFM₁ en la leche. **Resultados.** La prevalencia total de AFB₁ en los alimentos fue del 39,2%; la prevalencia más alta fue para los concentrados (74,3%) y la más baja (3,70%) para los forrajes frescos. La aparición de AFM₁ en la leche fue del 46,8%. La tasa de transferencia de AFB₁ a AFM₁ promedió 2,36%, característico en vacas de baja producción. **Conclusiones.** La presencia y concentración de AFB₁ en el alimento para ganado lechero observada en el presente estudio resultó por debajo de los niveles máximos establecidos por las regulaciones de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) y la Comisión de la Unión Europea (EC). Según las prácticas de alimentación actuales, el tipo de ensilaje y el henolaje suministrado son determinantes de la ocurrencia de AFM₁ en la leche cruda de vaca en el trópico. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 97-107.**

Palabras clave: Aflatoxina B₁, alimento para ganado, prácticas de manejo, HPLC

¹Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), Centro de Investigación en Recursos Naturales. David 0427, Chiriquí, Panamá. ²Instituto de Investigación de la Cadena Láctea. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Route 34, Km 227, 2300 Rafaela, Santa Fe, Argentina. ³Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Estación Experimental de Gualaca,

Gualaca 4067, Chiriquí, Panamá. ⁴UNACHI, FCNYE, Escuela de Química, Maestría en Ciencias Químicas con Énfasis en Inocuidad Alimentaria, David, Panamá. Autor para la correspondencia: Eduard A. Villarreal, e-mail: edavior2207@gmail.com



Introduction

Aflatoxins are secondary metabolites formed under fungi stress conditions and are mainly produced by the genus *Aspergillus spp*: *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. Fungal growth can occur from plant growth to pre- and post-harvest. *Aspergillus flavus* is found in the soil, contaminates many crops, and can be found in several foods and feed (1-3). Aflatoxin is an essential concern in animal nutrition and human health (4), and there are many types of them, where AFB₁ and AFM₁ are the most toxic. Aflatoxin B₁ is metabolized to AFM₁ in the liver to be excreted through the urine and secreted through the milk. It causes acute aflatoxicosis, characterized by general gastrointestinal symptoms and liver, kidney, and brain failure (5,6). Aflatoxin B₁ also causes chronic aflatoxicosis upon regular ingestion of low doses, inducing the appearance of hepatocellular carcinoma due to carcinogenic, teratogenic, mutagenic, hepatotoxic, and immunosuppressive activities (4). Other effects of AFB₁-contaminated food ingestion in humans and animal feed intake include delayed growth, malnutrition, and immunomodulation (7). It has been documented in dairy cows that AFB₁ has an accumulative effect and may lead to digestive and reproductive harm, interfere with nutrient absorption, and affect the nervous system (8,9).

Various factors, including climate conditions, farming intensity, storage conditions, feed type, source, and quantity fed, influence the presence of AFB₁ in dairy cattle feed. It has been reported that silage, forages, cottonseed, and commercially processed feed have the highest AFB₁ contamination (10,14). AFM₁ has been reported in dairy cattle milk after consuming feed contaminated with AFB₁. A portion of AFB₁ consumed by the cow is reduced to aflatoxicol in the rumen. The remaining portion is absorbed in the small intestine and transported to the liver, where different aflatoxin metabolites are synthesized (15). In the liver, AFM₁ is the primary hydroxylated metabolite of absorbed AFB₁, with a carry-over in cattle milk varying between 0.2 and 6% (11,16).

According to current regulations by the EU and FDA, maximum permitted limits have been set to monitor AFB₁ levels in animal feed and AFM₁ in human food. The EU has set an AFB₁ limit of 5 µg/kg for cattle feed, while the FDA has 20 µg/kg. Regarding fluid milk destined for human consumption, the EU has established an AFM₁ limit of 0.05 µg/L, while the FDA has 0.5 µg/L.

Only a few studies, including a total diet study, have been done in Panama since 1988 to monitor aflatoxin contamination levels and other mycotoxins in foods for human consumption (17-20). While the available information about these toxins is known nationally, there has been no joint approach for studying AFM₁ occurrence in cow milk, contamination paths, and risk factors associated with milk production in Panama. Seeing that there is a high incidence of cancer in the Panamanian population and aflatoxins are highly carcinogenic, it is necessary to monitor the occurrence of AFM₁ in milk. Outputs might contribute to identifying determinants associated with AFM₁ contamination in milk and scientifically justify good feeding management practices on tropical dairy farms aiming to reduce AFM₁ occurrence in milk (21). The present work was an exploratory study to evaluate the occurrence of AFM₁ and to identify its determinants in raw cow milk under current farm management practices in Panama.

Materials and methods

Standards and reagents

The analyses were performed using AFB₁ and AFM₁ standards (Trilogylab; Washington, USA), methanol and acetonitrile (Merck, Germany), AFB₁ immunoaffinity column (Afla-OtaCLEAN; LCTech; Germany), AFM₁ column (AFLAPREP® M; R-Biopharm; Germany), and type 3 purified water (Smart-N Series water purifying system; Heal Force, China).

Sample preparation

Raw milk samples were thawed to 37°C in a water bath, and the fat layer was dispersed using a stir bar. Thawed samples were centrifuged at 2000 x g (Rotina 38R, Hettich Zentrifugen, Germany) to separate and discard the fat and filtered through Whatman #1 filter paper. A volume of 50 to 100 mL of the filtered residual was collected. An aliquot of 50 mL of filtered residual was passed through

the immunoaffinity column with a flow of 2-3 mL/min applying vacuum. The column was washed with 20 mL of water and dried with a nitrogen flow to eliminate the remaining water, and the AFM₁ was slowly eluted with 4 mL of acetonitrile. The acetonitrile was left in contact with the column for at least 60 seconds, evaporated using a nitrogen flow, and diluted in the mobile phase.

Concentrate feed, fresh and conserved forage samples were processed in amounts of 20 g, extracted with 100 mL of methanol at 80%, agitated at high speed using a vortex (MS-X, Scilogex, USA) for 5 min, and filtered through a Whatman #1 filter paper. A filtrate aliquot of 14 mL was taken and diluted with 84 mL of a phosphate buffer solution with 7.2 pH. Then, 50 mL of the diluted extract was passed through the immunoaffinity column at a flow no greater than 2 mL/min, using vacuum or syringe suppression. The column was washed with 10 mL of distilled water, and the residual water was removed. Aflatoxins were eluted with 1 mL of methanol, and this step was repeated twice, leaving it to act in the gel for 5 min. After this, it was dried with nitrogen and diluted in the mobile phase.

Equipment and chromatographic conditions

Concentrations of AFM₁ and AFB₁ were determined using a high-resolution liquid chromatograph (HPLC-FLD; Agilent Technologies; series 1260 Infinity chromatograph, USA). Chromatographic conditions were set for a 100-sample auto-sampler, injection volume of 100 µL, with a quaternary pump system, thermostated column compartment, and fluorescence detector. A post-column UVE photochemical derivatizer (LCTech, Germany) was used for the aflatoxin derivatization.

Aflatoxin B₁

A modification of the methodology proposed by Xiao Y and R, Huber U. (22) was used to determine AFB₁. Concentrate feed, fresh, and conserved forage samples were analyzed according to the AOAC Official Method 2003.02 (23), specifically, AFB₁ in Cattle Feed Immunoaffinity Column Liquid Chromatography Method First Action 2003 (Applicable for the determination of aflatoxin B₁ > 1 ng/g in cattle feed). Chromatographic separation for AFB₁ was done using a Poroshell 120 EC-18 column (4.6 x 50 mm, 2.7 µm) with a mobile phase composed of water/methanol (65/35) and an isocratic flow of 1.2 mL/min. The injection volume was 100 µL, column temperature was 30°C, excitation wavelength was 365 nm, emission wavelength was 440 nm, and

run time was 15 min. The calibration curve was prepared for quantification in 16 to 26 µg/Kg with a sample detection limit of 0.083 µg/Kg. Methodology validation included verification of quantification (LQ) and detection (LD) limits, % recovery, linearity and precision, and the calibration curve for AFB₁ concentration calculated from the analyzed samples. For AFB₁ concentration, the detection limit was 0.083 µg/Kg, and the quantification limit was 0.232 µg/Kg, with an R² of 0.999.

Aflatoxin M₁

The concentration of AFM₁ was determined according to the AOAC Official Method 2000.08 (23) for Aflatoxin M₁ using Liquid Chromatography First Action 2000D.1. Chromatographic separation for AFM₁ was done using a Porochell 120 EC-18 column (4.6 x 50 mm, 2.7 µm), with a mobile phase composed by water/acetonitrile (75/25) in an isocratic flow of 0.8 mL/min. The autosampler injection volume was 100 µL, column temperature was 25°C, excitation length was 365 nm, emission length was 435 nm, and run time was 15 min. The calibration curve for AFM₁ was prepared in a range of 0.6 – 4.0 µg/L with R² of 0.999. The AFM₁ detection limit was 0.066 µg/L, and in the sample was 0.003 µg/L; the AFM₁ quantification limit was 0.173 µg/L and in the sample was 0.009 µg/L.

Sample analysis and chromatograms

Raw milk samples were analyzed in triplicates in HPLC-FLC, injecting 100 µL of the sample under a 15-minute run sequence and the chromatographic conditions previously described. The resulting chromatograms were individually examined to identify the presence or absence of AFM₁. Similarly, all concentrate feed, fresh, and conserved forage samples were analyzed in triplicates, and resulting chromatograms were analyzed to identify AFB₁ levels. Subsequently, a database was developed for statistical analysis.

Carry-over of AFB₁ to AFM₁

The carry-over (CO, %) of AFB₁ to AFM₁ was calculated according to the following equation:

$$CO (\%) = \frac{(AFM_1 \text{ in milk } (\mu\text{g}/\text{cow}/\text{d}))}{(AFB_1 \text{ ingested } (\mu\text{g}/\text{cow}/\text{d}))} \times 100\% \quad (16)$$

The amount of AFM₁ in milk was quantified as the product of the concentration of AFM₁ in the milk sample (µg/L) multiplied by the daily milk volume produced per cow (L/cow). The amount of AFB₁ ingested with the feed was quantified as the product of the concentration of AFB₁ in each type of feed (µg/Kg) on a dry matter basis multiplied by the amount of dry matter intake (DMI) of each feed ingested by the cows according to the feeding scenario of the farm. An average body weight of 450 kg was used to estimate DMI along with the average daily milk production per cow for each farm (DMI, kg/d = (2.6 × 450 kg)/100 + (0.186 kg × kg of milk production)).

Statistical analysis

After examining the survey applied to the farms, a univariate analysis was done through a generalized linear model (GLM) to identify potential explanatory variables associated with AFM₁ in milk. Variables with $p \leq 0.15$ were selected for later multivariate analysis. Multivariate logistic regression analyses were done using a generalized linear mixed model (GLMM) with dairy farms as a randomized effect to evaluate the effect of the chosen explanatory variables. When the response variable was considered continuous (e.g., AFM₁ concentration in milk), it was assumed that it followed a Gamma or Binomial distribution when the response variable was categorized as presence or absence according to the analytical techniques' detection limits and/or the limits set by food safety regulatory entities. A manually conducted backward elimination strategy was followed, excluding one variable with the highest p -value at a time. With each variable deleted from the model, the coefficient was verified for the significant variables, which resulted in a changeover of 20% on the estimations. All statistical analyses were done with InfoStat software (24).

Results

The average milk yield of the studied farms was 804 L/day (range = 120 – 3,300 L/day) with an overall daily milk production of 12 L/cow (range = 6.60 – 21.5), and the average lactation herd size was 64 cows (range = 12 – 180 cows) during the study. Generally, the volume of milk produced in these farms represents 4.71% of the national daily milk production and 11.3% of the daily production in Chiriquí. Farm feeding management practices, level of feed intake, and available feed type were variable among these dairy farms. Estimated DMI averaged 13.9 kg/d (range = 12.9 – 15.7).

Aflatoxin B₁ in dairy cattle feed

The occurrence of AFB₁ in the various feeds given to dairy cows was 39.2%, with an overall mean concentration of 0.205 ± 0.206 µg/Kg (Table 1). Concentrates were the feeds with the highest AFB₁ occurrence (74.3%), and the average concentration was 0.513 ± 0.851 µg/Kg of dry matter. The incidence of AFB₁ in fresh forage was 3.70%, and the average concentration was 0.079 ± 0.016 µg/Kg of dry matter.

Table 1. Aflatoxin B₁ concentration (µg/Kg) in feed samples collected from 32 dairy farms in Chiriquí, Panamá.

Dairy cattle feed type	Sample size	¹ Positive samples	Aflatoxin B ₁ concentration (µg/Kg)	
			² Range	³ Mean ± SD
Concentrate feed	35	26	<DL - 4.976	0.513 ± 0.851
Fresh forage	27	1	<DL - 0.165	0.079 ± 0.016
Corn silage	7	2	<DL - 0.367	0.125 ± 0.107
Grass silage	8	2	<DL - 0.243	0.104 ± 0.079
Haylage	2	0	<DL - >DL	⁴ ND
Overall	79	31	<DL - 0.205	0.205 ± 0.206

¹Positive samples > detection limit (DL) / Muestras positivas > límite de detección (LD); ²Min-Max / Rango mínimo y máximo; ³Mean sample ± standard deviation / Media muestral ± desviación estándar; ⁴Not determined / No determinado; DL= 0.0834 µg/Kg of dry matter in HPLC-FLD / LD = 0.0834 µg/Kg de materia seca en HPLC-FLD.

Aflatoxin M₁ in raw milk

Fifteen of 32 milk samples resulted positive for AFM₁ (<DL – 0.0143). The mean ± SD concentration was 0.004 ± 0.003 µg/L (DL = 0.003 µg/L in HPLC-FLD). None of these samples exceeded the regulation limits established by the EU and the FDA.

Carry-over of AFB₁ to AFM₁

The overall carry-over of AFB₁ to AFM₁ averaged 2.60%, ranging from 0.03 to 10.8% (Table 2); 12 farms rose above the average. For most farms, the carry-over was below 6%, except for farms 11, 21, and 32, averaging 10.8%, 6.92%, and 9.04%, respectively.

Table 2. Carry-over of aflatoxin B1 to aflatoxin M1 in dairy farms. Samples were collected from 32 dairy farms in Chiriquí, Panamá

Dairy farm	Aflatoxin B1 ingestion (µg/d)	Milk production (L/cow/d)	Aflatoxin M1 concentration in milk (µg/L)	Aflatoxin M1 secretion in milk (µg/d)	¹ Carry-over of aflatoxin B1 to aflatoxin M1, (CO %)
1	3.365	11.4	0.0068	0.0775	2.30
2	5.905	9.40	0.0028	0.0263	0.45
3	3.314	21.5	0.0068	0.1462	4.41
4	3.812	9.30	0.0068	0.0632	1.66
5	2.223	11.0	0.0068	0.0748	3.36
6	1.470	12.5	0.0011	0.0138	0.94
7	1.673	9.40	0.0031	0.0291	1.74
8	1.789	11.2	0.0027	0.0302	1.69
9	9.617	8.80	0.0057	0.0502	0.52
10	1.956	18.5	0.0005	0.0093	0.47
11	1.164	10.7	0.0117	0.1252	10.8
12	3.531	12.5	0.0082	0.1025	2.90
13	1.471	10.8	0.0052	0.0562	3.82
14	1.220	15.8	0.0031	0.0490	4.02
15	2.776	15.5	0.0022	0.0341	1.23
16	1.268	9.40	0.0013	0.0122	0.96
17	1.792	6.60	0.0045	0.0297	1.66
18	2.836	12.0	0.0086	0.1032	3.64
19	2.378	9.60	0.0045	0.0432	1.82
20	2.232	11.3	0.0082	0.0927	4.15
21	1.518	10.4	0.0101	0.1051	6.92
22	1.272	19.2	0.0012	0.0230	1.81
23	1.714	10.9	0.0018	0.0196	1.14
24	4.010	12.5	0.0001	0.0013	0.03
25	2.371	10.0	0.0048	0.0480	2.02
26	1.532	9.60	0.0015	0.0144	0.94
27	1.156	11.7	0.0029	0.0339	2.93
28	1.161	10.0	0.0004	0.0040	0.34
29	1.112	8.80	0.0004	0.0035	0.32
30	1.258	18.3	0.0022	0.0403	3.20
31	1.471	12.5	0.0024	0.0300	2.04
32	1.977	12.5	0.0143	0.1788	9.04

¹Calculated as $CO (\%) = \frac{(AFM_1 \text{ in milk } (\mu\text{g}/\text{cow}/\text{d}))}{(AFB_1 \text{ ingested } (\mu\text{g}/\text{cow}/\text{d}))} \times 100\% (16)$

Concentration of AFM₁ in milk and its relation with dairy farm management practices

According to the survey responses, explanatory variables of AFB₁ ingestion potentially associated with AFM₁ occurrence in raw milk were selected and examined for each farm (Table 3). From these variables, concentrate feed storage period on the farm ($p = 0.002$),

amount of haylage fed ($p = 0.005$), silage type fed ($p = 0.04$), and concentrate feed characteristics ($p = 0.09$) resulted associated with AFM₁ occurrence in milk using $p < 0.15$ as significance value. In contrast, all the other examined variables were not associated ($p \geq 0.17$) with AFM₁ concentration in raw milk.

Examining all identified explanatory variables associated with AFM₁ presence in milk by using a

Table 3. Definition of explanatory variables of aflatoxin B1 ingestion with potential association ($p < 0.15$) with aflatoxin M1 concentration in raw milk samples collected from 32 dairy farms in Chiriquí, Panamá

Explanatory variables	Levels	Aflatoxin M1 concentration, $\mu\text{g/L}$ (Mean \pm SD)	p-value
Knowledge about mycotoxins	No	0.005 \pm 0.001	0.74
	Yes	0.004 \pm 0.001	
Carries out composition analysis of feed	No	0.004 \pm 0.001	0.63
	Yes	0.005 \pm 0.002	
Milk yield	<11 L/cow/d	0.005 \pm 0.001	0.85
	>11 L/cow/d	0.004 \pm 0.001	
Dairy cattle breeds	Pure breed	0.005 \pm 0.002	0.47
	Crossbreed	0.004 \pm 0.002	
	Extensive	0.004 \pm 0.001	
Production system	Intensive	0.007 \pm 0.003	0.47
	Semi-intensive	0.004 \pm 0.002	
	Before milking	0.005 \pm 0.001	
Feeding supplement	During milking	0.003 \pm 0.001	0.20
	Before and during milking	0.006 \pm 0.002	
Amount of concentrate feed fed	Kg/d	3.94 \pm 1.43	0.61
Amount of silage fed	Kg/d	2.56 \pm 2.55	0.83
	No silage used	0.004 \pm 0.001	
Silage type fed	Mixed corn and grass silage	0.003 \pm 0.001	0.04
	Corn silage	0.008 \pm 0.002	
Amount of haylage fed	Kg/d	0.50 \pm 1.97	0.005
Concentrate feed storage period on the farm	Below eight days	0.005 \pm 0.001	0.002
	Above eight days	0.002 \pm 0.001	
Concentrate feed characteristics	With sequestrants	0.005 \pm 0.001	0.09
	W/O sequestrants	0.003 \pm 0.001	
Concentrate feed type	Commercial	0.004 \pm 0.001	0.98
	Farm-made	0.004 \pm 0.002	
Farm storage type by infrastructure	Regular (roofed area, open-air)	0.004 \pm 0.001	0.34
	Good (closed storage)	0.005 \pm 0.002	

Data obtained from surveys applied to dairy farms (n = 32). Variables were grouped as nominal or scalar; nominal variables can mostly be categorized to rule out false positives. Levels were answer options. Means according to interviewees

Table 4. Final multivariate logistic regression model (backward selection) for aflatoxin M1 concentration in raw milk samples collected from 32 dairy farms in Chiriquí, Panamá.

Predictive variables	¹ Level	Aflatoxin M1 concentration, µg/L (Mean ± SD)	² p-value
Concentrate feed characteristics	With sequestrants	0.005 ± 0.001	0.06
	W/O sequestrants	0.003 ± 0.001	
	No silage used	0.003 ± 0.001	
Silage type fed	Mixed corn and grass silage	0.002 ± 0.001	0.005
	Corn silage	0.006 ± 0.002	
Amount of haylage fed	Kg/d	0.500 ± 1.967	<0.001

¹Level = answer options / Nivel = opciones de respuesta; ²p-value for a confidence value of 95%; n = 32 milk samples / p-valor para un valor de confianza de 95%; n = 32 muestras de leche.

multivariate logistic regression model indicated that concentrate feed characteristic ($p = 0.06$), silage type fed ($p = 0.005$), and amount of haylage fed ($p < 0.001$) to the cows are three significant variables associated with dairy farm management practices with direct impact on AFM₁ occurrence in milk (Table 4). In contrast, the concentrate feed storage period on the farm was not directly correlated.

Discussion

Dairy cattle feeds are often contaminated with mycotoxins (25), and aflatoxin's presence in milk is a human health issue that needs to be addressed (5). Aflatoxin contamination of feed under farm management practices has been amply discussed (26) and considered by the FDA and EU to establish regulations or recommendations limits in animal feeding. For most farms in this study, cattle feed is mainly based on fresh forage grazing, conserved forage, and commercial supplements of concentrate feed; in a few cases, a grain mix is prepared at the farm.

Aflatoxin B₁ in dairy cattle feed

Overall, AFB₁ values observed were below the EU and FDA norms for dairy cattle feed. The occurrence of AFB₁ in feed samples was lower than values reported in Argentina by Signorini et al. (2012) (27), who observed a general AFB₁ occurrence of 78.9%

in 597 analyzed samples. Notwithstanding, these observed low AFB₁ values should not be ignored because the slightest toxins' presence in cattle feed and animal products represents a risk to animal and human health.

The occurrence of AFB₁ is more common in concentrate feed than forages (28,29). Concentrate feeds are primarily composed of grains and contain soluble carbohydrates, mainly starch, readily available energetic components. In contrast, forages predominantly comprise structural carbohydrates such as cellulose and hemicellulose. Feed sampling in the present study was carried out during the rainy season. During this period, the feeding strategy used by most dairy farms is pasture grazing with concentrate feed supplementation. The most used forage to concentrate feed ratio in these farms oscillates between 60:40 and 70:30.

According to the data in Table 1, concentrates are the dairy feeds with the highest AFB₁ prevalence (74.3%), with maximum values of 4.976 µg/Kg of dry matter. These values are still below the EU regulations and FDA limits. Corn silage, another commonly used feed in dairy cattle, also showed a maximum AFB₁ concentration of 0.367 µg/Kg and a

prevalence of 28.6%. A review study about corn contamination with mycotoxins from 2005 to 2020 reported corn silage as the primary source of AFB₁ in dairy cattle feed (30). Grass silage had an AFB₁ prevalence of 25% but with maximum detected values of 0.243 µg/Kg. Although most fungi do not tolerate some chemical changes during corn or grass ensiling, bad practices during the ensiling process may contribute to AFB₁ occurrence.

Aflatoxin M₁ in raw milk

Occurrences of AFM₁ in milk have been associated with the presence of AFB₁ in feeds (31). Mean AFM₁ variations are explained by dietary differences, feed source availability in each farm, and the level of feed intake. None of the samples with positive results for AFM₁ had concentrations above the limits set by the EU (0.05 µg/L) and FDA (0.5 µg/L). The concentration of AFM₁ in raw milk samples was lower than the values reported in other studies (11-13,27,32,33), probably because all farms participating in this study are suppliers of a dairy processing plant that follows high-quality standards and has implemented strict monitoring programs. There are studies that have shown that even when aflatoxin concentrations in milk for consumption are low, they can accumulate, especially in populations for whom milk is a staple food in their diet, such as children and pregnant women (34,35).

Carry-over of AFB₁ to AFM₁

Carry-over estimation of AFB₁ to AFM₁ in dairy cows is essential in determining the acceptable AFB₁ intake in feed (36). The average carry-over is similar to the results reported by Britzi *et al.* (2013) (36) in low and high-producing dairy cattle under controlled experimental conditions. Rodríguez-Blanco *et al.* (2020) (37) reported a carry-over of 0.6 to 6% in dairy cows, and Costamagna (2018) (11) studies in Argentina reported an average of 0.84% (range 0.05 to 5.93%). Observations suggest that the carry-over of AFB₁ to AFM₁ in dairy cows may be related to the level of intake and milk yield. Farms with higher

AFB₁ ingestion rates above the observed average intake (2.386 µg/d) resulted from fed concentrate contaminated with AFB₁ above the observed average concentration.

According to Britzi *et al.* (2013) (36), AFM₁ appears to be correlated with milk yield and days of lactation. Around 1 to 2% of the ingested AFB₁ has been reported to be metabolized to AFM₁ in cows producing under 30 L/d, and up to ~6% in cows producing more than 30 L/day, cows milked twice daily. Dairy farms with high milk yield tend to feed more concentrate to meet cow production requirements (38).

Studies by Armorini *et al.* (2016) (39) and Costamagna (2018) (11) reported higher levels of AFM₁ in milk from high-production than from low-production dairy cattle. The no association of milk yield as an explanatory variable observed in this study could be related to inferior feed DMI and the national low daily average milk yield in tropical Panama (6 L/cow) compared to countries like Argentina, whose daily average production is 30 L/cow. In the present experiment, cows had a lower level of feed intake than in Costamagna's (11) study (13.9 vs 23.5 kg DMI/day). Besides this, differences in study design may also affect the carry-over and the difference in cattle breed, health, AFB₁ ingestion from the diet, AFB₁ dose, and exposure time (40).

Examining the data used for carry-over estimation of AFB₁ to AFM₁, we observed that the increased carry-over for farms 11, 21, and 32 was related to the more significant AFM₁ presence in milk (above 0.01 µg/L) and not associated with AFB₁ content in feed. A common characteristic in these three farms is that the milk collection truck picks up every two days, unlike the other farms where the collection is done daily or every other day. In this way, any change in the components of the diet during those days prior to collection could have affected the concentration of aflatoxins in the milk stored in the bulk tank.

Concentration of AFM₁ in milk and its relation with dairy farm management practices

Farm management practices related to feeding feeds contaminated with AFB₁ had been studied to examine their association with the occurrence of AFM₁ in milk. As observed in this study, the type of production system, concentrate feed type, amount

of concentrate feed fed, and farm storage type by infrastructure were not associated with AFM₁ occurrence in milk. In contrast, the concentrate feed storage period on the farm, amount of haylage fed, silage type fed, and concentrate feed characteristics were associated. Similar variables were used in Costamagna (2018) (11), Njombwa et al. (2021) (33), and Signorini et al. (2012) (27) studies and their outputs showed that the presence of AFM₁ in milk is predisposed by several factors related to poor farm management practices.

Outputs from the final multivariate logistic regression model showed a lower association between haylage feeding and corn silage feeding amount. Commonly, corn silage is more susceptible to AFB₁ contamination than haylage (41), and the type of carbohydrates present in these feeds explains it. Therefore, corn silage feeding in dairy farms is directly related to the content of AFM₁ in milk (30,37). Levels of AFB₁ in the analyzed forage samples were relatively low, and cows from sampled farms were mainly under a semi-intensive production system on pasture, grazing large amounts of forage.

The association of feeding commercial concentrate feed with mycotoxin sequestrants added with AFM₁ occurrence in milk may be due to the poor storage conditions at the farm level, where it became easily contaminated with fungi. Concentrate feeds are composed of grains containing highly soluble fermentative carbohydrates that predispose to fungi growth under poor storage conditions, representing a potential risk factor associated with AFM₁ in milk.

Conclusions

None of the samples with positive results for AFM₁ had concentrations above the limits set by the EU (0.05 µg/L) and the FDA (0.5 µg/L). Although AFM₁ levels are low and within the range permitted by FDA and EU regulations, there is a cumulative effect of this mycotoxin in vulnerable populations, such as children and pregnant women, due to its consumption as part of the daily diet. Therefore, it is recommended to implement a good practices plan on farms to control the presence of these contaminants in milk. The concentration of AFB₁ in cattle feed observed in the present study resulted under the maximum levels set by FDA and UE regulations. Concentrate feed characteristics, concentrate feed storage period on the

farm, silage type, and amount of haylage fed to the cows were shown to be determinants of AFM₁ occurrence in raw cow milk. Outputs from this study might scientifically justify adequate feeding practices based on current dairy farm management practices.

Acknowledgments

To the Sistema Nacional de Investigación of the Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación of Panamá (SNI-SENACYT); Vice-Rectoría de Investigación y Posgrado of the Universidad Autónoma de Chiriquí, the Masters' Program in Chemical Sciences focused on food safety in the Reinforcement Program for post-graduates from SENACYT, and the Instituto de Investigación de la Cadena Láctea (INTA - CONICET) IDICAL - Estación Experimental Agropecuaria Rafaela of Argentina.

Interests conflict

The authors declare no conflicts of interest.

Referencias

1. Jallow A, Xie H, Tang X, Qi Z, Li P. Worldwide aflatoxin contamination of agricultural products and foods: From occurrence to control. *CRFSFS*. 2021; 20(3):2332-2381. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12734>
2. Caceres I, Khoury AA, El Khoury R, Lorber S, Oswald IP, El Khoury A, et al. Aflatoxin biosynthesis and genetic regulation: A review. *Toxins*. 2020;12(3):150. doi:10.3390/toxins12030150.
3. Rushing BR, Selim MI. Aflatoxin B1: A review on metabolism, toxicity, occurrence in food, occupational exposure, and detoxification methods. *Food Chem. Toxicol.* 2019; 124: 81-100. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.047>.
4. Espinosa-Plascencia A, Bermúdez-Almada MDC. Las aflatoxinas, un tóxico que continúa presente en los alimentos y sus efectos biológicos en los humanos y en los animales. *Tip Rev Espec Cienc Quím Biol.* 2023;26:1-16. doi:10.22201/fez.23958723e.2023.553.
5. Ahlberg S, Grace D, Kiarie G, Kirino Y, Lindahl J. A risk assessment of Aflatoxin M₁ exposure in low and mid-income dairy consumers in Kenya. *Toxins*. 2018; 10(9): 348. <https://doi.org/10.3390/toxins10090348>.

6. Min L, Fink-Gremmels J, Li D, Tong X, Tang J, Nan X, et al. An overview of aflatoxin B1 biotransformation and aflatoxin M1 secretion in lactating dairy cows. *Anim Nutr.* 2021;7(1):42-8. doi:10.1016/j.aninu.2020.11.002.
7. Min L, Li D, Tong X, Sun H, Chen W, Wang G, et al. The challenges of global occurrence of aflatoxin M1 contamination and the reduction of aflatoxin M1 in milk over the past decade. *Food Control.* 2020; 117:107352. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107352>.
8. Gonçalves BL, Corassin CH, Oliveira CAF. Mycotoxicoses in dairy cattle: A review. *Asian J Anim Vet Adv.* 2015;10(11):752-60. <https://doi.org/10.3923/ajava.2015.752.760>.
9. Amaro FX, Jiang Y, Arriola K, Pupo MR, Agostinho BC, Bennett SL, et al. The Effects of Incremental Doses of Aflatoxin B1 on In Vitro Ruminant Nutrient Digestibility and Fermentation Profile of a Lactating Dairy Cow Diet in a Dual-Flow Continuous Culture System. *Toxins.* 2023;15(2):90. <https://doi.org/10.3390/toxins15020090>.
10. Michlig N, Signorini M, Gaggiotti M, Chiericatti C, Basílico JC, Repetti MR, et al. Risk factors associated with the presence of aflatoxin M1 in raw bulk milk from Argentina. *Food Control.* 2016;64:151-156. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.025>.
11. Costamagna DA. Contaminantes en leche, productos y subproductos lácteos: evaluación de factores de riesgo y estrategias de intervención. Rafaela, Buenos Aires: Universidad Nacional del Litoral Facultad de Ingeniería Química, 2018. Tesis Doctoral.
12. Admasu FT, Melak A, Demissie B, Yenew C, Habtie ML, Bekele TT, et al. Occurrence and associated factors of aflatoxin M1 in raw cow milk in South Gondar Zone, North West Ethiopia 2020. *Food Sci Nutr.* 2021;9(11):6286-6293. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2589>.
13. Costamagna D, Gaggiotti M, Signorini ML. Quantitative risk assessment for aflatoxin M1 associated with the consumption of milk and traditional dairy products in Argentina. *Mycotoxin Res.* 2021; 37(49): 315-325. <https://doi.org/10.1007/s12550-021-00444-w>.
14. Ajmal M, Bedale W, Akram A, Yu JH. Comprehensive review of aflatoxin contamination, impact on health and food security, and management strategies in Pakistan. *Toxins.* 2022;14(12):845. doi:10.3390/toxins14120845.
15. Tolosa J, Rodríguez-Carrasco Y, Ruiz MJ, Vila-Donat P. Multi-mycotoxin occurrence in feed, metabolism and carry-over to animal-derived food products: A review. *Food Chem. Toxicol.* 2021; 158(6): <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112661>.
16. Zentai A, Jó zwiak Á, Süth M, Farkas Z. Carry-Over of Aflatoxin B1 from Feed to Cow Milk—A Review. *Toxins.* 2023;15(3):195. <https://doi.org/10.3390/toxins15030195>.
17. Franco H, Vega A, Reyes S, De León J, Bonilla A. Niveles de Ocratoxina A y Aflatoxinas totales en cafés de exportación de Panamá por un método de ELISA. *Arch Latinoam Nutr.* 2014;64(1):42-9.
18. Troestch J, Reyes S, Vega A. Determination of Mycotoxin Contamination Levels in Rice and Dietary Exposure Assessment. *J Toxicol.* 2022; 2022(1): 3596768 <https://doi.org/10.1155/2022/3596768>.
19. Him JJ, Tuñón D, Rodríguez Y. Detección de aflatoxinas en maní y maíz para palomitas en tres marcas locales en Panamá. *Rev. Col. Ciencia.* 2022;3(1):22-9. ISSN 2710-7434.
20. Chong V, De La Cruz A, Cedeño J, Vargas L. Flora fúngica y niveles de aflatoxinas en frutas y hortalizas frescas. *Cienc Agropecu.* 2023; 36: 75-95. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/cienciaagropecuaria/article/view/60>
21. Alameri MM, Kong ASY, Aljaafari MN, Ali HA, Eid K, Sallagi MA, et al. Aflatoxin contamination: An overview on health issues, detection and management strategies. *Toxins.* 2023;15(4):246. doi:10.3390/toxins15040246.
22. Xiao Y, An R, Huber U. Sensitive fluorescence analysis of aflatoxins using post-column UV derivatization on the Agilent 1260 Infinity LC. *Application Note Food Testing & Agriculture.* 2013. Publication No.: 5991-1217EN.
23. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis of AOAC International.* 18th ed. AOAC International; Maryland: 2010.
24. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. *Infostat (Versión 2020) [Programa de Computadora].* [Internet]. Córdoba; 2020. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15>.
25. Smaoui S, D'Amore T, Tarapoulouzi M, Agriopoulou S, Varzakas T. Aflatoxins contamination in feed commodities: From occurrence and toxicity to recent advances in analytical methods and detoxification. *Microorganisms.* 2023;11(10):2614. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102614>.
26. Gallo A, Giuberti G, Frisvad JC, Bertuzzi T, Nielsen KF. Review on mycotoxin issues in ruminants: Occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins.* 2015; 7(8): 3057-3111. <https://doi.org/10.3390/toxins7083057>.
27. Signorini ML, Gaggiotti M, Molineri A, Chiericatti CA, Zapata de Basílico ML, Basílico JC, et al. Exposure assessment of mycotoxins in cow's milk in Argentina. *Food Chem. Toxicol.* 2012;50(2):250-257. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.09.036>
28. Granados-Chinchilla F, Molina A, Chavarría G, Alfaro-Cascante M, Bogantes-Ledezma D, Murillo-Williams A. Aflatoxins occurrence through the food chain in Costa Rica: Applying the One Health approach to mycotoxin surveillance. *Food Control.* 2017;82:217- 226. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.023>
29. Ferrari L, Rizzi N, Grandi E, Clerici E, Tirloni E, Stella S, et al. Compliance between food and feed safety: eight-year survey (2013-2021) of aflatoxin M1 in raw milk and aflatoxin B1 in feed in northern Italy. *Toxins.* 2023;15(3):168. doi:10.3390/toxins15030168.
30. Leite M, Freitas A, Silva AS, Barbosa J, Ramos F. Maize food chain and mycotoxins: A review on occurrence studies. *Trends Food Sci. Technol.* 2021; 115(2): 307-331. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.045>.

31. Sassahara M, Pontes Netto D, Yanaka EK. Aflatoxin occurrence in foodstuff supplied to dairy cattle and aflatoxin M1 in raw milk in the North of Paraná state. *Food Chem. Toxicol.* 2005;43(6):981-984. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.02.003>.
32. Jafari K, Fathabad AE, Fakhri Y, Shamsaei M, Miri M, Farahmandfar R, et al. Aflatoxin M1 in traditional and industrial pasteurized milk samples from Tiran County, Isfahan Province: a probabilistic health risk assessment. *Ital J Food Sci.* 2021;33(Suppl 1):103. doi:10.15586/ijfs.v33iSP1.2054.
33. Njombwa CA, Moreira V, Williams C, Aryana K, Matumba L. Aflatoxin M1 in raw cow milk and associated hepatocellular carcinoma risk among dairy farming households in Malawi. *Mycotoxin Res.* 2021;37(1):89-96. <https://doi.org/10.1007/s12550-020-00417-5>
34. Mamiro AP, Martin HD, Kassim N. Risk of exposure to aflatoxin M1 through consumption of cow's milk among children in Magadu, Morogoro. *Mycotoxin Res.* 2024;40(2):245-53. doi:10.1007/s12550-024-00456-7.
35. Tadesse H, Tamene A, Dessie G. Aflatoxin M1 exposure and health risk assessment in children and adults due to pasteurized milk consumption in Addis Ababa, Ethiopia. *Eur J Agric Food Sci.* 2024;6(2):51-9. doi:10.24018/ejfood.2024.6.2.789.
36. Britzi M, Friedman S, Miron J, Solomon R, Cuneah O, Shimshoni JA, et al. Carry-over of Aflatoxin B1 to aflatoxin M1 in high yielding Israeli cows in mid- and late-lactation. *Toxins.* 2013;5(1):173-83. doi:10.3390/toxins5010173.
37. Rodríguez-Blanco M, Ramos AJ, Prim M, Sanchis V, Marín S. Usefulness of the analytical control of aflatoxins in feedstuffs for dairy cows for the prevention of aflatoxin M1 in milk. *Mycotoxin Res.* 2020;36(1):11-22. <https://doi.org/10.1007/s12550-019-00362>
38. Bervis N, Lorán S, Juan T, Carramiñana JJ, Herrera A, Ariño A, et al. Field monitoring of aflatoxins in feed and milk of high-yielding dairy cows under two feeding systems. *Toxins.* 2021;13(3):201. doi:10.3390/toxins13030201.
39. Armorini S, Altafini A, Zaghini A, Roncada P. Occurrence of aflatoxin M1 in conventional and organic milk offered for sale in Italy. *Mycotoxin Res.* 2016;32(4):237-246. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0256-8>.
40. Iqbal SZ, Jinap S, Pirouz AA, Ahmad Faizal AR. Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2015;46(1):110-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.08.005>.
41. Vaičiulienė G, Bakutis B, Jovaišienė J, Falkauskas R, Gerulis G, Kerzien S, et al. Prevalence of mycotoxins and endotoxins in total mixed rations and different types of ensiled forages for dairy cows in Lithuania. *Toxins.* 2021;13(12):890. doi:10.3390/toxins13120890.

Recibido: 19/11/2024
Aceptado: 23/06/2025

Concordancia de ecuaciones predictivas del gasto energético basal en adultos sanos de Chillán, Chile, 2025

Geraldine Laura Endrussat Araya¹ , Bárbara Daniela Orrego Ubilla¹ , Miguel Ángel López Espinoza¹ .

Resumen: Concordancia de ecuaciones predictivas del gasto energético basal en adultos sanos de Chillán, Chile, 2025. **Introducción:** El Gasto Energético Basal (GEB) es un parámetro esencial tanto en el manejo dietoterapéutico en el ambiente clínico asistencial como para la planificación alimentario-nutricional en la vida diaria. Actualmente existen diversas ecuaciones predictivas para estimar GEB, lo que plantea la interrogante si sus resultados son intercambiables. **Objetivo:** Evaluar la concordancia entre diversas ecuaciones predictivas de GEB en adultos de la ciudad de Chillán (región de Ñuble, Chile). **Materiales y métodos:** Estudio de concordancia concurrente. Fueron estudiados las ecuaciones Harris-Benedict, Mifflin, FAO/OMS/ONU y una con datos locales, denominada López-Valenzuela; en una muestra 102 adultos de ambos sexos entre 18-77 años seleccionados por muestreo de conglomerado. Fueron calculados coeficientes de correlación intraclase (CCI) y se usó el gráfico de Bland-Altman, con R-Studio. **Resultados:** El 49% presentó una edad entre 18 y 44 años y el 51% registró una edad entre 45 y 77 años. Los CCI más altos fueron entre las fórmulas de Harris-Benedict versus FAO/OMS/ONU (0,94; IC 95%: 0,91 – 0,96) y entre Harris-Benedict versus López-Valenzuela (0,93; IC 95%: 0,89 – 0,95), mientras que los más bajos fueron entre Mifflin versus FAO/OMS/ONU (0,42; IC 95%: 0,25 – 0,57) y entre Harris-Benedict versus Mifflin (0,51; IC 95%: 0,36 – 0,64). Los gráficos de Bland-Altman revelaron sesgo positivo al comparar los resultados entre las ecuaciones de Harris-Benedict y López-Valenzuela, y un sesgo negativo al contrastar Mifflin con López-Valenzuela y FAO/OMS/ONU. **Conclusiones:** No todas las ecuaciones predictivas de GEB son intercambiables, lo que subraya la importancia de seleccionar cuidadosamente la ecuación según las características específicas de la población evaluada. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 108-117.**

Palabras clave: Adultos; antropometría; confiabilidad; ecuaciones de gasto energético basal; metabolismo energético.

Abstract: Agreement of predictive equations for basal energy expenditure in healthy adults from Chillán, Chile, 2025. **Introduction:** Basal Energy Expenditure (GEB) is an essential parameter both in dietary management in the clinical care setting and for food and nutrition planning in daily life. Currently, there are several predictive equations to estimate GEB, which raises the question if their results are interchangeable. **Objective:** To evaluate the agreement between various GEB predictive equations in adults from the city of Chillán (capital of the Ñuble region, Chile). **Materials and methods:** Concurrent agreement study. The Harris-Benedict, Mifflin, FAO/WHO/UN equations and one with local data, called López-Valenzuela; in a sample of 102 adults of both sexes between 18-77 years old selected by conglomerate sample. Intraclass contribution coefficients (ICC) were calculated and the Bland-Altman graph was used, with R-Studio. **Results:** 49% were between 18 and 44 years old and 51% were between 45 and 77 years old. The highest ICCs were between the Harris-Benedict versus FAO/WHO/UN formulas (0.94; 95% CI: 0.91 – 0.96) and between Harris-Benedict versus López-Valenzuela (0.93; 95% CI: 0.89 – 0.95), while the lowest were between Mifflin versus FAO/WHO/UN (0.42; 95%: 0.25 – 0.57) and between Harris-Benedict versus Mifflin (0.51; 95% CI: 0.36 – 0.64). The Bland-Altman plots revealed positive bias when comparing the results between the Harris-Benedict and López-Valenzuela equations, and a negative bias when contrasting Mifflin with López-Valenzuela and FAO/WHO/UN. **Conclusions:** Not all GEB predictive equations are interchangeable, which underlines the importance of carefully selecting the equation according to the specific characteristics of the population evaluated. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 108-117.**

Keywords: Adults; anthropometry; reliability; basal energy expenditure equations; energy metabolism.

Introducción

El gasto energético basal (GEB), también denominado tasa metabólica basal (TMB) es la energía mínima que consume un organismo compatible con la vida, que incluye la renovación

¹Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Adventista de Chile, Chillán, Chile. Autor para la correspondencia: Miguel Ángel López Espinoza, e-mail: miguellopez@unach.cl



de sustrato, la respiración, el gasto cardíaco y la regulación de la temperatura corporal; en sujetos con reposo absoluto, vigilia y en ayunas, con exclusión de cualquier otro factor o estímulo externo (1-2-3); por lo tanto, implica una medición de los tejidos en condiciones de equilibrio (3). Representa el 50% y 60-70% del gasto energético total (GET) en sujetos activos y sedentarios, respectivamente (4). El GEB es un proceso incentivado por la oxidación celular de las proteínas, lípidos e hidratos de carbono, que generan aproximadamente 4, 9 y 4 kcal por kilogramo, respectivamente (1). Existen factores vinculados al GEB como la edad (4), talla, sexo (5), temperatura corporal (6), ciclo menstrual o climaterio (7) y composición corporal (8), como otros que incluyen el clima (9-10) y la raza (10).

El GEB se puede medir a través de distintos métodos, como por calorimetría directa, que recoge información sólo por intermedio del calor corporal con circuito sofisticado e inmóvil (11); la calorimetría indirecta se basa en la medición del intercambio de gases pulmonares para estimar los sustratos oxidados y la energía generada. Por medio de esta técnica se determina el cociente respiratorio (CR), que varía según el sustrato metabolizado: para carbohidratos, el CR es 1,0 (1,2,12); para lípidos es 0,7; y para proteínas, 0,8; mientras que en el caso de una oxidación mixta el CR también puede aproximarse a 0,8 (13). Por otra parte, existen métodos como los isótopos estables no radioactivos, como el agua doblemente marcada usada para evaluar composición corporal y para el cálculo del GEB. Se usa un enfoque de medición de energía en base a oxígeno ¹⁸ y deuterio, compuestos en una sola muestra oral bebible, inocuo para el organismo y compatible con la efectividad en los resultados posteriores, con el fin de ser excretados en la orina del individuo para su análisis (14).

Todos los métodos anteriormente mencionados son considerados altamente costosos y poco accesibles para su utilización rutinaria en el área clínica o en población sana. Es por ello que se han implementado múltiples ecuaciones predictivas que permiten estimar el GEB con datos de variables más accesibles (16-18). Entre las más

reconocidas se encuentra Harris y Benedict, creada en el año 1918, que calcula el GEB a partir del peso, talla y edad, separadas por sexo (18, 19). Otra ecuación predictiva destacada por incluir las mismas variables del caso anterior corresponde a la de Mifflin, del año 1990 (20). Además, la Organización de las Naciones Unidas/Organización Mundial de la Salud en 1996 diseñó una ecuación predictiva del GEB (FAO/OMS/ONU), que, a diferencia de las anteriores, solo incluye en su cálculo la edad, peso y sexo (21); o la ecuación de Schofield, en 1985, que ambas toman en cuenta los mismos componentes y excluyen la talla (22). En el ámbito clínico destaca la ecuación de Ireton-Jones publicada en 1992 (23) que considera como variables predictoras la edad, peso, sexo, obesidad, uso de ventilación mecánica, diagnóstico de trauma y quemadura; como también la ecuación Penn State en el 2004 que se utiliza en este mismo ámbito (24). En Chile se han creado ecuaciones predictivas con muestra adulta local y sana, como la de Carrasco *et al.* (25) o la publicada por López y Valenzuela (26), que contemplan variables de composición corporal extra en comparación con las ecuaciones tradicionales,

Ante la diversidad de ecuaciones predictivas utilizadas para estimar el GEB, las cuales emplean diferentes variables predictoras, tipo de población (sana o enferma) y raza o etnia de donde provengan los usuarios; pueden ser las explicaciones a resultados diferentes en un mismo paciente (27). Esta variabilidad genera una percepción de desconfianza en los métodos empleados en lugar de seguridad (28). La necesidad de establecer la concordancia entre estas ecuaciones se vuelve determinante para observar qué ecuaciones generan resultados intercambiables, facilitando su aplicación efectiva en la práctica clínica y en la investigación científica. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar el grado de concordancia entre las diferentes ecuaciones que predicen el gasto energético basal en adultos sanos en sectores de la ciudad de Chillán, Chile.

Materiales y métodos

Diseño. Estudio de concordancia concurrente (transversal).

Población. Los participantes de este estudio son adultos de dos sectores habitacionales residenciales (El Esfuerzo y Los Naranjos) ubicados en la zona sur de la ciudad de Chillán, capital de la Región de Ñuble, que se encuentra en la zona centro sur de Chile.

Muestra. Se analizó una muestra de 102 adultos de ambos sexos que permitió calcular un coeficiente de correlación de Pearson de 0,518 entre las ecuaciones predictivas que estiman el GEB, con un nivel de confianza de 95% ($1-\alpha$) y una potencia estadística de 80% ($1-\beta$). Aunque este valor no corresponde al coeficiente de correlación intraclase (CCI), que es el objetivo central de este estudio, corresponde al antecedente más cercano publicado hasta la fecha por Wang, *et al.* (29). Se pretendió seleccionar a los adultos con el método de muestreo por conglomerados (30). La primera etapa consistió en escoger al azar (números aleatorios obtenidos con R-Studio) las casas habitacionales de ambos sectores poblacionales (unidades de muestreo) y luego sujetos sobre 18 años por azar (unidades de análisis).

Criterios de elegibilidad. Se incluyeron a adultos que presentaron los siguientes criterios; a) de ambos sexos; b) con un rango de edad de 18- 78 años; c) dispuestas y capaces de dar su autorización por escrito.

Fueron excluidos aquellos con los siguientes criterios; a) embarazadas; b) enfermedades auto declaradas como insuficiencia renal, hipertensión y cardíacas; indicado; c) que curse actualmente un cuadro infeccioso de vías respiratoria u de otra naturaleza de al menos tres días; d) amputados; e) en periodo de lactancia; f) alteración de presión sanguínea; g) ingesta de alcohol o café ocho horas antes de la medición.

Aspectos éticos. El estudio fue aprobado por el Comité Ético Científico de la Universidad Adventista de Chile, con resolución N° 2024-47, de fecha de 26.06.24.

Variabes. La variable primaria del estudio es la estimación del gasto energético basal, medido en kcal/día. Las variables secundarias fueron: edad (años), sexo (hombre y mujer), talla (metros), peso (kilogramos), circunferencia de cintura (centímetros), circunferencia de cadera (centímetros), presión arterial (milímetro de mercurio).

Descripción instrumentos. Para las variables antropométricas que formaron parte de las ecuaciones predictivas se realizaron con los siguientes instrumentos:

Cuestionario de antecedentes personales: elaborado por las autoras del estudio, cuyo objetivo fue recoger información para caracterizar a la muestra de los adultos que residen en los dos conjuntos habitacionales descritos. Contiene nueve preguntas y abarca desde antecedentes personales hasta antecedentes clínicos.

Balanza digital, marca Seca modelo 803. Se utilizó para la medición de peso corporal, con capacidad de 200 kg y exactitud de 100 gr.

Tallímetro de adulto portátil armable, marca Seca, 205 cm de alto, función mecánica, división de 50 mm, para la toma de talla de los sujetos.

Cinta métrica metálica, flexible e inextensible, marca Cescorf. Se utilizó para la toma de circunferencia de cintura y cadera, contiene 10 cm de margen sin numeración, con precisión de 1 mm, 2,2 mm de longitud y 6 mm de ancho.

Recopilación de datos. La recolección de datos se realizó entre 10:00 a 16:00 hr en días según disponibilidad de la muestra, se acordaron días específicos para realizar procedimientos. Los sujetos fueron entrevistados y medidos por las autoras del estudio.

Para los procedimientos antropométricos implicados se solicitó como máximo de ropa prendas ligeras (por ejemplo, traje de baño, ropa interior), de pie, con el torso recto y la cabeza erguida. Para la medición de peso, el individuo se situó en el centro de la balanza sin zapatos (de preferencia haber evacuado previamente), y se tuvo como tolerancia de medición hasta 100 gramos en tres repeticiones sucesivas. La talla se tomó sin ningún tipo de adorno que pueda entorpecer los resultados, en posición de espaldas al tallímetro, no sobrepasaron más de ciertos centímetros de ancho (23 cm) y se consideró el alineamiento de la cabeza según el plano de Frankfurt, dando énfasis al alineamiento de ojos y curva de la oreja formando una línea recta. La CC se midió solicitando a los individuos cruzar los brazos en dirección al pecho para que una evaluadora se posicionara al lado derecho, e identificó en el abdomen el borde superior de la cresta iliaca (ilion de pelvis) y el borde de la última costilla como guía para realizar la medición en un punto medio. Se colocó encima del punto identificado la cinta métrica en el sector de la cintura marcando la lectura. Para la circunferencia de cadera (CCa), una evaluadora se enfocó en la parte posterior del individuo, identificando la parte más prominente de los glúteos en posición horizontal; con cinta métrica se rodeó

la zona de la cadera evitando la compresión de la zona identificada para finalmente generar la lectura (31).

Una vez obtenidas todas las mediciones, se insertaron en las ecuaciones predictivas de GEB que están disponibles la Tabla 1.

Análisis estadístico

Con el objetivo de medir la concordancia obtenida por ecuaciones predictivas de GEB en participantes del estudio, se aplicó el coeficiente de correlación de intracase ICC, con un 95% de probabilidad de confianza. Además, se graficó el grado de concordancia con el método de Bland-Altman. Se utilizaron los siguientes paquetes: “icc” (33), “irr” (34) y “lme4” (35) en R-Studio (36).

Resultados

Se estudió una muestra de 102 participantes entre 18 y 77 años, de los cuales el 65% fueron mujeres; el 49% registró una edad entre 18 y 44 años y el 51% registró una edad entre 45 y 77 años. Ninguno informó comorbilidad (Tabla 2).

El Gráfico 1 muestra los diagramas de Bland-Altman correspondientes a las seis comparaciones evaluadas en este estudio. Los resultados obtenidos entre Harris-Benedict y FAO/OMS/ONU reflejaron la mayor concordancia, con diferencias en el GEB cercanas a cero y límites en torno a las 100 calorías, presentando pocos casos fuera de dichos márgenes y sin evidencia de sesgo positivo o negativo. En la comparación entre Harris-Benedict y López-Valenzuela, se observó que la primera ecuación estima aproximadamente 250 calorías más de GEB que la segunda, con límites de concordancia que oscilan entre 120 y 400 calorías. Además, se identificó una leve tendencia a un sesgo

Tabla 1. Ecuaciones estimativas para cálculo de gasto energético basal integradas en el estudio.

Autores	Sexo	Ecuaciones estimativas
Harris <i>et al.</i> (6)	Hombre	$66,5 + (13,75 \times \text{peso en kg}) + (5,003 \times \text{altura en cm}) - (6,75 \times \text{edad en años})$
	Mujer	$655,1 + (9,56 \times \text{peso en kg}) + (1,850 \times \text{altura en cm}) - (4,68 \times \text{edad en años})$
Mifflin <i>et al.</i> (20)	Hombre	$(10 \times \text{peso en kg}) + (6,25 \times \text{talla en cm}) - (5 \times \text{edad en años}) + 5$
	Mujer	$(10 \times \text{peso en kg}) + (6,25 \times \text{talla en cm}) - (5 \times \text{edad en años}) + 161$
López <i>et al.</i> (26)	Hombre	$813,09 + (14,80 \cdot \text{peso en kg}) - (5,77 \cdot \text{cadera en cm}) + (135,93 \cdot 1) - (2,10 \cdot \text{edad en años})$
	Mujer	$813,09 + (14,80 \cdot \text{peso en kg}) - (5,77 \cdot \text{cadera en cm}) + (135,93 \cdot 0) - (2,10 \cdot \text{edad en años})$
FAO/OMS/UNU (21-28)	Hombre	18-30 años: $15,057 \times \text{peso en kg} + 692,2$
		30-60 años: $11,472 \times \text{peso en kg} + 873,1$
		>60 años: $11,711 \times \text{peso en kg} + 587,7$
	Mujer	18-30 años: $14,818 \times \text{peso en kg} + 486,6$
		30-60 años: $8,126 \times \text{peso en kg} + 845,6$
		>60 años: $9,082 \times \text{peso en kg} + 658,5$

Tabla 2. Características de los participantes del estudio

Características	n	%
Sexo		
Mujer	67	65,0
Hombre	35	34,3
Edad		
18- 44	50	49
45-77	52	51

positivo conforme aumenta el promedio de GEB estimado por ambas ecuaciones.

Por otro lado, las diferencias entre las ecuaciones de López-Valenzuela y FAO/OMS/ONU muestran que López-Valenzuela estima aproximadamente 200 calorías menos que FAO/OMS/ONU, sin evidenciar una tendencia clara de sesgo en el rango de GEB promediados. En cuanto a la comparación entre Mifflin y López-Valenzuela, se observó una tendencia más evidente hacia un sesgo negativo. Además, Mifflin estimó en promedio 400 calorías más de GEB que López-Valenzuela (Gráfico 1).

Gráfico 1. Comparaciones de Bland-Altman para el GEB/día estimadas por diferentes ecuaciones predictivas (n=102)

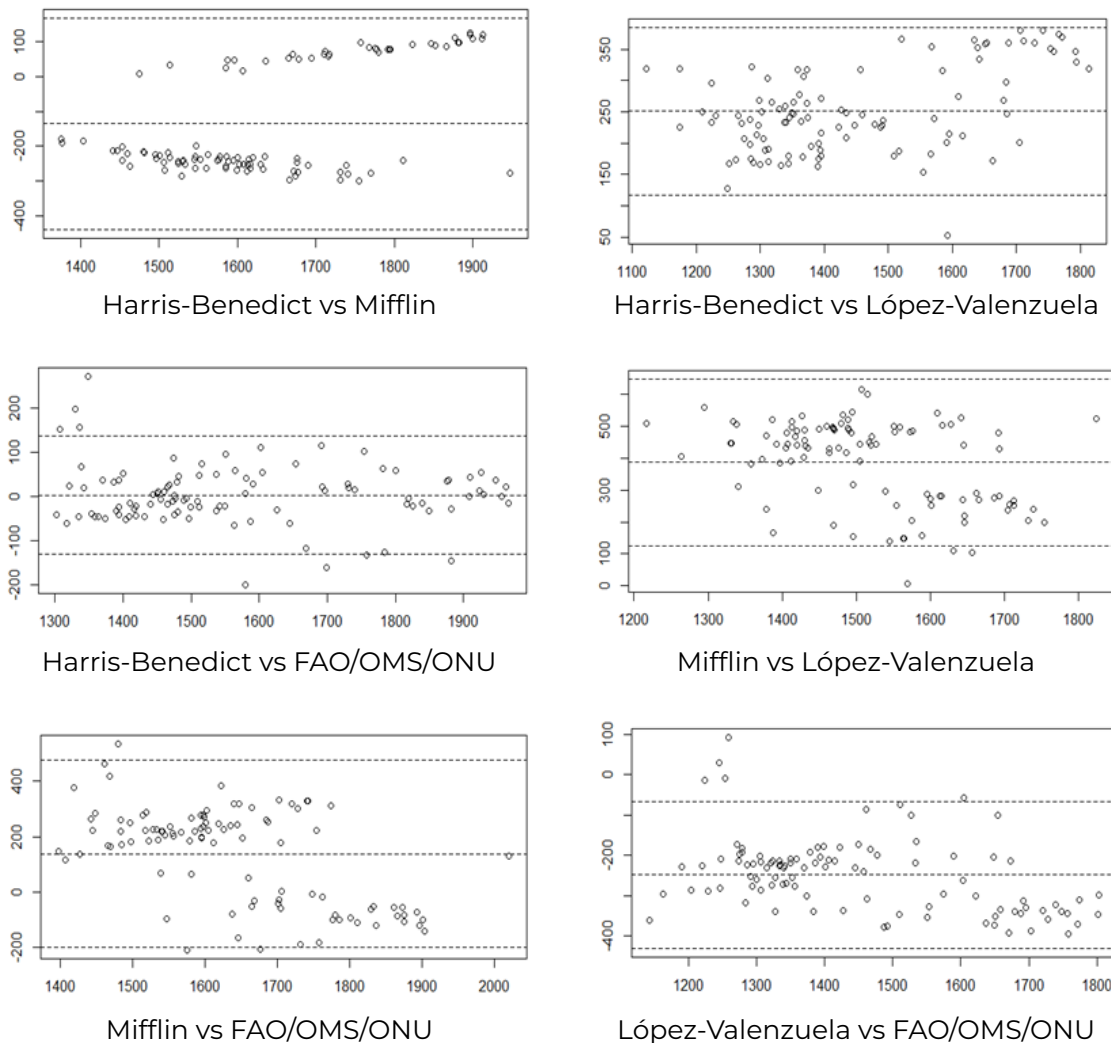


Tabla 3. Valores de ICC e intervalos de confianza entre ecuaciones predictivas, desagregadas por sexo y grupo etario.

Variables	Harris-Benedict vs Mifflin	Harris-Benedict vs López-Valenzuela	Harris-Benedict vs FAO/OMS/ONU	Mifflin vs López-Valenzuela	Mifflin vs FAO/OMS/ONU	López-Valenzuela vs FAO/OMS/ONU
Global (n=102)	0,51 (0,36 - 0,64)	0,93 (0,89 - 0,95)	0,94 (0,91 - 0,96)	0,53 (0,36 - 0,66)	0,42 (0,25 - 0,57)	0,87 (0,81 - 0,91)
Sexo						
Hombre (n=35)	0,97 (0,94 - 0,98)	0,76 (0,57 - 0,87)	0,83 (0,69 - 0,91)	0,77 (0,590 - 0,88)	0,82 (0,67 - 0,90)	0,71 (0,56 - 0,81)
Mujer (n=67)	0,97 (0,95 - 0,98)	0,89 (0,83 - 0,93)	0,81 (0,71 - 0,88)	0,881 (0,81 - 0,93)	0,78 (0,67 - 0,86)	0,71 (0,56 - 0,81)
Grupo etario						
18-44 (n=50)	0,45 (0,20 - 0,65)	0,95 (0,91 - 0,97)	0,98 (0,96 - 0,99)	0,57 (0,35 - 0,73)	0,44 (0,19 - 0,64)	0,92 (0,87 - 0,95)
45-77(n=52)	0,49 (0,25 - 0,67)	0,94 (0,90 - 0,96)	0,88 (0,80 - 0,93)	0,44 (0,19 - 0,63)	0,30 (0,03 - 0,52)	0,81 (0,69 - 0,89)

ICC: Correlación intra-clase y entre paréntesis se presentan sus intervalos de confianza con 95% de probabilidad

En la comparación entre Mifflin y FAO/OMS/ONU, Mifflin estimó valores más altos de GEB (en torno a 200 calorías) y se evidenció un sesgo claro de tendencia negativa conforme aumenta el promedio de GEB estimado por ambas ecuaciones. En el caso de Harris-Benedict versus Mifflin, se detectó un sesgo de tendencia positiva cuando Harris-Benedict estimó valores de GEB más altos, mientras que un sesgo de tendencia negativa se presentó cuando Harris-Benedict estimó valores de GEB más bajos que Mifflin (Gráfico 1).

La Tabla 3 presenta los valores de CCI correspondientes a las ecuaciones predictivas analizadas. Las comparaciones con los CCI más altos fueron entre Harris-Benedict y FAO/OMS/ONU (CCI = 0,94; IC 95%: 0,91-0,96) y entre Harris-Benedict y López-Valenzuela (CCI = 0,93; IC 95%: 0,89-0,95). Por el contrario, las comparaciones con los menores valores de CCI se observaron entre Mifflin y FAO/OMS/ONU (CCI = 0,42; IC 95%: 0,25-0,57) y entre Harris-Benedict y Mifflin (CCI = 0,51; IC 95%: 0,36-0,64).

Una vez desagregada la muestra por sexo y grupo etario (Tabla 3), se encontró que las

ecuaciones de Harris-Benedict y Mifflin presentaron los valores más altos de CCI tanto en mujeres (CCI = 0,97; IC 95%: 0,95-0,98) como en hombres (CCI = 0,97; IC 95%: 0,94-0,98). Sin embargo, al analizar por grupo etario, se observaron algunos de los valores más bajos de concordancia. En el grupo de 18-44 años, la comparación entre Harris-Benedict y FAO/OMS/ONU obtuvo el mayor CCI (0,98; IC 95%: 0,96-0,99), mientras que, en el grupo de 45-77 años, la mayor concordancia se encontró entre Harris-Benedict y López-Valenzuela (CCI = 0,94; IC 95%: 0,90-0,96), siendo este el valor más alto dentro de este rango de edad.

Discusión

Los resultados de este estudio reflejan la variabilidad existente en la concordancia de diferentes ecuaciones predictivas para estimar el GEB, lo que tiene implicaciones significativas para su uso clínico y poblacional. En general, las ecuaciones de Harris-Benedict y FAO/OMS/ONU mostraron la mayor concordancia, evidenciada por límites estrechos de acuerdo y una distribución homogénea de las diferencias alrededor de cero en los gráficos de Bland-Altman. Estos hallazgos coinciden con la

evidencia publicada por Gómez *et al* (32), quienes reportaron un grado de acuerdo de 0,93. Un estudio que comparó estas dos ecuaciones por separado con calorimetría indirecta encontró una mayor precisión al estimar el GEB en personas con obesidad (37). Esto podría explicarse por el hecho de que la ecuación de FAO/OMS/ONU se construyó basándose en la versión original de la ecuación de Schofield (22), que incluye el peso y la edad como variables predictoras, siendo el peso un potente determinante del GEB, presente también en la ecuación de Harris-Benedict. Además, las ecuaciones FAO/OMS/ONU fueron obtenidas mayoritariamente en hombres jóvenes provenientes de fuerzas armadas y policiales, mientras que Harris-Benedict empleó datos de adultos caucásicos estadounidenses y con peso normal (38), lo que explicaría la alta correlación al sustentarse ambas ecuaciones en poblaciones comparables.

Por el contrario, las ecuaciones que incluyen a Mifflin mostraron menor concordancia, especialmente al compararse con FAO/OMS/ONU y López-Valenzuela, donde se observaron sesgos negativos más marcados y límites de acuerdo más amplios. Un estudio realizado con una muestra local que aplicó diferentes ecuaciones predictivas de GEB también encontró discrepancias en sus resultados (39). Esta menor precisión podría estar influida por diferencias en las características de las poblaciones donde se desarrollaron estas ecuaciones, como el estado nutricional o la composición corporal, siendo esta última con una fuerte correlación con el GEB, con una estimación de 4,5 kcal/día por cada kg de grasa versus 13 kcal/día por kg de músculo (38). A mayor grado de obesidad, existe mayor variabilidad en la distribución de la masa grasa: grasa subcutánea, ectópica, visceral, androide o ginecoide (con diferentes funciones) y la masa libre de grasa; donde la obesidad está vinculado a sobrehidratación general (40). Si estas variables se toman parcial o simplemente no se las consideran como variables en las ecuaciones, pueden explicar tales errores de predicción. Es por ello que las ecuaciones que utilizan masa libre de grasa son más precisas que las ecuaciones que incluyen sólo el peso corporal (41).

Además, la composición corporal puede estar condicionada por la etnia (42). De hecho, al comparar ecuaciones derivadas de poblaciones con distintos orígenes (caucásicas, como Mifflin y FAO/OMS/ONU, versus latinoamericanas, como López-Valenzuela), se observa una clara diferencia

en las tallas promedio, vinculada a la ascendencia (43). De hecho, comparado con calorimetría indirecta, la ecuación de Mifflin presenta mejor precisión en población caucásica, predominantemente mujeres, con sobrepeso u obesidad y síndrome metabólico (40).

Un hallazgo destacado es la tendencia de sesgo observada en los gráficos de Bland-Altman. En el caso de Harris-Benedict versus López-Valenzuela, se evidenció un leve sesgo positivo, posiblemente debido a una sobreestimación sistemática del GEB a medida que este aumenta. En contraste, las comparaciones entre Mifflin y otras ecuaciones, como FAO/OMS/ONU y López-Valenzuela, mostraron un sesgo negativo más pronunciado, indicando que Mifflin tiende a sobreestimar el GEB en sujetos con valores más bajos y a subestimarlos en aquellos con valores más altos. Este comportamiento es particularmente relevante, ya que podría llevar a errores en la planificación dietética, especialmente en poblaciones con requerimientos energéticos extremos; y que a juicio de Thom *et al* (44) es preocupante que la aplicación de ecuaciones predictivas sea la herramienta disponible que se utiliza con mayor frecuencia en la práctica clínica de la desnutrición y obesidad.

El análisis desagregado por sexo y grupo etario aporta matices adicionales. Los mayores coeficientes de correlación intraclase (CCI) se encontraron en mujeres y hombres al comparar las ecuaciones de Harris-Benedict y Mifflin (CCI=0,97), lo que indica una alta concordancia dentro de cada grupo por sexo. Sin embargo, el análisis por grupos etarios mostró variaciones más marcadas, con valores de CCI significativamente menores en algunos casos. En el grupo de 18-44 años, la comparación entre Harris-Benedict y FAO/OMS/ONU arrojó un CCI de 0,98, resultado similar al reportado por Oliveira *et al* (45), quienes encontraron un coeficiente de 0,98 en una muestra con una edad promedio de 45 años. Por otro lado, en el grupo de 45-77 años, la mejor concordancia se observó entre Harris-Benedict y López-Valenzuela (CCI=0,94). Estas diferencias

podrían atribuirse a variaciones metabólicas relacionadas con la edad, lo que sugiere que algunas ecuaciones son más adecuadas para ciertos grupos etarios.

Finalmente, aunque este estudio aporta evidencia valiosa, se requiere más investigación que evalúe la concordancia de estas ecuaciones en poblaciones específicas, como individuos con condiciones metabólicas, estados nutricionales extremos o diferentes niveles de actividad física, para validar su aplicabilidad en contextos clínicos y comunitarios.

Conclusiones

No todas las ecuaciones predictivas para estimar el GEB son intercambiables según contexto poblacional y clínico del estudio. Las ecuaciones de Harris-Benedict y FAO/OMS/ONU se perfilan como las más consistentes, mientras que las de Mifflin y López-Valenzuela podrían requerir ajustes o validaciones adicionales para optimizar su aplicabilidad y confiabilidad en poblaciones específicas. Estos hallazgos implican seleccionar la ecuación predictiva que mejor se adecúe a las características individuales de los pacientes, especialmente en la desnutrición y obesidad. Se recomienda realizar estudios a nivel local o regional para conocer los niveles de validez de estas y otras potenciales ecuaciones para su uso en la práctica profesional.

Agradecimientos

A la Dirección de Investigación de la Universidad Adventista de Chile por haber financiado el proyecto, código PI-230 2024.

Referencias

1. Mahan LK, Raymond JL. Krause. Dietoterapia. 14^a ed. apartado 2. Barcelona: Elsevier; 2014
2. Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry in clinical practice. *J Clin. Med.* 2019; 8(9): 1387. <https://doi.org/10.3390/jcm8091387>
3. Redondo RB. Resting energy expenditure; assessment methods and applications. *Nutricionhospitalaria.com.* *Nutr Hosp.* 2015; 31 (Supl.3): 245-254; <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8772>
4. Marra M, Cioffi I, Sammarco R, Montagnese C, Naccarato M, Amato V, et al. Prediction and evaluation of resting energy expenditure in a large group of obese outpatients. *Int J Obes.* 2017; 41 (5): 697-705. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.34>
5. Lindner M, Geisler C, Rembarz K, Hummitzsch L, Radke DI, Schulte DM, et al. Resting energy expenditure in the critically ill and healthy elderly—A retrospective matched cohort study. *Nutrients.* 2023; 15 (2): 303. <https://doi.org/10.3390/nu15020303>
6. Harris A, Benedict F. A biometric study of human basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1918; 4 (12): 370-373. <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>
7. Maushart CI, Senn JR, Loeliger RC, Siegenthaler J, Bur F, Fisher J, et al. Resting energy expenditure and cold-induced thermogenesis in patients with overt hyperthyroidism. *J Clin Endocrinol Metab.* 2022; 107 (2): 450-461. <http://doi.org/10.1210/clinem/dgab706>
8. Ko S-H, Jung Y. Energy metabolism changes and dysregulated lipid metabolism in postmenopausal women. *Nutrients.* 2021; 13 (12): 4556. <https://doi.org/10.3390/nu13124556>
9. Maury-Sintjago E, Muñoz-Mendoza C, Rodríguez-Fernández A, Ruiz-De la Fuente M. Predictive equation to estimate resting metabolic rate in older Chilean women. *Nutrients.* 2022; 14 (15): 3199. <https://doi.org/10.3390/nu14153199>
10. Ocobock C. Human energy expenditure, allocation, and interactions in natural temperate, hot, and cold environments. *Am J Phys Anthropol.* 2016; 161 (4): 667-675. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23071>
11. Pham DD, Lee JH, Hong KH, Jung YJ, Kim SL, Leem CH. Seasonal effects on resting energy expenditure are dependent on age and percent body fat. *Clin Nutr.* 2020; 39 (4): 1276-1283. <http://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.05.021>
12. Pretorius A, Piderit M, Becker P, Wenhold F. Resting energy expenditure of a diverse group of South African men and women. *J Hum Nutr Diet.* 2022; 35 (6): 1164-1177 <http://doi.org/10.1111/jhn.13022>
13. Kenny GP, Notley SR, Gagnon D. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *Eur J Appl Physiol.* 2017; 117 (9): 1765-1785. <http://doi.org/10.1007/s00421-017-3670-5>
14. Amaro-Gahete F, Jurado-Fasoli L, De-la-O A, Gutiérrez Á, Castillo MJ, Ruiz JR. Accuracy and validity of resting energy expenditure predictive equations in middle-aged adults. *Nutrients.* 2018; 10(11): 1635. <https://doi.org/10.3390/nu10111635>
15. Mtaweh H, Taira L, Floh AA, Parshuram C. Indirect Calorimetry: History, Technology, and Application. *Front Pediatr.* 2018; 6: 257. <http://doi.org/10.3389/fped.2018.00257>
16. Patel H, Kerndt CC, Bhardwaj A. Physiology, Respiratory Quotient. *StatPearls.* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025

17. Speakman JR, Pontzer H, Rood J, Sagayama H, Schoeller D, Westerterp K, et al. The International Atomic Energy Agency international doubly labelled water database: Aims, scope and procedures. *Ann Nutr Metab.* 2019; 75 (2): 114–118. <https://doi.org/10.1159/000503668>
18. Cramer MN, Jay O. Partitioned calorimetry. *J Appl Physiol* 2019; 126: 267–277. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00191.2018>
19. Van Dessel K, Verrijken A, De Block C, Van Gaal L, De Wachter C, Drinck E, et al. Basal metabolic rate using indirect calorimetry among individuals living with overweight or obesity: The accuracy of predictive equations for basal metabolic rate. *Clin Nutr ESPEN.* 2024; 59: 422–435. <http://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.12.024>
20. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr.* 1990; 51 (2): 241-247. <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>
21. FAO/WHO/UNU. Expert Consultation. Interim Report-Report on Human Energy Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Rome, 17–24 October 2001.
22. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1985;39 Suppl 1:5-41.
23. Ireton-Jones CS, Turner WW, Liepa GU, Baxter CR. Equations for the estimation of energy expenditures in patients with burns with special reference to ventilatory status. *J Burn Care Rehabil.* 1992; 13 (3): 330-333. <http://doi.org/10.1097/00004630-199205000-00005>
24. Frankenfield D, Smith JS, Cooney RN. Validation of 2 approaches to predicting resting metabolic rate in critically ill patients. *J Parenter Enteral Nutr.* 2004; 28 (4): 259-264. <http://doi.org/10.1177/0148607104028004259>
25. Carrasco F, Reyes E, Núñez C, Riedemann K, Rimler O, Sánchez G, et al. Gasto energético de reposo medido en obesos y no obesos: comparación con la estimación por fórmulas y ecuaciones propuestas para población chilena. *Rev méd Chile.* 2002; 130 (1): 51-60. <http://doi.org/10.4067/S0034-98872002000100007>
26. López MA, Valenzuela PE. Nueva fórmula para mejorar la estimación del gasto energético basal en adultos de Chillán. *Rev Chil Nutr.* 2007; 34 (4): 338-345. <http://doi.org/10.4067/S0717-75182007000400007>
27. Oliveira ACDS, de Oliveira CC, de Jesús MT, Menezes NNB, de Gois FN, da Silva JT, et al. Comparison of Equations to Predict Energy Requirements With Indirect Calorimetry in Hospitalized Patients. *J Parenter Enteral Nutr.* 2021; 45 (7): 1491-1497. <http://doi.org/10.1002/jpen.2039>
28. FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization Technical Report Series. 1985; 724: 1–206.
29. Wang X, Mao D, Xu Z, Wang Y, Yang X, Zhuo Q, et al. Predictive equation for basal metabolic rate in normal-weight Chinese adults. *Nutrients.* 2023; 15 (19): 4185. <http://doi.org/10.3390/nu15194185>
30. Cochran WG. Técnicas de muestreo. México DF: Compañía Editorial Continental; 1980
31. CDC. Anthropometry Procedures Manual. National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). USA. 2007. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/50334>
32. Gómez S, Restrepo L, Velásquez J, Rodríguez D, Deossa G. Comparación entre ecuaciones para estimar el requerimiento energético en mujeres antioqueñas con exceso de peso (Colombia). *Nutr Clín diet hosp.* 2018; 38 (3): 25-33. <http://doi.org/10.12873/383deossa>
33. Wolak ME. ICC: Repeatability estimation and variance decomposition by generalized linear mixed-effects models. R package version 2.3.0. 2012. <https://CRAN.R-project.org/package=ICC>
34. Gamer M, Lemon J, Fellows I, Singh P. rr: Various Coefficients of Interrater Reliability and Agreement. 2019. <https://CRAN.R-project.org/package=irr>
35. Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J Stat Softw* 2015; 67 (1): 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
36. Equipo Posit. (2025) RStudio: Entorno de Desarrollo Integrado para R. Posit Software, PBC, Boston, MA. <http://www.posit.co/>
37. Campos TAM, Mariz VG, Mulder AP, Curioni CC, Bezerra FF. Adequacy of basal metabolic rate prediction equations in individuals with severe obesity: A systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2024;25(6): e13739. <https://doi.org/10.1111/obr.13739>
38. Kfir A, Lahav Y, Gepner Y. Cross-Validation of a New General Population Resting Metabolic Rate Prediction Equation Based on Body Composition. *Nutrients.* 2023;15(4):805. <https://doi.org/10.3390/nu15040805>
39. Ruiz M, Rodríguez A. Comparación de tasa metabólica en reposo medida por calorimetría indirecta versus ecuaciones predictivas, en mujeres adultas jóvenes y adultas mayores de peso corporal normal. *Rev Chil Nutr.* 2014; 41 (1): 17–22. <http://doi.org/10.4067/S0717-75182014000100002>
40. Van Dessel K, Verrijken A, De Block C, Verhaegen A, Peiffer F, Van Gaal L, et al. Basal metabolic rate using indirect calorimetry among individuals living with overweight or obesity: The accuracy of predictive equations for basal metabolic rate. *Clin Nutr ESPEN.* 2024; 59:422-435. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.12.024>

41. Prado-Nóvoa O, Howard KR, Laskaridou E, Reid GR, Zorrilla-Revilla G, Marinik EL, *et al.* Validation of predictive equations to estimate resting metabolic rate of females and males across different activity levels. *Am J Hum Biol.* 2024;36(4): e24005. <https://doi.org/10.1002/ajhb.24005>.
42. Brath MSG, Sahakyan M, Mark EB, Rasmussen HH, Østergaard LR, Frøkjær JB, *et al.* Ethnic differences in CT derived abdominal body composition measures: a comparative retrospect pilot study between European and Inuit study population. *Int J Circumpolar Health.* 2024;83(1):2312663. <https://doi.org/10.1080/22423982.2024.2312663>
43. Little MA. Evolutionary Strategies for Body Size. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2020; 11:107. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00107>
44. Thom G, Gerasimidis K, Rizou E, Alfheaid H, Barwell N, Manthou E, *et al.* Validity of predictive equations to estimate RMR in females with varying BMI. *J Nutr Sci.* 2020;9: e17. <https://doi.org/10.1017/jns.2020.11>
45. de Oliveira EP, Orsatti FL, Teixeira O, Maestrá N, Burini RC. Comparison of Predictive Equations for Resting Energy Expenditure in Overweight and Obese Adults. *J Obes.* 2011; (1): 534714. <http://doi.org/10.1155/2011/534714>

Recibido:11/02/2025
Aceptado: 20/06/2025

Association between dietary patterns and quality of life: A multicenter study in Latin American university students

Solange Parra-Soto^{1,2} , María Consuelo Díaz-Pinto³ , Israel Ríos-Castillo^{4,5} , Gladys Morales⁶ ,
Jacqueline Araneda-Flores¹ , Leslie Landaeta-Díaz⁷ , Georgina Gómez⁸ , Ana Gabriela Murillo⁸ ,
Valeria Carpio-Arias⁹ , Brian M Cavagnari¹⁰ , Edna J. Nava-González¹¹ , Jhon Jairo Bejarano-Roncancio¹² ,
Beatriz Elizabeth Núñez-Martínez¹³ , Karla Córdón-Arrivillaga¹⁴ , Eliana Romina Meza-Miranda¹⁵ ,
Saby Mauricio-Alza¹⁶ , Samuel Durán Agüero³ .

Abstract: Association between dietary patterns and quality of life: A multicenter study in Latin American university students. **Introduction:** Dietary patterns significantly influence physical, mental, and emotional health, making them essential for promoting overall well-being. During university years, students often adopt less healthy eating habits, which can negatively impact their quality of life. Understanding this relationship is key to designing interventions that improve the overall health of this population. **Objective:** To evaluate the association between dietary patterns and quality of life in Latin American university students. **Materials and methods:** A multicenter study consisting of a cross-sectional. Research in university students from ten Latin American countries. 4539 university students aged 18 years and older from ten Latin American countries. An online questionnaire was used to collect the data. Multivariate regression analysis, adjusted for control variables. **Results:** Significant differences in quality-of-life scores were observed between the different types of diet. All diets, except the Western diet, were associated with a better quality of life. The vegan diet had the highest association with quality of life (OR: 4.71, 95%CI: 2.32; 9.55), followed by the pescatarian diet (OR: 2.68, 95%CI: 1.79; 4.02) and the prudent diet (OR: 2.14, 95%CI: 1.73; 2.64). **Conclusions:** Vegan, pescatarian, and prudent diets are associated with a better quality of life, especially in men and people over 26 years of age. Further studies are needed to confirm these findings and better understand the mechanisms underlying these associations. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 118-128.**

Keywords: Diet pattern, health, university students, quality of life.

Resumen: Asociación entre patrones alimentarios y calidad de vida: Un estudio multicéntrico en estudiantes universitarios latinoamericanos. **Introducción:** Los patrones alimentarios influyen significativamente en la salud física, mental y emocional, siendo esenciales para promover el bienestar general. Durante la etapa universitaria, los estudiantes suelen adoptar hábitos alimentarios menos saludables, lo que puede afectar su calidad de vida. Comprender esta relación es clave para diseñar intervenciones que mejoren la salud integral en esta población. **Objetivo:** Evaluar la asociación entre patrones alimentarios y calidad de vida en estudiantes universitarios latinoamericanos. **Materiales y métodos:** Estudio multicéntrico de corte transversal. Investigación en estudiantes universitarios de diez países latinoamericanos. 4539 estudiantes universitarios mayores de 18 años de diez países latinoamericanos. Se utilizó un cuestionario en línea para recoger los datos. Análisis de regresión multivariante, ajustado por variables de control. **Resultados:** Se observaron diferencias significativas en las puntuaciones de calidad de vida entre los distintos tipos de dieta. Todas las dietas, excepto la occidental, se asociaron con una mejor calidad de vida. La dieta vegana presentó la mayor asociación con la calidad de vida (OR: 4,71; IC 95%: 2,32; 9,55), seguida de la dieta pescatariana (OR: 2,68; IC 95%: 1,79; 4,02) y la dieta prudente (OR: 2,14; IC 95%: 1,73; 2,64). **Conclusiones:** Las dietas veganas, pescatariana y prudente se asocian con una mejor calidad de vida, especialmente en hombres y personas mayores de 26 años. Se necesitan más estudios para confirmar estos hallazgos y comprender mejor los mecanismos subyacentes a estas asociaciones. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 118-128.**

Palabras clave: Patrón dietético, salud, estudiantes universitarios, calidad de vida.

¹Department of Nutrition and Public Health, Faculty of Health and Food Sciences, Universidad del Bío-Bío, Chillán, Chile. ²School of Health and wellbeing. University of Glasgow. Glasgow, United Kingdom. ³ Escuela de Nutrición y dietética. Facultad Ciencias de la Rehabilitación y Calidad de Vida. Universidad San Sebastian, Los Leones, Chile. ⁴ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO Subregional Office for Mesoamerica. Panama City, Panama. ⁵ School of Nutrition and Dietetics, Faculty of Medicine, University of Panama. Panama City, Panama. ⁶ Departamento Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile. ⁷ Escuela de Nutrición y Dietética, Facultad de Salud y Ciencias Sociales, Universidad de Las Américas, Chile. ⁸ Department of Biochemistry, School of Medicine, University of Costa Rica. Costa Rica. ⁹ Food and Human Nutrition Research Group (GIANH), Faculty

of Public Health, Polytechnic School of Chimborazo. Riobamba-Ecuador. ¹⁰ School of Nutrition, Faculty of Medical Sciences, Pontificia Universidad Católica Argentina, Av. Alicia Moreau de Justo 1300, C1107AFB CABA, Argentina. ¹¹ School of Public Health and Nutrition, Autonomous University of Nuevo León, Monterrey, Mexico. ¹² Department of Human Nutrition. School of Medicine. National University of Colombia. Bogota Headquarters. Colombia. ¹³ Coordinación General de Investigación, Universidad del Norte, Asunción, Paraguay. ¹⁴ Unidad de Investigación en Seguridad Alimentaria y Nutricional, Escuela de Nutrición, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. ¹⁵ Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas - Universidad Nacional de Asunción. ¹⁶ Norbert Wiener University, Lima, Peru. Autor para la correspondencia: Dr. Samuel Duran, e-mail: samuel.duran@uss.cl



Introduction

Dietary patterns have a great impact on people's health and well-being (1-2), defined by the US Dietary Guidelines Advisory Committee as: "the amounts, proportions, variety or combination of different foods, beverages and nutrients in the diets that a person usually eats and drinks" (2).

It has been established that diet plays a crucial role in various aspects of human well-being, both in terms of physical and mental health (3). There is a relationship between diet and mood; intake of foods rich in nutrients, such as antioxidants and omega-3 fatty acids, has been associated with better mental and emotional health (4).

Studying dietary patterns is vital for developing effective food and nutrition policies. This research underscores the importance of nutritional factors in enhancing overall health promotion and wellness (5). It is also well-established that healthy dietary patterns should include health-promoting foods such as vegetables, fruits, whole grains, legumes, nuts, fresh fish, eggs, and essential fatty acids (5,6).

Research on dietary patterns has shown that food choices are not only shaped by individual factors but are also strongly influenced by the environment (7). From an early age, food preferences begin to develop and are consolidated throughout life. In addition, the presence of a food environment excessive in unhealthy choices, such as processed and ultra-processed food constantly promoted through advertising, has contributed to the widespread adoption of unhealthy Westernized patterns (3,8). Furthermore, advertising campaigns targeting adolescents, primarily through social media, successfully promote the consumption of cheap, easily accessible industrial beverages and processed foods with little nutritional value (9).

This reality supports the importance of understanding how to intervene at both the individual and food environment levels to promote healthier and more sustainable dietary patterns throughout the life cycle.

On the other hand, university students tend to adopt less healthy eating habits during university life as they are defining their dietary and lifestyle patterns, which in most cases continue into later life (10). However, following health influencers may alter the positive relationship between health behaviors and mental health (11). It is important to note that students with higher levels of social media addiction tend to have less healthy lifestyles (12). Some students adopt habits such as alcohol intake and tobacco use, missed meals, physical inactivity, and inadequate sleep; others focus on more calorically dense and/or ultra-processed foods (13,14), which are associated with an increased risk of chronic non-communicable diseases (NCDs) in the long term and confer consequences on physical, mental, and emotional health, with a deterioration in quality of life (15).

In contrast, plant-based dietary patterns appear to have a positive influence on mental health (8). Evidence has emerged at the cellular and molecular level, elucidating the numerous benefits of a plant-based diet (PBD) for preventing and mitigating conditions such as atherosclerosis, chronic noncommunicable diseases, and metabolic syndrome (16). In a study analyzing the relationship between plant-based diets and quality of life domains such as subjective perception of well-being and functioning in the physical, psychological, social, and environmental domains, it was found that the vegetarian diet could influence all these quality-of-life domains, either positively or negatively (17). It is necessary to identify that health consciousness and quality of life are associated with freedom from pathology (18). and a systematic review assessed the nutritional quality of plant-based diets (vegetarian and vegan) and found higher levels of nutritional quality among vegetarians than among omnivores in 9 out of 12 studies (18).

A cohort study examining the association between quality of life and diet quality in older people identified a positive relationship between higher-quality diets and better quality of life (19). In addition, significant associations have been shown between dietary adherence and general health in the elderly. These findings suggest that a high-quality diet may play an important role in well-being and quality of life (20). However, studies in other age groups such as university students are lacking.

Considering that research has suggested that the university years may lead to changes in the quality of life of students (19). and that diet may be a factor

influencing quality of life (21), it is important to identify whether the type of diet of university students is associated with quality of life. It highlights the importance of understanding how the dietary patterns of university students may affect not only their physical health but also their emotional and mental well-being during this crucial transitional phase. University is not only academically challenging but also an environment conducive to the adoption and reinforcement of dietary habits that can have long-term repercussions on quality of life. By closely examining the relationship between diet and quality of life in this specific demographic group, it is hoped to gain a deeper understanding of how dietary choices can influence various aspects of student well-being. The present research aims to associate the dietary patterns of Latin American university students with dimensions of quality of life (physical health, psychological health, social relationships, and the environment).

Materials and methods

Study design

A cross-sectional, observational, and multicentre study was carried out using non-probabilistic sampling with voluntary participation of university students from 10 Latin American countries (Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Mexico, Paraguay, Peru, and Panama). The inclusion criteria were: to be a student actively enrolled in higher education institutions, aged 18 years or older. Those who did not complete the entire survey were excluded.

Data collection

University students were invited to participate in the study via social media platforms (Instagram, Facebook, and Twitter) or institutional emails. A self-administered digital questionnaire in Google Forms format was used to collect dietary habits, physical activity information, and quality of life assessment. Data were collected between November and December 2020. The sample size calculation determined a minimum of 1,194 participants. The sample size calculation was conducted using G*Power. (considering the performance of a logistic regression, a one-sided test, odds ratio = 1.3, $Pr(Y = 1 | X = 1)$ $H_0 = 0.2$, an α of 0.01 and a power $(1 - \beta)$ of 0.9).

Dietary patterns

Participants reported their dietary patterns based on the following question, "Which of the following dietary patterns best describes you?", and the following options:

- Prudent diet: characterized by a prudent and modest intake of all food groups, without excess or avoidance.
- Western diet: characterized by a high intake of ultra-processed and fast foods such as pizza, burgers, fries, snacks, frozen, canned, or fried foods. In addition, a low intake of fruits, vegetables, legumes, and whole grains.
- Ovo-lacto-vegetarian diet: a plant-based diet that includes dairy and eggs, and limits meat products. Increased intake of fruits, vegetables, legumes, and grains.
- Pescetarian diet: a plant-based diet that includes fish, dairy, and eggs. Increased intake of fruits, vegetables, seafood, legumes, and grains.
- Vegan diet: characterized by the exclusive consumption of plant-based foods and the exclusion of honey. Increased intake of fruit, vegetables, pulses, and cereals.
- Other diet: for those who do not identify with any of the previously established patterns.

This questionnaire was prepared by experts (nutritionists with expertise in food studies) in the field of nutrition and public health, and was subsequently validated through an analysis of the Content Validity Index (CVI), through the calculation of Lawshe's Content Validity Ratio (CVR). This questionnaire considers sustainable and environmentally friendly lifestyles. Each expert must assign each item a score based on three possibilities: that the item is "essential" (1) to evaluate the construct; that it is useful, but dispensable (0); or that it is considered unnecessary (0). The following expression is applied to this assessment. Lawshe's original acceptance criterion for 18 experts was an RVC equal to or greater than 0.56; for this question the acceptance corresponded to 0.9.

Measurement of socioeconomic level

To measure it, the World Association of Market Research (ESOMAR) (22) survey was used. ESOMAR, which is a method for defining and measuring socioeconomic levels, which was initially used to unify the criteria of European countries on the subject of socioeconomic level, which has been adapted.

The Socioeconomic Level ESOMAR is based on only two variables: (1) The level of education attained by the main breadwinner and (2) the occupational category of the main breadwinner. Both variables are combined in a Socioeconomic Classification Matrix, which determines the Socioeconomic Level of each family according to the combinations of both variables. Six groups are generated: A = Very high B = High Ca = Medium-High Cb = Medium D = Medium-Low E = Low.

Body mass index (BMI)

The body mass index (BMI) in kg/m² was determined based on self-reported weight and height. The cut-off points for normal BMI were <25 kg/m², and for overweight BMI, ≥25 kg/m².

Quality of life

The WHOQOL-BREF Scale (23) is a shortened version of the World Health Organization's WHOQOL-100 Scale (24). In brief, participants are asked to rate their response on a 5-point Likert scale, measuring four domains of quality of life: physical health, psychological health, social relationships, and the environment, with a total of 26 items. As a multidimensional measure of quality of life, it allows for a variety of categories that can indicate different levels of quality of life, both low and high. These categories may include a) Low level of quality of life: This may indicate that participants are experiencing significant difficulties in multiple areas of their lives, such as physical health, mental health, social relationships, and the environment in which they live. A low level of quality of life may reflect health problems, lack of social support, unhealthy environments, or a combination of

these factors. b) High level of quality of life: Conversely, a high level of quality of life suggests that participants are experiencing well-being in several areas of their lives. This may manifest itself in good physical and mental health, satisfying social relationships, a supportive environment, and a general sense of satisfaction and fulfillment.

Ethics

All participants agreed to participate in the study through a virtual informed consent form (eConsent). The informed consent form detailed the purpose of the study and the surveys to be completed. Participation was voluntary and anonymous. This study was conducted under the recommendations of the Declaration of Helsinki for human studies. The project protocol was approved by the Ethics Committee of the Universidad de Las Américas de Chile, reference number CEC_FP_2020017.

Statistics

All statistical analyses were performed using the Stata 17.0 software package (StataCorp, College Station, Texas, USA) (25). Normality analysis was performed using the Shapiro-Wilks test for quantitative variables. Quantitative variables are presented as mean and standard deviation (SD), while categorical variables are expressed as frequency and percentage. Multiple logistic regression was used to assess the association between dietary patterns and quality of life dimensions. The response variable was classified as good quality of life (1) and poor quality of life (0). Model 1 was adjusted for sociodemographic variables (sex, age, socioeconomic status, and country); Model 2 included variables from Model 1 plus smoking and physical activity; and Model 3 included variables from Model 2 plus BMI. Measures of association are reported as Odds Ratios (OR) and 95% confidence intervals. An association was considered significant if the *p*-values for ORs were less than 0.05.

Results

Overall, most study participants were female (73.6%) and young people aged 18-25 (85.2%). Middle socioeconomic status prevailed (47.7%). The majority did not smoke (92.6%) and had an average sleep time of 6.97 (SD 1.42). The average body mass index (BMI) was 24.39 (SD 4.82). Among those following the Western dietary pattern, there was a slightly higher proportion of men and a higher average BMI than those following other patterns. Among those who reported following

the ovo-lacteal-vegetarian diet, a higher proportion of young people and a lower average BMI were observed (Table 1 and Table 2).

Significant differences in quality of life scores were observed between different dietary patterns (Table S1).

All dietary patterns were positively associated with a better quality of life compared to the Western diet, even after adjusting for factors such as smoking, physical activity, and BMI. The vegan diet had the strongest association (OR: 4.71, 95%CI: 2.32; 9.55), followed by pescetarian (OR: 2.68, 95%CI: 1.79; 4.02) and prudent (OR: 2.14, 95%CI: 1.73; 2.64), in the best-fitting model (Table 3).

Data presented as OR with its 95% confidence interval. Quality of life is the outcome variable I feel 1, good perception of quality of life. The reference

group is students with a Western diet. Model 1 adjusted for sex, age, socioeconomic level, country. Model 2 adjusted by model 1 plus.

Figure 1 shows the association between the different types of diet and quality of life, considering the sex and age of the participants. In both women and men, the prudent diet showed significant associations with a better quality of life compared to the Western diet. However, the strength of the association was more pronounced in men than in women. In terms of age, a significant association between the different patterns and better quality of life was observed in both age groups, except for other types of diet. However, the strength of the association is much stronger in the 26-46 age group than in the 18-25 age group.

Table 1. Baseline characteristics by dietary patterns.

	Occidental	Ovo-lacteo-vegetarian	Pescetarian	Prudent	Vegan	Other	Total
	525 (11.55%)	223 (4.91%)	133 (2.93%)	3360 (73.99%)	44 (0.97%)	254 (5.59%)	4539
Sex							
Women	356 (67.8%)	177 (79.4%)	108 (81.2%)	2485 (74.0%)	39 (88.6%)	176 (69.3%)	3341 (73.6%)
Men	169 (32.2%)	46 (20.6%)	25 (18.8%)	875 (26.0%)	5 (11.4%)	78 (30.7%)	1198 (26.4%)
Age (%)							
18-25	424 (80.8%)	197 (88.3%)	99 (74.4%)	2910 (86.6%)	31 (70.5%)	208 (81.9%)	3869 (85.2%)
26-46	101 (19.2%)	26 (11.7%)	34 (25.6%)	450 (13.4%)	13 (29.5%)	46 (18.1%)	670 (14.8%)
Socioeconomic level (%)							
Low	127 (24.2%)	73 (32.7%)	33 (24.8%)	921 (27.4%)	14 (31.8%)	59 (23.2%)	1227 (27.0%)
Medium	252 (48.0%)	96 (43.0%)	69 (51.9%)	1621 (48.2%)	23 (52.3%)	105 (41.3%)	2166 (47.7%)
High	146 (27.8%)	54 (24.2%)	31 (23.3%)	818 (24.3%)	7 (15.9%)	90 (35.4%)	1146 (25.2%)
Country							
Argentina	48 (9.1%)	60 (26.9%)	16 (12.0%)	320 (9.5%)	14 (31.8%)	15 (5.9%)	473 (10.4%)
Colombia	24 (4.6%)	34 (15.2%)	23 (17.3%)	257 (7.6%)	14 (31.8%)	19 (7.5%)	371 (8.2%)
Costa Rica	25 (4.8%)	10 (4.5%)	4 (3.0%)	195 (5.8%)	2 (4.5%)	9 (3.5%)	245 (5.4%)
Chile	53 (10.1%)	27 (12.1%)	12 (9.0%)	414 (12.3%)	8 (18.2%)	27 (10.6%)	541 (11.9%)
Ecuador	75 (14.3%)	15 (6.7%)	18 (13.5%)	492 (14.6%)	1 (2.3%)	35 (13.8%)	636 (14.0%)
Guatemala	50 (9.5%)	15 (6.7%)	11 (8.3%)	244 (7.3%)	1 (2.3%)	11 (4.3%)	332 (7.3%)
Mexico	133 (25.3%)	48 (21.5%)	31 (23.3%)	862 (25.7%)	4 (9.1%)	79 (31.1%)	1157 (25.5%)
Panama	40 (7.6%)	0 (0.0%)	9 (6.8%)	188 (5.6%)	0 (0.0%)	14 (5.5%)	251 (5.5%)
Paraguay	53 (10.1%)	7 (3.1%)	0 (0.0%)	173 (5.1%)	0 (0.0%)	20 (7.9%)	253 (5.6%)
Peru	24 (4.6%)	7 (3.1%)	9 (6.8%)	215 (6.4%)	0 (0.0%)	25 (9.8%)	280 (6.2%)

Table 2. Baseline characteristics by dietary patterns.

	Occidental	Ovo-lacteo-vegetarian	Pescetarian	Prudent	Vegan	Other	Total
Area of study, n (%)							
Arts, architecture, and design	8 (1.5%)	5 (2.2%)	3 (2.3%)	39 (1.2%)	1 (2.3%)	3 (1.2%)	59 (1.3%)
Agricultural and biological sciences	13 (2.5%)	15 (6.7%)	8 (6.0%)	131 (3.9%)	1 (2.3%)	13 (5.1%)	181 (4.0%)
Health Sciences	25 (4.8%)	4 (1.8%)	4 (3.0%)	108 (3.2%)	1 (2.3%)	6 (2.4%)	148 (3.3%)
Administration Sciences and Economics.	288 (54.9%)	140 (62.8%)	82 (61.7%)	2216 (66.0%)	36 (81.8%)	146 (57.5%)	2908 (64.1%)
Education, social sciences, and humanities	27 (5.1%)	14 (6.3%)	11 (8.3%)	119 (3.5%)	4 (9.1%)	7 (2.8%)	182 (4.0%)
Engineering and exact sciences	126 (24.0%)	36 (16.1%)	20 (15.0%)	585 (17.4%)	1 (2.3%)	53 (20.9%)	821 (18.1%)
Other	38 (7.2%)	9 (4.0%)	5 (3.8%)	162 (4.8%)	0 (0.0%)	26 (10.2%)	240 (5.3%)
Year of university, n (%)							
First year	101 (19.2%)	56 (25.1%)	29 (21.8%)	634 (18.9%)	9 (20.5%)	53 (20.9%)	882 (19.4%)
Second year	142 (27.0%)	53 (23.8%)	37 (27.8%)	815 (24.3%)	13 (29.5%)	63 (24.8%)	1123 (24.7%)
Third year	90 (17.1%)	44 (19.7%)	24 (18.0%)	677 (20.1%)	10 (22.7%)	62 (24.4%)	907 (20.0%)
Fourth year	82 (15.6%)	36 (16.1%)	21 (15.8%)	536 (16.0%)	8 (18.2%)	34 (13.4%)	717 (15.8%)
Fifth year	110 (21.0%)	34 (15.2%)	22 (16.5%)	698 (20.8%)	4 (9.1%)	42 (16.5%)	910 (20.0%)
Physical activity, n (%)							
No	422 (80.4%)	124 (55.6%)	87 (65.4%)	2149 (64.0%)	28 (63.6%)	182 (71.7%)	2992 (65.9%)
Yes	103 (19.6%)	99 (44.4%)	46 (34.6%)	1211 (36.0%)	16 (36.4%)	72 (28.3%)	1547 (34.1%)
Quarantine (%)							
No	223 (42.5%)	91 (40.8%)	68 (51.1%)	1310 (39.0%)	26 (59.1%)	87 (34.3%)	1805 (39.8%)
Yes	302 (57.5%)	132 (59.2%)	65 (48.9%)	2050 (61.0%)	18 (40.9%)	167 (65.7%)	2734 (60.2%)
Tobacco consumption, n (%)							
No	470 (89.5%)	204 (91.5%)	122 (91.7%)	3128 (93.1%)	41 (93.2%)	236 (92.9%)	4201 (92.6%)
Yes	55 (10.5%)	19 (8.5%)	11 (8.3%)	232 (6.9%)	3 (6.8%)	18 (7.1%)	338 (7.4%)
Hours sitting, Mean (SD)	9.07 (3.24)	8.50 (3.15)	8.19 (3.17)	8.53 (3.21)	9.55 (3.03)	8.72 (3.31)	8.60 (3.22)
Sleep Hours, Mean (SD)	6.84 (1.53)	7.29 (1.50)	7.13 (1.56)	6.97 (1.39)	7.09 (1.20)	6.83 (1.50)	6.97 (1.42)
BMI, Mean (SD)	27.00 (7.00)	23.72 (4.28)	23.50 (3.61)	24.00 (4.32)	22.63 (2.81)	25.54 (4.87)	24.39 (4.82)

Table S1. Analysis of quality-of-life score comparison between dietary patterns.

	Global	18-25	26-46	Women	Men
Total	54.03 (6.07)	53.92 (5.97)	54.67 (6.63)	54.34 (6.01)	53.15 (6.18)
Occidental	48.00 (6.01)	48.21 (5.84)	47.12 (6.63)	47.91 (6.17)	48.05 (5.94)
Ovo-lacto-vegetarian	55.78 (5.82)	55.57 (5.89)	57.35 (5.11)	54.96 (5.75)	55.99 (5.83)
Pescetarian	57.09 (6.32)	56.83 (6.63)	57.85 (5.31)	52.92 (7.29)	58.06 (5.68)
Prudent	54.87 (5.51)	54.69 (5.48)	56.04 (5.58)	54.17 (5.58)	55.12 (5.46)
Vegan	55.86 (4.63)	54.55 (4.40)	59.00 (3.67)	57.80 (2.49)	55.62 (4.80)
Other	51.88 (5.67)	51.69 (5.57)	52.74 (6.11)	51.86 (6.60)	51.89 (5.23)
<i>p</i>	<0.001	0,03	<0.001		

Table 3. Association of diet patterns and quality of life

	Model 1		Model 2		Model 3	
	OR 95% CI	<i>p</i> value	OR 95% CI	<i>p</i> value	OR 95% CI	<i>p</i> value
Occidental	1.00 (Ref)		1.00 (Ref)		1.00 (Ref)	
Ovo-lacto-vegetarian	2.21 (1.59; 3.08)	<0.001	1.94 (1.38; 2.71)	<0.001	1.74 (1.24; 2.44)	0.001
Pescetarian	3.30 (2.21; 4.91)	<0.001	3.05 (2.04; 4.56)	<0.001	2.68 (1.79; 4.02)	<0.001
Prudent	2.60 (2.12; 3.19)	<0.001	2.37 (1.93; 2.91)	<0.001	2.14 (1.73; 2.64)	<0.001
Vegan	5.99 (2.96; 12.12)	<0.001	5.50 (2.72; 11.13)	<0.001	4.71 (2.32; 9.55)	<0.001
Other	1.58 (1.15; 2.19)	0.005	1.49 (1.07; 2.06)	0.017	1.41 (1.02; 1.96)	0.038

Smoking and physical activity, Model 3 adjusted by model 2 plus BMI.
Data presented as OR with its 95% confidence interval. Quality of life is the outcome variable I feel 1, good perception of quality of life. The reference group is students with a Western diet. Model 1 adjusted for sex, age, socioeconomic level, country. Model 2 adjusted by model 1 plus.

Figura 1. Xxxxxxx

Discussion

The main finding of the present study is that individuals following dietary patterns such as the prudent, vegetarian, and especially the vegan diet had a better quality of life than participants eating a Western diet.

A Brazilian study that assessed quality of life using The Specific Vegetarian Quality of Life Questionnaire (VEGQOL) found that vegans had the best results; in addition, older vegetarians, those who had been eating the diet for longer and those who had friends who were also vegetarian; and finally, those who adopted the diet for medical or ethical reasons also had higher scores (26). A cross-sectional study in Venezuela found statistically significant and clinically relevant differences between the three dietary patterns examined, with dietary acid load (DAL) being the emerging marker for measuring diet quality, that plant-based diets are an effective means to reduce DAL scores (27).

A Portuguese study on young people showed that individuals who consumed a Mediterranean diet had a good quality of life (28) as measured by the Kidscreen-10 questionnaire. Other studies, also in Spanish (29) and Greek (30). adolescents, showed that adherence to the Mediterranean diet was associated with better quality of life.

Another study conducted during the period of the COVID-19 pandemic among preschoolers, children and adolescents in Brazil and Spain showed that those who had a higher adherence to the Mediterranean diet had better quality of life scores, using the Quality Index for Children and Teenagers (KIDMED) questionnaire (31). Our study did not directly consult on the Mediterranean diet since olive oil is not widely consumed in the Latin American population, while oils such as palm, sunflower, and canola are more widely accepted and are produced locally. However, it is assumed that the profile of the Mediterranean diet could be considered like the prudent diet analysed in the study.

Consumption of specific food groups has also been associated with better quality of life, as shown in a study in Ghanaian women, where higher vegetable consumption was associated with better quality of life as assessed by self-reported HR-QoL (32), a similar result was found in cancer survivors, where vegetable consumption was associated with better quality of life, the researchers used a simplified Chinese version of the European Organization for Research and Treatment quality of life version 3 (EORTC QLQ-C30) questionnaire (33). A study in endurance runners showed that runners who adhered to a vegetarian or vegan diet had a high quality of life, but that of subjects with an omnivorous diet is unclear.

Although there is uncertainty about the mechanisms that may be involved, it has been hypothesized that the presence of antioxidants, polyphenols, vitamins, and dietary fiber (34) and low dietary acid load (DAL) (35), that are common to the prudent, Mediterranean, vegetarian, and vegan diets may be playing a role in these effects.

Several food groups independently provide nutrients that may be linked to a better quality of life; for example, vegetables provide relatively high amounts of some vitamins and minerals to the diet and are sources of dietary fiber and phytochemicals that function as antioxidants, phytoestrogens and anti-inflammatory agents that have a positive impact on human health (34). Other studies have linked low vegetable intake to depression (36) and dementia in older adults (37), as well as cognitive disorders (38).

Antioxidants present in fruits, vegetables, and vegetable oils decrease levels of oxidative stress and thus reduce oxidative DNA damage, neuronal cell death, and β -amyloid aggregation in the brain, the effect of which has been linked to lower cognitive functioning and mental health (39). In addition, evidence further shows that a dietary pattern rich in vegetables ensures the adequacy of health-enhancing micronutrients (40).

Another possible mechanism of the relationship between a healthy diet and quality of life may be through inflammation (41) a diet rich in energy, saturated fats, trans fats, and refined oils (4), carbohydrates, and cholesterol, i.e. a Western diet, promotes a pro-inflammatory environment, on the contrary a plant-based diet may have significant amounts of beta-carotene, dietary fiber, folic acid, omegas 3, among others (42), many of these foods

or nutrients, can reduce some inflammatory markers such as IL-1 β , IL-4, IL-6, IL-10, TNF- α and CRP involved in low-grade inflammation that has been associated with various diseases (42,43) It has also been shown that dairy products, especially yogurt, which is fermented, can reduce low-grade inflammation (44).

In addition, different dietary patterns can lead to changes in the composition of the gut microbiota (45). While vegetarian-vegan diets promote greater microbial diversity and the production of beneficial metabolites such as short-chain fatty acids, Western diets may favor the proliferation of bacteria associated with inflammation and metabolic disease (45). These findings highlight the importance of different diets in modulating gut microbiota and their impact on an individual's overall health.

Among the strengths of the study, we can mention that it worked with a large sample of Latin American students and the use of validated surveys that allow comparison with other studies. However, the study is not free of weaknesses, such as the cross-sectional design, which does not allow us to speak of causality, and the fact that most of the students are female. Another limitation of our study is the small representation of the vegan population, which may impact the generalizability of our results.

Conclusions

This study found that following a prudent vegetarian and especially vegan diet was associated with a better quality of life compared to a Western diet, a result that adds further strength to the benefits for individuals and in particular university students to follow a plant-based diet. It is necessary to increase food and nutrition education to promote healthy eating within Latin American universities. It is also necessary to contribute to the development of more effective food and nutrition policies in educational environments.

Acknowledgments

To all the university authorities who allowed this study to be carried out.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References







1. Jacobs DR, Orlich MJ. Diet pattern and longevity: Do simple rules suffice? A commentary. *Am J Clin Nutr.* 2014; 100: Suppl 1(1):313S-319S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071340>.
2. Millen BE, Abrams S, Adams-Campbell L, et al. The 2015 dietary guidelines advisory committee scientific report: Development and major conclusions. *Adv Nutr.* 2016;7(3):438-444. <https://doi.org/10.3945/an.116.012120>.
3. Monteiro CA, Levy RB, Claro RM, de Castro IRR, Cannon G. Increasing consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health: evidence from Brazil. *Public Health Nutr.* 2010;14(1):5-13. <https://doi.org/10.1017/S1368980010003241>
4. Innes JK, Calder PC. Omega-6 fatty acids and inflammation. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.* 2018; 132: 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2018.03.004>
5. Willett W, Rockström J, Loken B, et al. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet.* 2019;393(10170):447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
6. Morales G, Durán-Agüero S, Parra-Soto S, et al. Ultra-processed food and homemade fried food consumption is associated with overweight/obesity in Latin American university students during COVID-19. *Am J Hum Biol.* 2023; 35 (8): e23900. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23900>
7. Monteiro CA, Moubarac J-C, Cannon G, Ng SW, Popkin B. Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system. *Obes Rev.* 2013;14(Suppl 2):21-28. <https://doi.org/10.1111/obr.12107>
8. de Araújo TP, de Moraes MM, Magalhães V, Afonso C, Santos C, Rodrigues SSP. Ultra-Processed Food Availability and Noncommunicable Diseases: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(14):7382. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147382>
9. Ekmeiro-Salvador JE, Storz MA, Nebot-Bas J. Food literacy in Venezuelan adolescents: a cross-sectional study. *Int J Adolesc Youth.* 2024;24(1):2358082. <http://doi.org/10.1080/02673843.2024.2358082>
10. Martinez Steele E, Baraldi LG, Louzada ML, Moubarac JC, Monteiro CA. Ultra-processed foods and added sugars in the US diet: Evidence from a nationally representative cross-sectional study. *BMJ Open.* 2016;6(3). doi:10.1136/bmjopen-2015-009892
11. Cooper J, Campbell Q, Conner T. Healthier but not happier? The lifestyle habits of health influencer followers. *Cyberpsychology (Brno).* 2024;18(2). doi:10.5817/CP2024-2-4
12. Patiño-Jaimes V, Giraldo-Suarez MC, Mendoza-Catalán GS, Angel-Garcia J, Estrada-Luna D, Jiménez-Osorio AS. Association of Social Media

- Addiction, Weight Perception, and Lifestyle in Mexican Nursing Students. *Soc Sci.* 2024;13(12). doi:10.3390/socsci13120673
13. Costa Louzada ML, Baraldi LG, Steele EM, et al. Consumption of ultra-processed foods and obesity in Brazilian adolescents and adults. *Prev Med.* 2015;81:9–15. doi:10.1016/j.ypmed.2015.07.018
 14. Vandevijvere S, De Ridder K, Fiolet T, et al. Consumption of ultra-processed food products and diet quality among children, adolescents, and adults in Belgium. *Eur J Nutr.* 2019;58(8):3267–78. doi:10.1007/s00394-018-1870-3
 15. Tavares LF, Fonseca SC, Garcia Rosa ML, Yokoo EM. Relationship between ultra-processed foods and metabolic syndrome: a review of current evidence. *Public Health Nutr.* 2020;23(12):2407–17. doi:10.1017/S1368980019004355
 16. Peña-Jorquera H, Cid-Jofré V, Landaeta-Díaz L, Petermann-Rocha F, Martorell M, Zbinden-Foncela H, Ferrari G, Jorquera-Aguilera C, Cristi-Montero C. Plant-Based Nutrition: Exploring Health Benefits for Atherosclerosis, Chronic Diseases, and Metabolic Syndrome: A Comprehensive Review. *Nutrients.* 2023;15(14). doi:10.3390/nu15143244
 17. Moodie R, Stuckler D, Monteiro C, et al. Profits and pandemics: Prevention of harmful effects of tobacco, alcohol, and ultra-processed food and drink industries. *Lancet.* 2013;381(9867):670–9. doi:10.1016/S0140-6736(12)62089-3
 18. Popkin BM, Adair LS, Ng SW. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr Rev.* 2012;70(1):3–21. doi:10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x
 19. Hall KD, Ayuketah A, Brychta R, et al. Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain: An inpatient randomized controlled trial of ad libitum food intake. *Cell Metab.* 2019;30(1):67–77. doi:10.1016/j.cmet.2019.05.008
 20. Mendonça RD, Pimenta AM, Gea A, et al. Ultra-processed food consumption and risk of overweight and obesity: the University of Navarra Follow-Up (SUN) cohort study. *Am J Clin Nutr.* 2016;104(5):1433–40. doi:10.3945/ajcn.116.135004
 21. Govindaraju T, Sahle BW, McCaffrey TA, McNeil JJ, Owen AJ. Dietary patterns and quality of life in older adults: A systematic review. *Nutrients.* 2018;10(8). doi:10.3390/nu10080971
 22. Adimark. (2000). El Nivel Socioeconómico ESOMAR, Manual de aplicación. 1-8. <http://www.microweb.cl/idm/documentos/ESOMAR.pdf>
 23. Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment. The WHOQOL Group. *Psychol Med.* 1998;28(3):551–558. <https://doi.org/10.1017/s0033291798006667>
 24. WHOQOL Group. Field Trial WHOQOL-100. February 1995: facet definitions and questions. Geneva: WHO (MNH/PSF/95.1.B), 1995.
 25. Stata Corp. Stata Statistical Software: Release 17.0 College Station, TX: Stata Corp LP.
 26. Hargreaves SM, Nakano EY, Zandonadi RP. Brazilian Vegetarian Population-Influence of Type of Diet, Motivation and Sociodemographic Variables on Quality of Life Measured by Specific Tool (VEGQOL). *Nutrients.* 2020;12(5):1406. <https://doi.org/10.3390/nu12051406>
 27. Elizabeth L, Machado P, Zinöcker M, Baker P, Lawrence M. Ultra-processed foods and health outcomes: A narrative review. *Nutrients.* 2020;12(7):1955. <https://doi.org/10.3390/nu12071955>
 28. Evaristo OS, Moreira C, Lopes L, Abreu S, Agostinis-Sobrinho C, Oliveira-Santos J, Póvoas S, Oliveira A, Santos R, Mota J. Associations between physical fitness and adherence to the Mediterranean diet with health-related quality of life in adolescents: results from the LabMed Physical Activity Study. *Eur J Public Health.* 2018;28(4):631–635. <https://doi.org/10.1093/eurpub/cky043>
 29. Godos J, Guglielmetti M, Ferraris C, Frias-Toral E, Domínguez Azpiroz I, Lipari V, Di Mauro A, Furnari F, Castellano S, Galvano F, Iacoviello L, Bonaccio M, Grosso G. Mediterranean Diet and Quality of Life in Adults: A Systematic Review. *Nutrients.* 2025;17(3):577. <https://doi.org/10.3390/nu17030577>
 30. Deligiannidou GE, Philippou E, Vasiari E, de Andrade VL, Massaro M, Chervenkov M, Ivanova T, Jorge R, Dimitrova D, Ruskovska T, Miloseva L, Maksimova V, Smilkov K, Gjorgieva Ackova D, García-Conesa MT, Pinto P, Kontogiorgis CA. Exploring the Relationship between Mediterranean Diet Adherence and Subjective Well-Being among Greek and Cypriot Adults. *Nutrients.* 2024;16(8):1238. <https://doi.org/10.3390/nu16081238>
 31. Victoria-Montesinos D, Tárraga-Marcos A, Brazo-Sayavera J, Jiménez-López E, Gutiérrez-Espinoza H, Panisello Royo JM, Tárraga-López PJ, López-Gil JF. Adherence to the Mediterranean Diet and Health-Related Quality of Life during the COVID-19 Lockdown: A Cross-Sectional Study including Preschoolers, Children, and Adolescents from Brazil and Spain. *Nutrients.* 2023;15(3):677. <https://doi.org/10.3390/nu15030677>
 32. Azupogo F, Seidu JA, Issaka YB. Higher vegetable intake and vegetable variety is associated with a better self-reported health-related quality of life (HR-QoL) in a cross-sectional survey of rural northern Ghanaian women in fertile age. *BMC Public Health.* 2018;18(1):920. doi: 10.1186/s12889-018-5845-3.
 33. Slavin JL, Lloyd B. Health benefits of fruits and vegetables. *Adv Nutr.* 2012;3(4):506–16. doi: 10.3945/an.112.002154.
 34. Fiolet T, Srour B, Sellem L, Kesse-Guyot E, Allès B, MÃ©jean C et al. Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from NutriNet-Santé prospective cohort *BMJ* 2018; 360 :k322 doi:10.1136/bmj.k322
 35. Ekmeiro-Salvador JE, Storz MA. The impact of plant-based diets on dietary acid load metrics in Venezuela: A cross-sectional study. *Nutrients.* 2023;15(12):2745. <https://doi.org/10.3390/nu15122745>
 36. Matison AP, Thalamuthu A, Flood VM, Catts VS, Christensen K, Nygaard M, Pedersen NL, Sachdev PS, Reppermund S, Mather KA; Interplay of Genes and Environment across Multiple Studies (IGEMS) consortium. Longitudinal associations between fruit and vegetable intakes and depressive symptoms in middle-aged and older adults from four international twin cohorts. *Sci Rep.* 2024;14(1):29711. doi: 10.1038/s41598-024-79963-2.

37. Hatab AA, Sam KG, Beshir SA, Elnour AA, Mazrouei NA, Al-Kubaisi KA, Alkaabi bM, Al Amoodi A, Menon V, Mohammed A, Abdalla SF. Association of level of adherence to Mediterranean diet with cognitive and dementia status in subjects with chronic diseases: a cross-sectional study. *Nutr Neurosci*. 2024;27(10):1123-1130. doi: 10.1080/1028415X.2024.2304941
38. Pu S, Xu Y, Tong X, Zhang Y, Sun X, Gao X. Correlation of dietary inflammation index and dietary pattern with mild cognitive impairment in patients with type 2 diabetes. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*. 2024;71(4):152-162. doi: 10.1016/j.endien.2024.01.008.
39. Nardocci M, Polsky JY, Moubarac JC. How ultra-processed foods affect health in Latin America. *BMJ*. 2019;364. doi:10.1136/bmj.k5152
40. World Cancer Research Fund (WCRF). Diet, Nutrition, Physical Activity and Cancer: A Global Perspective. Continuous Update Project Expert Report 2018.
41. Orchard TS, Andridge RR, Yee LD, Lustberg MB. Diet Quality, Inflammation, and Quality of Life in Breast Cancer Survivors: A Cross-Sectional Analysis of Pilot Study Data. *J Acad Nutr Diet*. 2018;118(4):578-588.e1. doi: 10.1016/j.jand.2017.09.024.
42. Pagliai G, Dinu M, Madarena MP, Bonaccio M, Iacoviello L, Sofi F. Consumption of ultra-processed foods and health status: a systematic review and meta-analysis. *Br J Nutr*. 2021;125(3):308-318. doi: 10.1017/S0007114520002688.
43. Vandenberghe-Descamps M, Theis S, Padilla M, et al. Ultra-processed food consumption and depression risk: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2022;14(3):532. doi:10.3390/nu14030532
44. Nieman KM, Anderson BD, Cifelli CJ. The Effects of Dairy Product and Dairy Protein Intake on Inflammation: A Systematic Review of the Literature. *J Am Coll Nutr*. 2021;40(6):571-582. doi: 10.1080/07315724.2020.1800532.
45. Beam A, Clinger E, Hao L. Effect of Diet and Dietary Components on the Composition of the Gut Microbiota. *Nutrients*. 2021;13(8):2795. doi: 10.3390/nu13082795.

Recibido: 31/01/2025
Aceptado: 30/06/2025

Modelos predictivos para la seguridad alimentaria en América Latina: Una revisión de alcance

Juanita Trejos-Suárez¹ , Lina Valeria Cuadrado Pardo² , Josueph Esteban Tabares² ,
Sandra Garzón³ , Alejandro Bryon² , Zaida Alarcón² .

Resumen: Modelos predictivos para la seguridad alimentaria en América Latina: Una revisión de alcance.

Introducción: La seguridad alimentaria en América Latina enfrenta desafíos significativos debido a factores como el cambio climático, la desigualdad social y la inestabilidad económica, lo que resalta la necesidad de herramientas avanzadas para su análisis y gestión. Este artículo revisa el estado actual de la literatura sobre modelos predictivos aplicados a la seguridad alimentaria en Latinoamérica, con énfasis en el contexto colombiano durante el período 2014-2024. **Objetivo:** Describir los enfoques metodológicos, los algoritmos utilizados y sus aplicaciones prácticas en este ámbito. **Materiales y métodos:** Se realizó una revisión de alcance siguiendo los lineamientos PRISMA-ScR, que incluyó 65 estudios relevantes. **Resultados:** Los hallazgos destacan el predominio de variables climáticas, agrícolas y tecnológicas, mientras que las categorías socioeconómicas y sanitarias/nutricionales estuvieron subrepresentadas. Los algoritmos más utilizados fueron Bosques Aleatorios y Redes Neuronales Artificiales, ambos con un 16,9%. Las principales áreas de enfoque fueron la gestión sostenible de recursos naturales (26,2%), la predicción del rendimiento agrícola (21,54%) y los impactos del cambio climático y la calidad y seguridad de los alimentos (13,85% cada una). **Conclusiones:** La integración de categorías de datos más amplias y el desarrollo de modelos más robustos son fundamentales para fortalecer la seguridad alimentaria en la región, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible y a políticas públicas más efectivas. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 129-142.**

Palabras clave: Seguridad alimentaria, sistemas agroalimentarios, modelos predictivos, algoritmos computacionales, Latinoamérica.

Abstract: Predictive models for food security in Latin America: A scoping review. **Introduction:** Food security in Latin America faces significant challenges due to factors such as climate change, social inequality, and economic instability, highlighting the need for advanced tools for analysis and management. This article reviews the current state of the literature on predictive models applied to food security in Latin America, with an emphasis on the Colombian context during the period 2014-2024. **Objective:** To describe the methodological approaches, algorithms used, and their practical applications in this field. **Materials and Methods:** A scoping review following PRISMA-ScR guidelines was conducted, which included 65 relevant studies. **Results:** The findings highlight the predominance of climatic, agricultural, and technological variables, while socioeconomic and health/nutritional categories were underrepresented. The most used algorithms were Random Forest and Artificial Neural Networks, both at 16.9%. The main areas of focus were the sustainable management of natural resources (26.2%), the prediction of agricultural yield (21.54%), and the impacts of climate change and food quality and safety (13.85% each). **Conclusions:** The integration of broader data categories and developing more robust models are essential to strengthening food security in the region, contributing to sustainable development goals and more effective public policies. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 129-142.**

Keywords: Food security, agro-food systems, predictive models, computational algorithms, Latin America.

Introducción

La seguridad alimentaria garantiza el acceso estable a alimentos suficientes, seguros y nutritivos (1), mientras que la soberanía alimentaria, promueve el derecho de los pueblos a decidir sus sistemas alimentarios en consonancia con sus valores culturales y sostenibilidad (2). Estos conceptos adquieren especial relevancia

¹Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Médicas y de la Salud, Instituto de Investigaciones MASIRA. Bucaramanga, Colombia. ²Health Economics Outcome Research Team: HEORT. ³Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA), Grupo de Investigación Universidad y Región GIUR, Institución Universitaria Visión de las Américas, Facultad de Medicina, Grupo de Investigación Biomedicina. Autor para la correspondencia: Juanita Trejos-Suárez, e-mail: juanita.trejos@udes.edu.co; Lina Cuadrado: E-mail: linvalecupa@gmail.com



en Colombia y Latinoamérica, donde la seguridad alimentaria enfrenta desafíos críticos derivados de factores como el cambio climático, la inestabilidad económica y la desigualdad social, los cuales afectan la disponibilidad, el acceso y la calidad de los alimentos.

En Colombia, entre los años 2021 y 2023, un 30.7% de la población (aproximadamente 16.3 millones de personas) experimentó inseguridad alimentaria moderada o grave (3). Este panorama plantea riesgos significativos para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2 y 12), orientados a erradicar el hambre y promover el consumo y la producción sostenible (4–6). A pesar de los esfuerzos impulsados por políticas públicas, como el programa Hambre Cero, la inseguridad alimentaria persiste, demandando enfoques innovadores que mejoren la prevención y la capacidad de respuesta ante esta problemática.

Es allí donde los modelos predictivos computacionales se presentan como una solución estratégica para la gestión de la seguridad alimentaria, permitiendo anticipar los factores que contribuyen a esta problemática (7). Estos modelos analizan grandes volúmenes de datos históricos y actuales de producción agrícola, rendimiento de cultivos, disponibilidad de semillas y gestión de recursos para identificar patrones, prever resultados futuros y optimizar decisiones, facilitando la planificación, la gestión de riesgos y el uso eficiente de insumos (8,9).

Mediante el aprendizaje automático, una subdisciplina de la inteligencia artificial, se emplean algoritmos avanzados, como Bosques Aleatorios, Redes Neuronales Automáticas, entre otros, los cuales permiten anticipar los rendimientos de los cultivos, gestionar riesgos climáticos y económicos, y optimizar la planificación agrícola según las características del suelo (10,11). Estos modelos contribuyen a la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas alimentarios, mejorando la eficacia de las políticas públicas orientadas a reducir la inseguridad alimentaria en las regiones (7).

El presente artículo tuvo como objetivo revisar el estado actual de la literatura sobre modelos predictivos computacionales aplicados a la seguridad y soberanía alimentaria en Latinoamérica, con especial énfasis en el contexto colombiano. A través de una metodología de revisión de alcance, se buscó mapear y sintetizar la literatura existente, identificando los algoritmos de aprendizaje automático más efectivos, evaluando el papel de distintas categorías de datos (agrícolas, climáticas, económicas, socioculturales, entre otras) como descriptores en el entrenamiento de modelos predictivos.

Esta revisión no solo analizó el impacto directo e indirecto de los modelos predictivos en la seguridad alimentaria, sino que también identificó vacíos en el conocimiento y áreas de oportunidad. Los hallazgos de este trabajo buscan generar insumos que faciliten la toma de decisiones estratégicas y la integración de evidencias en el diseño de políticas públicas más efectivas y sostenibles. Además, se aspira a fortalecer la resiliencia de los sistemas alimentarios frente a los desafíos actuales y futuros, proporcionando una base sólida para promover investigaciones orientadas al desarrollo de soluciones innovadoras en este ámbito.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

Este estudio se basa en una revisión de alcance (*Scoping Review*), diseñada para mapear la literatura científica relacionada con la aplicación de modelos predictivos en la seguridad alimentaria. La metodología se desarrolló siguiendo los lineamientos propuestos por Arksey H y O'Malley L (12), con las adaptaciones de Levac D y col. (13) y la guía PRISMA-ScR (14). Este enfoque permitió identificar y sintetizar la evidencia existente sobre los modelos predictivos, explorar sus aplicaciones metodológicas y destacar los vacíos de conocimiento sobre el tema. El protocolo de la revisión se publicó en la plataforma para *Open Science Framework* (<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/CK7AZ>)

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación que guió esta revisión fue: ¿Cuáles son los enfoques metodológicos y principales aplicaciones de los modelos predictivos para la seguridad alimentaria o soberanía alimentaria en Latinoamérica, con énfasis en el contexto colombiano, durante el período 2014-2024?

Estrategia de búsqueda

La búsqueda de la literatura se realizó de forma exhaustiva y sistemática en bases de datos de acceso abierto y de suscripción, con el fin de asegurar la inclusión de la mayor cantidad de estudios relevantes. Las bases de datos consultadas incluyeron PubMed, Scopus, y Google Scholar (para la literatura gris). La estrategia de búsqueda se desarrolló mediante la combinación de términos y operadores booleanos.

Ecuación de búsqueda

("Modelo predictivo" OR "Predicción") AND ("Seguridad alimentaria" OR "Soberanía alimentaria") AND ("Colombia" OR "América Latina")

("Predictive model" OR "Prediction") AND ("Food security" OR "Food sovereignty") AND ("Colombia" OR "Latin America")

Criterios de inclusión y exclusión

Se definieron criterios de inclusión y exclusión para garantizar la pertinencia, la calidad y la actualidad de los estudios seleccionados.

Criterios de inclusión

- Período de publicación: Estudios publicados entre 2014 y 2024.
- Idioma: Artículos publicados en español e inglés.
- Cobertura temática: Estudios que exploren la aplicación de modelos predictivos en la seguridad alimentaria, la soberanía alimentaria o los sistemas alimentarios.
- Tipos de documentos: Artículos originales publicados en revistas con revisión por pares, tesis o trabajos de grados en repositorios universitarios con evaluación por pares, informes técnicos de organismos internacionales y literatura gris relevante.
- Acceso: Estudios con texto completo disponible o con resúmenes suficientemente informativos.

Criterios de exclusión

- Calidad metodológica insuficiente: Estudios que no presenten una descripción clara de su metodología, datos utilizados o procedimientos de validación.
- Enfoque desviado: Estudios que no presenten una conexión directa con la aplicación de modelos

predictivos en seguridad alimentaria, soberanía alimentaria o sistemas alimentarios, como aquellos que solo discutan modelos matemáticos en general o temas alimentarios sin relación con modelos predictivos.

- Falta de evidencia práctica: Trabajos que se limiten a discutir teorías sin aplicación práctica en el contexto de seguridad alimentaria en América Latina.
- Información incompleta o irrelevante: Estudios cuyo texto completo no esté disponible y cuyos resúmenes no ofrezcan suficiente información para evaluar su relevancia o calidad.

Proceso de selección de los estudios

El proceso de selección se llevó a cabo en tres etapas:

1. Eliminación de duplicados: Los registros duplicados se eliminaron mediante el uso de software de gestión de referencias bibliográficas.
2. Revisión por título y resumen: Dos revisores independientes examinaron el título y el resumen de cada registro, y se resolvieron desacuerdos mediante discusión o la intervención de un tercer revisor.
3. Revisión a texto completo: Los estudios elegibles se evaluaron a texto completo para confirmar su inclusión. Se registró el motivo de la exclusión de cada artículo que no cumplió los criterios.

El proceso de selección se documentó mediante un diagrama PRISMA (15), que muestra el flujo de los registros desde la identificación inicial hasta la selección final (figura 1).

Extracción de datos

Se utilizó una plantilla de extracción de datos estandarizada para recopilar información clave de cada estudio. La plantilla incluyó Información general (título, año de publicación, enlace de acceso);

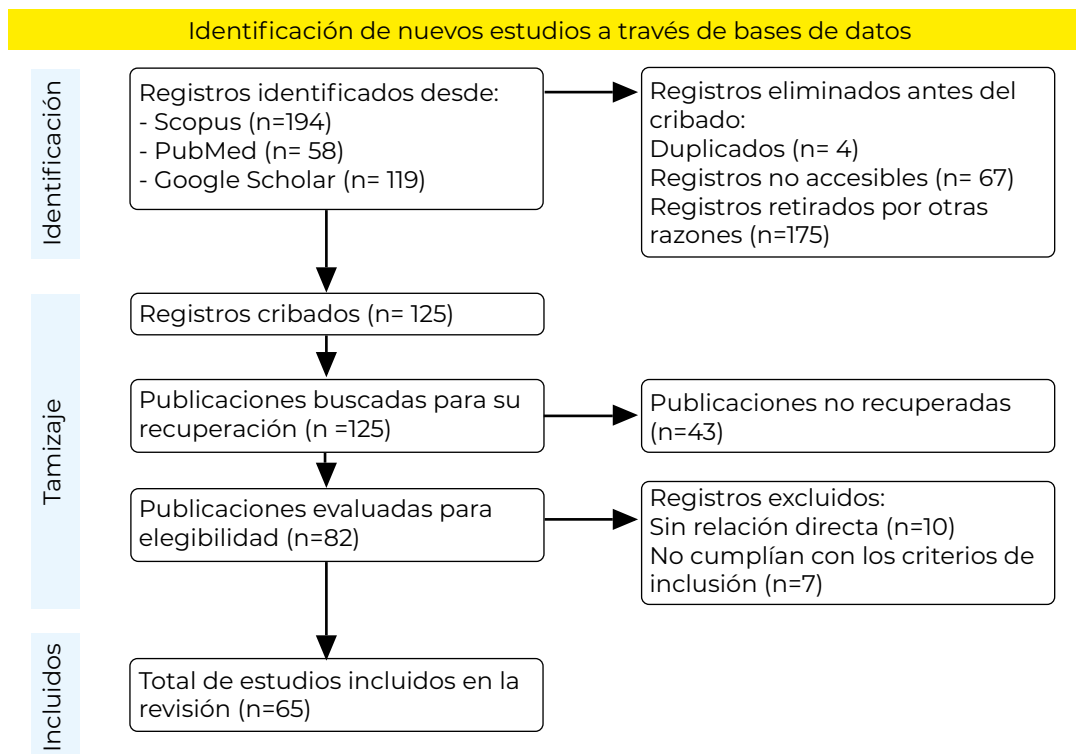


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA ScR

contexto geográfico (país o región) y social; objetivo del estudio; categorías de datos (agrícola, ambiental, climática, económica, institucional/política, sanitaria/nutricional, sociocultural, tecnológica/infraestructura); metodología: tipo de modelo predictivo (regresión lineal, redes neuronales, bosques aleatorios, etc.), variables incluidas, métodos de validación y principales resultados (impacto en la seguridad alimentaria, limitaciones y aplicación). La extracción fue realizada de forma independiente por tres revisores, y los desacuerdos se resolvieron por discusión o con la participación de un cuarto revisor.

Síntesis y presentación de resultados

Se emplearon gráficas, tablas, mapas conceptuales y análisis temático para sintetizar los hallazgos, visualizar relaciones entre variables y detectar patrones relevantes. Estos métodos fueron seleccionados por su adecuación para integrar y analizar datos de manera integral, permitiendo identificar vacíos de conocimiento y conectar la

evidencia disponible con los objetivos de esta revisión, orientados a mejorar la comprensión sobre los modelos predictivos aplicados a la seguridad alimentaria.

Consideraciones éticas

Este estudio no requirió aprobación de un comité ético, ya que se basa exclusivamente en el análisis de literatura secundaria. Sin embargo, se desarrolló de acuerdo con la extensión PRISMA-ScR, garantizando la transparencia y reproducibilidad del proceso. Se documentó cada paso siguiendo los estándares recomendados para revisiones exploratorias.

Resultados

En esta revisión se incluyeron 65 estudios publicados entre 2016 y 2024, los cuales cumplieron con los criterios de inclusión establecidos. No se identificaron estudios anteriores a este periodo que reunieran dichos criterios. La mayoría de los estudios se realizaron en Brasil (n=28), destacando un enfoque significativo en la agricultura y el ambiente. El idioma predominante fue el inglés (78,2%). En términos

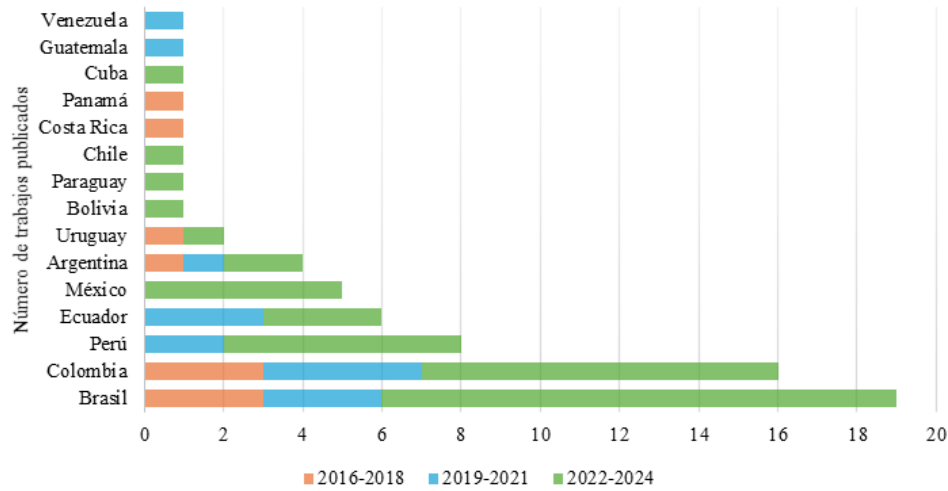


Figura 2. Análisis temporal de la producción científica en Latinoamérica

de tipos de documentos, el 83,3% corresponden a artículos originales en revistas indexadas, mientras que el resto incluye literatura gris, como informes técnicos y tesis de pregrado y maestría.

El análisis temporal de los estudios seleccionados (figura 2), revela un aumento progresivo en la producción científica sobre modelos predictivos aplicados a la seguridad o soberanía alimentaria en Latinoamérica durante los últimos años. Entre 2016-2018 se identificó un número limitado de publicaciones, mientras que los períodos 2019-2021 y 2022-2024 muestran un incremento significativo, especialmente en países como Brasil y Colombia, los cuales concentran la mayor cantidad de estudios. Este crecimiento refleja un interés creciente en la región

por abordar los desafíos de la seguridad alimentaria mediante enfoques tecnológicos y predictivos.

Objetivos y categorías de estudio

Los objetivos de los estudios analizados abarcaron una amplia gama de aplicaciones que pudieron agruparse en seis categorías principales (figura 3). Una proporción significativa se centró en la gestión sostenible de recursos naturales, integrando innovaciones tecnológicas para optimizar el uso del agua, suelo y polinizadores. Otro grupo importante abordó la predicción del rendimiento agrícola, utilizando técnicas de aprendizaje automático e imágenes multiespectrales. Varios estudios exploraron los impactos del cambio climático en cultivos y ecosistemas, mientras que otros se enfocaron en la calidad y seguridad de los alimentos mediante análisis predictivos. Además, algunos trabajos buscaron desarrollar modelos para la toma de decisiones en mercados y recursos agrícolas, y la conservación de la biodiversidad bajo escenarios futuros.

Estos hallazgos permitieron identificar los principales factores que afectan directa e indirectamente la seguridad o soberanía alimentaria en Latinoamérica. A continuación, se describen los resultados de cada categoría:

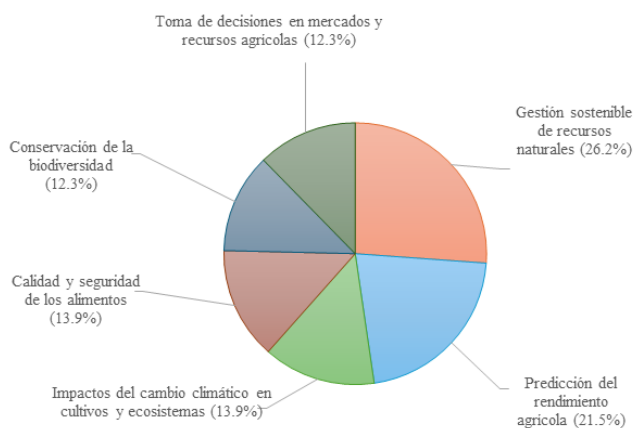


Figura 3. Distribución de las categorías de los objetivos en los estudios revisados

1. Categoría Agrícola: Se documentaron enfoques como la intensificación sostenible, la agricultura de precisión y los sistemas agroecológicos. Estas prácticas buscan aumentar la productividad mientras se minimiza el impacto ambiental, abordando simultáneamente la necesidad de sostenibilidad y seguridad alimentaria (16–30).
2. Categoría Ambiental: Los estudios destacaron la sostenibilidad ambiental como un componente esencial de la seguridad alimentaria, enfocándose en la conservación de la biodiversidad y la reducción de la huella ambiental. Estas medidas son fundamentales para garantizar la viabilidad a largo plazo de los sistemas alimentarios (31–42).
3. Categoría Climática: Los estudios analizados destacan cómo el cambio climático afecta negativamente la producción agrícola, especialmente en regiones tropicales. Eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones, y el aumento de la temperatura se asocian con una disminución en los rendimientos agrícolas, exacerbando la inseguridad alimentaria en áreas vulnerables (42–49).
4. Categoría Sanitaria-Nutricional: La calidad e inocuidad de los alimentos fueron aspectos críticos identificados. Los modelos predictivos en esta categoría abordan desde la producción segura hasta la prevención de enfermedades relacionadas con alimentos contaminados, destacando su impacto en la salud pública (50–58).
5. Categoría Tecnológica-Infraestructura: Innovaciones tecnológicas y mejoras en infraestructura, como el almacenamiento y la digitalización, fueron mencionadas como soluciones para reducir pérdidas poscosecha y optimizar la distribución de alimentos, contribuyendo a una mayor eficiencia en los sistemas alimentarios (59–68).
6. Categoría Económica: Los factores económicos, incluidos el poder adquisitivo y la volatilidad de los precios de los alimentos, emergieron como determinantes críticos

de la seguridad alimentaria. Las desigualdades socioeconómicas y la limitada integración de pequeños productores en las cadenas de valor son barreras recurrentes que afectan el acceso equitativo a alimentos, por lo que en la actualidad se han realizado estudios sobre la trazabilidad, la prevención de fraudes comerciales, el incremento del rendimiento agrícola y la mejora de la confianza del consumidor (69–75).

7. Categoría Política-Institucional: La calidad de las instituciones públicas y la coherencia en la implementación de políticas alimentarias fueron identificadas como factores clave. Los estudios analizados subrayan la importancia de una gobernanza efectiva para abordar los desafíos de los sistemas alimentarios (25,66,67,70,71,73,74).

Modelos Predictivos

El análisis de los modelos de predicción utilizados en los estudios revisados destaca la diversidad de enfoques aplicados (tabla 1). Los modelos de aprendizaje automático supervisado fueron los más utilizados, con Bosques Aleatorios y Redes Neuronales Artificiales como los más frecuentes. En cuanto a los modelos estadísticos y clásicos, prevalecieron la Regresión Lineal y la Regresión Logística, mientras que los modelos de ensamble y meta-aprendizaje, modelos basados en procesos y simulación, y modelos espaciales y ecológicos complementaron el análisis con aplicaciones específicas. Estas categorías reflejan la implementación de métodos variados, desde algoritmos avanzados hasta técnicas tradicionales, para abordar problemáticas multidimensionales en seguridad alimentaria.

El análisis realizado permitió identificar y estructurar las principales categorías de variables empleadas en los estudios revisados, destacando la diversidad de enfoques aplicados para abordar la seguridad alimentaria (figura 4). Estas categorías reflejan una integración multidimensional de datos, que van desde factores ambientales y climáticos hasta aspectos tecnológicos y socioeconómicos. Este enfoque no solo permite evaluar impactos específicos, como la variabilidad climática y la optimización de recursos agrícolas, sino que también facilita el diseño de estrategias integrales para mejorar los sistemas alimentarios.

Tabla 1. Clasificación de los modelos de predicción utilizados en los estudios revisados

Modelos de Aprendizaje Automático Supervisado (50.0%)	
Árbol de Decisión	5.6%
Bosques Aleatorios	16.7%
k-Nearest Neighbors	1.4%
Máquina de Soporte Vectorial	4.2%
Naive Bayes	1.4%
Redes Neuronales Artificiales	16.7%
XGBoost	4.2%
Modelos Estadísticos y Clásicos (16.7%)	
Análisis de Componentes Principales	2.8%
Modelos de Regresión Logística	4.2%
Regresión Lineal	8.3%
SARIMA	1.4%
Modelos de Ensamble y Meta-Aprendizaje (4.2%)	
Meta-aprendizaje	2.8%
Modelos de Ensamble para Predicción	1.4%
Modelos Basados en Procesos y Simulación (9.7%)	
Modelos Predictivos Basados en Procesos	4.2%
Modelos Predictivos Basados en Simulación o Casos	2.8%
Modelo Predictivo Geoambiental	2.8%
Modelos Basados en Datos Espaciales y Ecológicos (9.7%)	
Modelos Predictivos Basados en Nichos Ecológicos	8.3%
Modelos Predictivos Basados en Colecciones de Museos	1.4%
Modelos Genómicos y Biológicos (4.2%)	
Modelos de Selección Genómica Amplia	2.8%
Análisis QTL Multiambiente	1.4%
Modelos Socioeconómicos (1.4%)	
Modelos de Microsimulación Socioeconómica Integrados	1.4%
Modelos de Pronóstico y Series Temporales (4.2%)	
Modelos de Pronóstico	2.8%
SARIMA	1.4%

Los métodos de validación empleados en los estudios revisados abarcan un amplio espectro, desde enfoques clásicos como la validación cruzada (K-Fold, nested leave-one-out) hasta simulaciones basadas en escenarios históricos y futuros. Entre las métricas más comunes se encuentran el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE) y el área bajo la curva (AUC), utilizadas para evaluar el rendimiento y la precisión predictiva. Se destacan validaciones espaciales y temporales, con coherencia entre distribuciones proyectadas y observadas. Además, varios estudios aplicaron validaciones híbridas, combinando datos observados y simulaciones para garantizar la robustez de los modelos en contextos multidimensionales.

Impactos de los modelos predictivos en la seguridad y soberanía alimentaria

El análisis de los impactos de los modelos predictivos en los estudios revisados muestra una amplia contribución a través de diferentes enfoques y áreas clave. Los principales impactos incluyeron:

1. **Optimización de la producción agrícola y sostenibilidad:** La predicción precisa de rendimientos, el manejo eficiente de recursos hídricos y la mejora en la fertilidad del suelo garantizan la estabilidad de la producción de alimentos esenciales, como maíz, arroz, café y soya. Estos avances contribuyen a la reducción de la inseguridad alimentaria y fomentan prácticas agrícolas sostenibles.
2. **Diversificación y resiliencia alimentaria:** La conservación de especies silvestres y el desarrollo de cultivos biofortificados fortalecen la seguridad alimentaria, especialmente en comunidades vulnerables, al diversificar las fuentes de alimentos y mejorar su valor nutricional.
3. **Gestión de recursos y reducción de riesgos climáticos:** Modelos predictivos permiten una mejor planificación ante eventos como sequías y el cambio climático, optimizando la gestión de cultivos y asegurando la continuidad de la producción en escenarios adversos.
4. **Calidad y seguridad alimentaria:** La autenticación de la procedencia de productos, el control de patógenos y la mejora en procesos de almacenamiento garantizan estándares de calidad, minimizan pérdidas postcosecha y fortalecen la confianza del consumidor.
5. **Apoyo a la economía agrícola:** La optimización de cadenas de suministro, como en el caso del agave y el café, y la predicción de precios agrícolas reducen la incertidumbre económica, beneficiando a productores y fortaleciendo los mercados locales.
6. **Preservación de servicios ecosistémicos:** La gestión sostenible de suelos degradados, la



Figura 4. Variables empleadas en los modelos predictivos para la seguridad alimentaria

protección de polinizadores y la conservación de ecosistemas clave aseguran recursos esenciales para la agricultura y la regulación ambiental, apoyando la seguridad alimentaria en el largo plazo.

Aplicaciones de los estudios

Los estudios revisados evidenciaron una amplia variedad de aplicaciones de los modelos predictivos en seguridad alimentaria y soberanía alimentaria. Estas abarcan desde la optimización de la producción agrícola, con predicciones precisas de rendimientos de cultivos clave como maíz, arroz y café, hasta la gestión sostenible de recursos naturales, como suelos, agua y biodiversidad. Destacan aplicaciones como el monitoreo y manejo de

plagas, el control de calidad de productos agrícolas y la gestión de cadenas de suministro, que mejoran la eficiencia operativa y reducen pérdidas. Otras aplicaciones incluyen el desarrollo de sistemas de agricultura de precisión, la predicción de precios agrícolas y la planificación de intervenciones para mejorar la seguridad alimentaria en comunidades vulnerables. Adicionalmente, los estudios aportan a la sostenibilidad ambiental, con estrategias de conservación de especies, restauración de suelos degradados y adaptación de los sistemas agrícolas al cambio climático, integrando innovaciones como sensores IoT, aprendizaje automático y análisis multiespectral. Estas aplicaciones resaltan la relevancia de los modelos predictivos como herramientas clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros de los sistemas alimentarios.

Limitaciones de los estudios

Las limitaciones de los estudios revisados resaltan la necesidad de mejorar la calidad y diversidad de los datos empleados, así como la integración de dimensiones socioculturales e institucionales para abordar la seguridad alimentaria de manera integral. Muchos modelos dependen de datos de campo o sensores, cuya representatividad y escalabilidad son limitadas. Además, la falta de datos locales y actualizados dificulta la generalización y extrapolación de los modelos a diferentes regiones o cultivos.

La variabilidad en la calidad de las predicciones, influenciada por el desequilibrio de clases, la selección de variables relevantes y la parametrización de los modelos, es un desafío recurrente. A esto se suma la incertidumbre inherente a las proyecciones climáticas y escenarios futuros, especialmente en estudios relacionados con el cambio climático.

La implementación práctica de los modelos en áreas rurales se ve restringida por la necesidad de tecnologías avanzadas, como sensores IoT, imágenes multispectrales y equipos especializados, que requieren altos costos y recursos tecnológicos. Asimismo, la complejidad computacional de enfoques como las redes neuronales profundas y la selección genómica limita su adopción a gran escala.

Estas limitaciones enfatizan la importancia de desarrollar modelos más integradores y robustos, capaces de capturar interacciones dinámicas entre factores clave y de adaptarse a contextos diversos, fortaleciendo así su precisión y aplicabilidad.

Discusión

El análisis de esta revisión revela que las categorías de datos más utilizadas en los modelos predictivos incluyen variables agrícolas, ambientales y climáticas, presentes en más del 80 % de los estudios revisados. Estas categorías son esenciales para enfrentar los retos derivados del clima y las condiciones de cultivo, factores determinantes para la seguridad alimentaria. Sin embargo, variables económicas, sanitarias-nutricionales y político-institucionales, igualmente relevantes para una visión integral, están subrepresentadas, lo que evidencia la necesidad de integrar estas dimensiones para abordar aspectos como el acceso y la calidad de los alimentos.

Los estudios que incorporaron categorías más amplias de datos, incluyendo componentes sanitarios o económicos, demostraron un impacto más directo en la seguridad alimentaria. Aunque los modelos basados únicamente en variables agrícolas y climáticas son útiles, aquellos que integran múltiples categorías, como análisis de precios o predicción de microorganismos, son más efectivos en contextos complejos (76). Esto resalta el valor de enfoques multidimensionales en la modelización predictiva.

En cuanto a los algoritmos, Bosques Aleatorios, Redes Neuronales y Regresión Lineal se destacaron en tareas clave como la predicción de rendimientos agrícolas y la optimización de recursos. Los algoritmos supervisados, particularmente Bosques Aleatorios y Máquinas de Soporte Vectorial, demostraron ser altamente precisos y adaptables a grandes volúmenes de datos, lo que es fundamental para aplicaciones agrícolas en contextos cambiantes (77). Aunque modelos más simples como la Regresión Lineal mostraron eficacia en tareas específicas, su capacidad es limitada frente a datos complejos y no lineales (78).

El impacto de los modelos predictivos incluye optimización de recursos, mejora en la calidad de los productos agrícolas y predicción precisa de rendimientos, lo que facilita la planificación agrícola y contribuye a la estabilidad alimentaria en contextos de cambio climático. Además, estos modelos indirectamente benefician la toma de decisiones estratégicas, optimizan las cadenas de suministro y promueven una distribución eficiente de alimentos, aspectos clave para garantizar la seguridad alimentaria sostenible.

Esta revisión destaca una brecha crítica en el avance hacia el cumplimiento del ODS 2 de erradicar el hambre para 2030. La integración de tecnologías avanzadas y modelos predictivos más inclusivos puede ser crucial no solo para mejorar la eficiencia agrícola, sino también para guiar políticas públicas que prioricen la equidad en el acceso a alimentos y la sostenibilidad de

los sistemas alimentarios, abordando así desafíos estructurales como la pobreza y la desigualdad.

Futuras líneas de investigación

Para superar las limitaciones encontradas y ampliar el impacto de los modelos predictivos, esta revisión sugiere las siguientes líneas de investigación:

1. Integración de categorías de datos no tradicionales: Incluir variables socioculturales, sanitarias y nutricionales para capturar mejor los factores que afectan la seguridad alimentaria a nivel comunitario.
2. Mejora en la calidad de los datos: Invertir en infraestructuras de recolección de datos de alta precisión, como sensores IoT y sistemas de imágenes satelitales calibradas, para mejorar la robustez y la aplicabilidad de los modelos.
3. Adaptación a contextos locales: Diseñar modelos que reflejen las realidades sociopolíticas y ambientales de Latinoamérica, especialmente en comunidades rurales y marginadas.
4. Evaluación longitudinal del impacto: Realizar estudios que analicen cómo la implementación de modelos predictivos afecta la seguridad alimentaria a largo plazo, considerando tanto beneficios directos como indirectos.

Conclusiones

La integración de categorías de datos más amplias y el desarrollo de modelos predictivos más robustos son esenciales para abordar de manera integral los desafíos relacionados con la seguridad alimentaria en América Latina. Los modelos actuales, aunque efectivos en tareas específicas como la predicción de rendimientos agrícolas y la optimización de recursos hídricos, tienden a enfocarse

principalmente en variables agrícolas y climáticas. Entre los modelos más utilizados en los estudios revisados, Bosques Aleatorios y Redes Neuronales Artificiales fueron los más frecuentes, con un 16.9% de aplicación cada uno. Además, las categorías de datos socioeconómicos, sanitarios/nutricionales y socioculturales estuvieron subrepresentadas. Una incorporación más equilibrada de factores económicos, sociales, sanitarios y político-institucionales podría mejorar significativamente la capacidad de los modelos para prever y mitigar problemas relacionados con el acceso, la disponibilidad y la calidad de los alimentos. En cuanto a los objetivos de los estudios revisados, la gestión sostenible de recursos naturales (26.15%) y la predicción del rendimiento agrícola (21.54%) fueron las áreas más frecuentes de enfoque, lo que refleja la prioridad de mejorar la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas alimentarios.

Conflictos de Interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés relacionado con este trabajo. Ninguno de los autores tiene relaciones financieras, comerciales, personales o académicas que puedan influir de manera inapropiada en los resultados, análisis o interpretaciones presentados en este documento.

Referencias

1. FAO. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Roma: FAO; 2006. <https://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition>
2. La Vía Campesina. Declaración de Roma de La Vía Campesina que define por primera vez la Soberanía Alimentaria. Vía Campesina Español; 1996 <https://viacampesina.org/es/1996-declaracion-de-roma-de-la-via-campesina-que-define-por-primera-vez-la-soberania-alimentaria/>
3. FAO, FIDA, UNICEF, PMA, OMS. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024. Roma: FAO; 2024. <https://doi.org/10.4060/cd1276es>
4. Departamento Nacional de Planeación. Informe anual avance implementación ODS en Colombia 2022. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación; 2022 <https://www.dnp.gov.co>
5. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2020 FAO; 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>
6. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development [Internet]. Nueva York: Naciones Unidas; 2015 [citado 2024 Dec 27]. Disponible en: <https://sdgs.un.org/2030agenda>

7. Dhal SB, Kar D. Transforming Agricultural Productivity with AI-Driven Forecasting: Innovations in Food Security and Supply Chain Optimization. *Forecasting*. 2024 Dec;6(4):925–51. <https://doi.org/10.3390/forecast6040046>
8. Dwivedi PK, Pandey DP. Crop Yield Prediction and Classification using the Agriculture Resources and Data Mining Techniques. *J Adv Sci Technol*. 2023 Sep 1;20(2):131–7. <https://doi.org/10.29070/krwa0448>
9. Elbasi E, Mostafa N, Zaki C, AlArnaout Z, Topcu AE, Saker L. Optimizing Agricultural Data Analysis Techniques through AI-Powered Decision-Making Processes. *Appl Sci*. 2024;14(17):8018. <https://doi.org/10.3390/app14178018>
10. Kwaghtyo DK, Eke CI. Smart farming prediction models for precision agriculture: a comprehensive survey. *Artif Intell Rev*. 2023;56(6):5729–72. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10266-6>
11. Talaviya T, Shah D, Patel N, Yagnik H, Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artif Intell Agric*. 2020;4:58–73. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.04.002>
12. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework. *Int J Soc Res Methodol*. 2005;8(1):19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
13. Levac D, Colquhoun H, O'Brien KK. Scoping studies: advancing the methodology. *Implement Sci*. 2010;5(1):69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
14. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann Intern Med*. 2018;169(7):467–73. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol*. 2021;74(9):790–9. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
16. Amaral LR, Oldoni H, Baptista GMM, Ferreira GHS, Freitas RG, Martins CL, et al. Remote sensing imagery to predict soybean yield: a case study of vegetation indices contribution. *Precision Agric*. 2024;25(5):2375–93. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10174-5>
17. Bebbler DP, Castillo AD, Gurr SJ. Modelling coffee leaf rust risk in Colombia with climate reanalysis data. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2016;371(1709):20150458. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0458>
18. Bernal CM, Avila Gómez JD. Algoritmos de aprendizaje automático: una herramienta para el análisis de datos sobre germinación en semillas. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2021.
19. Castaño Domínguez EV. Análisis de riesgo de *Stenoma catenifer* en la producción de aguacate en Caldas utilizando tecnología geoespacial: Aguadas, Pácora y Aránzazu. Colombia: Universidad de Manizales; 2024
20. Forero BLS, Cañón NDM, Baron Velandia J. Modelo para predicción del rendimiento de cultivos de alto valor calórico aplicando técnicas de optimización. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2020.
21. Nalin RS, Dalmolin RSD, de Araújo Pedron F, Moura-Bueno JM, Horst TZ, Schenato RB, et al. Accounting for the spatial variation of phosphorus available explained by environmental covariates. *Geoderma Regional*. 2023;32:e00594. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00594>
22. Naranjo FV, Galarza FC, Arias EJ. Internet of Things based Predictive Crop Yield Analysis: A Distributed Approach. *Fusion: Pract Appl*. 2023;(Issue 2):106–13. <https://doi.org/10.54216/FPA.130209>
23. Montesinos- López OA, Herr AW, Crossa J, Carter AH. Genomics combined with UAS data enhances prediction of grain yield in winter wheat. *Front Genet*. 2023; 14: 1124218. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1124218>
24. Ojeda Riaños CK, Torres CA, Zapata Calero JC, Romero-Leiton JP, Benavides IF. A machine learning approach to map the potential agroecological complexity in an indigenous community of Colombia. *J Environ Manag*. 2024; 370:122655. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122655>
25. Peixoto L de A, Laviola BG, Alves AA, Rosado TB, Bhering LL. Breeding *Jatropha curcas* by genomic selection: A pilot assessment of the accuracy of predictive models. *PLoS ONE*. 2017;12(3):e0173368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173368>
26. Pott LP, Amado TJC, Schwalbert RA, Corassa GM, Ciampitti IA. Satellite-based data fusion crop type classification and mapping in Rio Grande do Sul, Brazil. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2021;176:196–210. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.04.015>
27. Ramírez-Gil JG, Cobos ME, Jiménez-García D, Morales-Osorio JG, Peterson AT. Current and potential future distributions of Hass avocados in the face of climate change across the Americas. *Crop Pasture Sci*. 2019;70(8):694–708. <https://doi.org/10.1071/CP19094>
28. Sierra-Forero B-L, Baron-Velandia J, Vanegas-Ayala S-C. Assessment of the relevance of features associated with corn crop yield prediction in Colombia, a country in the Neotropical zone. *Int J Inf Technol*. 2024;16(4):2129–38. <https://doi.org/10.1007/s41870-024-01762-9>
29. Zhang L, Gezan SA, Eduardo Vallejos C, Jones JW, Boote KJ, Clavijo-Michelangeli JA, et al. Development of a QTL-environment-based predictive model for node addition rate in common bean. *Theor Appl Genet*. 2017;130(5):1065–79. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2871-y>
30. Zwick M, Cardoso JA, Gutiérrez-Zapata DM, Cerón-Muñoz M, Gutiérrez JF, Raab C, et al. Pixels to pasture: Using machine learning and multispectral remote sensing to predict biomass and nutrient quality in tropical grasslands. *Remote Sens Appl Soc Environ*. 2024;36:101282. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101282>

31. Ayala Izurieta JE, Márquez CO, García VJ, Jara Santillán CA, Sisti JM, Pasqualotto N, et al. Multi-predictor mapping of soil organic carbon in the alpine tundra: a case study for the central Ecuadorian páramo. *Carbon Balance Manag.* 2021;16(1):32. <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00195-2>
32. Benítez G, Estrada-Contreras I, Lascurain-Rangel M, Gómez-Díaz JA, Falfán I, Quiroz-Guerrero I, et al. Potential distribution of wild edible fruit trees under climate change scenarios: promoting food security in a Neotropical region. *Reg Environ Change.* 2024;24(2):75. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02231-6>
33. Blanco Alfonso A. Aplicación de Modelos de Aprendizaje Automático para la Caracterización Hidrogeoquímica del Agua Subterránea en Boyacá, Colombia: Comparación de Modelos de Clasificación y Método Ensamblado Stacking [Tesis de maestría]. 2024.
34. Delgado-Carrillo O, Martén-Rodríguez S, Ramírez-Mejía D, Novais S, Quevedo A, Ghilardi A, et al. Pollination services to crops of watermelon (*Citrullus lanatus*) and green tomato (*Physalis ixocarpa*) in the coastal region of Jalisco, Mexico. *PLoS ONE.* 2024;19(7):e0301402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301402>
35. Erazo-García MP, Guadalupe JJ, Rowntree JK, Borja-Serrano P, Espinosa de los Monteros-Silva N, Torres M de L. Assessing the Genetic Diversity of *Ilex guayusa* Loes., a Medicinal Plant from the Ecuadorian Amazon. *Diversity.* 2021;13(5):182. <https://doi.org/10.3390/d13050182>
36. Febles González JM, Febles Díaz JM, Vega Carreño MB, Herrera Sorzano A, Maura Santiago AV, Tolón Becerra A, et al. Resiliencia y protección agroambiental de los suelos Ferralíticos Rojos en regiones Kársticas del Occidente de Cuba. *An Acad Cienc Cuba [Internet].* 2022
37. Herrera Montiel SA, Coronado-Franco KV, Selvaraj JJ. Predicted changes in the potential distribution of seerfish (*Scomberomorus sierra*) under multiple climate change scenarios in the Colombian Pacific Ocean. *Ecol Inform.* 2019;53:100985. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.100985>
38. Lima HS, Oliveira GFV de, Ferreira R dos S, Castro AG de, Silva LCF, Ferreira L de S, et al. Machine learning-based soil quality assessment for enhancing environmental monitoring in iron ore mining-impacted ecosystems. *J Environ Manag.* 2024;356:120559. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120559>
39. Mello DC de, Veloso GV, Lana MG de, Mello FA de O, Poppiel RR, Cabrero DRO, et al. A new methodological framework for geophysical sensor combinations associated with machine learning algorithms to understand soil attributes. *Geosci Model Dev.* 2022;15(3):1219–46. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-1219-2022>
40. Silva YF, Valadares RV, Dias HB, Cuadra SV, Campbell EE, Lamparelli RAC, et al. Intense Pasture Management in Brazil in an Integrated Crop-Livestock System Simulated by the DayCent Model. *Sustainability.* 2022;14(6):3517. <https://doi.org/10.3390/su14063517>
41. Vhf C, Sd Ij, N R, Il A, Rp S, L de SC, et al. Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Sci Rep.* 2018;8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>
42. Vistin DA, Muñoz Jácome EA, Ati Cutiupala GM. Escenario de cambio climático del bosque siempreverde del páramo reserva de producción de fauna Trop Subtrop Agroecosyst. 2021;24(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3448>
43. Anríquez G, Toledo G. De-climatizing food security: Lessons from climate change micro-simulations in Peru. *PLoS ONE.* 2019;14(9):e0222483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222483>
44. Costa TS, Filgueiras R, Santos RA dos, Cunha FF da. Actual evapotranspiration by machine learning and remote sensing without the thermal spectrum. *PLoS ONE.* 2023;18(5):e0285535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285535>
45. Estrada-Contreras I, Pavón NP, Cadena JB, Bourg A. Ecological niche models of productive corn races under climate change scenarios in central-eastern Mexico. *Agron J.* 2023;115(3):1023–1036. <https://doi.org/10.1002/agj2.21286>
46. Imbach P, Fung E, Hannah L, Navarro-Racines CE, Roubik DW, Ricketts TH, et al. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2017;114(39):10438–10442. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617940114>
47. Salas-Martínez F, Márquez-Grajales A, Valdés-Rodríguez O-A, Palacios-Wassenaar O-M, Pérez-Castro N. Prediction of agricultural drought behavior using the Long Short-Term Memory Network (LSTM) in the central area of the Gulf of Mexico. *Theor Appl Climatol.* 2024;155(8):7887–7907. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05100-8>
48. Syfert MM, Serbina L, Burckhardt D, Knapp S, Percy DM. Emerging New Crop Pests: Ecological Modelling and Analysis of the South American Potato Psyllid *Russelliana solanicola* (Hemiptera: Psylloidea) and Its Wild Relatives. *PLoS ONE.* 2017;12(1): e0167764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167764>
49. Youngblood JP, Cease AJ, Talal S, Copa F, Medina HE, Rojas JE, et al. Climate change expected to improve digestive rate and trigger range expansion in outbreaking locusts. *Ecol Monogr.* 2023;93(1):e1550. <https://doi.org/10.1002/ecm.1550>
50. Alves V, dos Santos JM, Viegas O, Pinto E, Ferreira IMPLVO, Aparecido Lima V, et al. An eco-friendly approach for analysing sugars, minerals, and colour in brown sugar using digital image processing and machine learning. *Food Res Int.* 2024;191:114673. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114673>
51. Carvalho RRB de, Cortes DFM, Sousa MB e, Oliveira LA de, Oliveira EJ de. Image-based phenotyping of cassava roots for diversity studies and carotenoids prediction. *PLoS ONE.* 2022;17(1): e0263326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263326>

52. Castro-Bedriñana J, Chirinos-Peinado D, De La Cruz-Calderón G. Predictive model of stunting in the Central Andean region of Peru based on socioeconomic and agri-food determinants. *Public Health Pract.* 2021; 2:100112. <https://doi.org/10.1016/j.puhip.2021.100112>
53. Castro-Bedriñana J, Chirinos-Peinado D, Quijada-Caro E. Digestible and metabolizable energy prediction models in guinea pig feedstuffs. *J Appl Anim Res.* 2022;50(1):355–362. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2079647>
54. Duarte AB, Ferreira D de O, Ferreria LB, Silva FL da. Machine learning applied to the prediction of root architecture of soybean cultivars under two water availability conditions. *Sem Ci Agr.* 2022;43(3):1017–1036. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n3p1017>
55. Kubo SE dos AC, Costa THM da, Gubert MB. Intakes of energy, macronutrients and micronutrients of a population in severe food insecurity risk in Brazil. *Public Health Nutr.* 2020;23(4):649–59. <https://doi.org/10.1017/S1368980019003057>
56. Mayorga Moran MM. Predicción de la velocidad de crecimiento de la Salmonella de embutidos de pollo (*Gallus gallus*) y res (*Bos Taurus*) [Pregrado]. Ecuador: Universidad Técnica Babahoyo; 2024
57. Sánchez Apráez AK. Sistema de predicción en la producción de arándanos [Internet] [Tesis de licenciatura]. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana; 2024.
58. Soto Torres AI. Predicción de la temperatura inicial de congelación de raíces y tubérculos andinos utilizando inteligencia artificial. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2024.
59. Campos JC, Manrique-Silupú J, Dorneanu B, Ipanaqué W, Arellano-García H. A smart decision framework for the prediction of thrips incidence in organic banana crops. *Ecol Model.* 2022; 473:110147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110147>
60. de Oliveira Quadras DL, Cavalcante I, Kück M, Mendes LG, Frazzon EM. Machine Learning Applied to Logistics Decision Making: Improvements to the Soybean Seed Classification Process. *Appl Sci.* 2023;13(19):10904. <https://doi.org/10.3390/app131910904>
61. Delgado A, Hays DB, Bruton RK, Ceballos H, Novo A, Boi E, et al. Ground penetrating radar: a case study for estimating root bulking rate in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Methods.* 2017;13:65. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0216-0>
62. Eugenio FC, Grohs M, Schuh MS, Venancio LP, Schons C, Badin TL, et al. Flooded rice variables from high-resolution multispectral images and machine learning algorithms. *Remote Sens Appl Soc Environ.* 2023; 31:100998. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100998>
63. Mañuico SR, Shanny L. Desarrollo de un modelo predictivo de conductividad hidráulica para optimizar el sistema de riego Laguna Huanzo, distrito de Santiago - provincia de Huanca Sancos - Ayacucho [Pregrado]. Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 2024
64. Mora-Poblete F, Maldonado C, Henrique L, Uhdre R, Scapim CA, Mangolim CA. Multi-trait and multi-environment genomic prediction for flowering traits in maize: a deep learning approach. *Front Plant Sci.* 2023; 14:1153040. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1153040>
65. Perez-Guerra UH, Macedo R, Manrique YP, Condori EA, Gonzáles HI, Fernández E, et al. Seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) time-series model for milk production forecasting in pasture-based dairy cows in the Andean highlands. *PLoS ONE.* 2023;18(11): e0288849. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288849>
66. Rodríguez JP, Corrales DC, Griol D, Callejas Z, Corrales JC. A Non-Destructive Time Series Model for the Estimation of Cherry Coffee Production. *CMC.* 2021;70(3):4725–4743. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.019135>
67. Selvaraj JJ, Cifuentes-Ossa MA, Penna-Narvaez J, Miranda-Parra MA, Herrera-Rozo FA. Species Distribution Models as Tools for Community Empowerment and Informed Decision Making in Colombia's Chocó Pacific Coast Fisheries. *Fishes.* 2023;8(7):349. <https://doi.org/10.3390/fishes8070349>
68. Vasconcelos ES, Silva LA da, Melo DV, Lima AD de, Paiva LFR de, Goulart CS. Inteligencia artificial en la gestión agrícola: uso de modelos de bosque aleatorio para la predicción de producción y reserva de semillas en Brasil. *Observatório de la economía latinoamericana.* 2024;22(6):e5078–e5078. <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-052>
69. Alcántara Bernal FF, Mckitting Cornejo GG, Siancas Gutierrez SA, Zaldívar Valdez AS. Técnicas de Machine Learning para incrementar el rendimiento de los campos de caña de azúcar en una empresa agroindustrial [Pregrado]. Perú: Universidad ESAN; 2023.
70. Barba-Escoto L, van Wijk MT, López-Ridaura S. Non-linear Interactions Driving Food Security of Smallholder Farm Households in the Western Highlands of Guatemala. *Front Sustain Food Syst.* 2020; 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00051>
71. Bruzzone J, Pacheco P, Saldaña M, Álvarez-Castro I, Millán J, Díaz A, et al. Modelos de predicción de precios mayoristas de frutas y hortalizas 2022.
72. Gómez Arango AM. Predicción del rendimiento de cultivos agrícolas en los cinco corregimientos de la ciudad de Medellín, utilizando modelos de Machine Learning [Internet] [Maestría]. Colombia: Universidad EAFIT; 2024.
73. Hidalgo MJ, Gaiad JE, Goicoechea HC, Mendoza A, Pérez-Rodríguez M, Pellerano RG. Geographical origin identification of mandarin fruits by analyzing fingerprint signatures based on multielemental composition. *Food Chem X.* 2023;20:101040. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101040>
74. Warren-Vega WM, Aguilar-Hernández DE, Zárate-Guzmán AI, Campos-Rodríguez A, Romero-Cano LA. Development of a Predictive Model for Agave Prices Employing Environmental, Economic, and Social Factors: Towards a Planned Supply Chain for Agave-Tequila Industry. *Foods.* 2022;11(8):1138. <https://doi.org/10.3390/foods11081138>

75. Zeymer JS, Guzzo F, de Araujo MEV, Gates RS, Corrêa PC, Vidigal MCTR, *et al.* Machine learning algorithms to predict the dry matter loss of stored soybean grains (*Glycine max L.*). *J Food Process Eng.* 2021;44(10): e13820. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13820>
76. Mehra D, Rael T, Bloem MW. A review of the intersection between climate change, agriculture, health, and nutrition in Africa: costs and programmatic options. *Front Sustain Food Syst.* 2024;8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1389730>
77. Chinecherem OO, Kanu C, Ugwuja Nnenna E. Comprehensive review of supervised machine learning algorithms to identify the best and error free. *Int J Schol Res Eng Technol.* 2023;02(01):013–019. <https://doi.org/10.56781/ijsret.2023.2.1.0028>
78. Huang AA, Huang SY. Perspective chapter: Enhancing regression analysis with splines and machine learning – evaluation of how to capture complex non-linear multidimensional variables. In: *Nonlinear systems and matrix analysis - Recent advances in theory and applications 2024.* <https://doi.org/10.5772/intechopen.1005288>

Recibido: 11/02/2025
Aceptado: 09/07/2025

Un análisis bibliométrico de la colaboración científica en la nutrición en salud pública de la niñez de 1942 a 2024

Mariela Contreras¹ , María Elena Perdomo² .

Resumen: Un análisis bibliométrico de la colaboración científica en la nutrición en salud pública de la niñez de 1942 a 2024. **Introducción:** La desnutrición infantil es una condición asociada a la mortalidad infantil global. En los últimos 70 años, ha existido colaboración científica para poder aliviarla en el mundo. **Objetivo:** Analizar las conexiones de coautorías de países y organizaciones sobre la desnutrición infantil, con base en artículos científicos de 1942 a 2024 en una plataforma de libre acceso. **Materiales y métodos:** Se llevó a cabo un análisis bibliométrico de artículos científicos de desnutrición infantil en países de bajos y medianos ingresos, consultando la base de datos Dimensions y exportando un archivo de valores separados por comas (csv) en formato de mapeo bibliográfico. El análisis incorporó la herramienta Vosviewer 1.6.20 y el archivo csv fue importado para crear mapas con base en datos bibliográficos. Con la información importada, se crearon mapas de conexiones de países y de organizaciones. **Resultados:** Un total de 8.333 artículos científicos fueron derivados a partir de la estrategia de búsqueda y los criterios de inclusión y exclusión. Las conexiones de coautorías se dieron entre países localizados en el Norte y en el Sur Global. Algunos de los países del Sur Global también se posicionaron como parte de los 10 primeros países con conexiones más fuertes. Se observó el mismo patrón de conexiones de coautorías entre organizaciones localizadas en estas dos regiones. **Conclusiones:** Esta área de investigación se destaca por contar con conexiones fuertes de coautorías entre el Norte y el Sur Global. Esto es el reflejo de la colaboración internacional que ha existido en la nutrición en salud pública de la niñez. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 143-151.**

Palabras clave: Artículo de revista, cooperación internacional, desnutrición, niño.

Abstract: A bibliometric analysis of scientific collaboration in childhood public health nutrition from 1942 to 2024. **Introduction:** Childhood malnutrition is a condition associated with global infant mortality. Over the past 70 years, there has been scientific collaboration to alleviate it worldwide. **Objective:** To analyze the co-authorship connections of countries and organizations on childhood malnutrition, based on scientific articles from 1942 to 2024 on an open access platform. **Materials and methods:** A bibliometric analysis of scientific articles on childhood malnutrition in low- and middle-income countries was carried out, consulting the Dimensions database and exporting a comma separated values (csv) file in bibliographic mapping format. The analysis incorporated the Vosviewer 1.6.20 tool and the csv file was imported to create maps based on bibliographic data. With the imported information, maps of country and organization connections were created. **Results:** A total of 8,333 scientific articles were derived from the search strategy and inclusion and exclusion criteria. Co-authorship connections occurred between countries located in the Global North and the Global South. Some of the Global South countries also ranked as part of the top 10 countries with the strongest connections. The same pattern of co-authorship connections was observed between organizations located in these two regions. **Conclusions:** This area of research stands out for having strong co-authorship connections between the Global North and the Global South. This is a reflection of the international collaboration that has existed in childhood public health nutrition. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(2): 143-151.**

Keywords: Journal article, international cooperation, malnutrition, child.

Introducción

La desnutrición infantil es un determinante subyacente que contribuye a la mortalidad infantil (1). Dicha condición se refleja en tres indicadores, retraso del crecimiento, emaciación e insuficiencia ponderal (definidas por puntajes Z menores de 2 de longitud/altura para la edad,

¹Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC, Tegucigalpa, Honduras. ²Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras. Autor para la correspondencia: Mariela Contreras, e-mail: mariela.contreras@unitec.edu



peso para la longitud/altura y peso para la edad), así como deficiencias en vitaminas y minerales (2). El retraso del crecimiento representa la condición a lo largo del tiempo, mientras que la emaciación se define como el estado actual de desnutrición del niño. La insuficiencia ponderal es un indicador que representa la combinación del retraso del crecimiento y la emaciación. En 2024, el 23,2% o 150.2 millones de niños padecieron de retraso del crecimiento y 6,6% o 42.8 millones de niños tuvieron emaciación en el mundo (3).

Hay varios determinantes que desencadenan en la desnutrición infantil (4). Por ejemplo, un estudio encontró una mayor desnutrición infantil en hogares con menor riqueza en 11 países de bajos y medianos ingresos (5). Asimismo, hay características de la madre como una baja educación que ha sido relacionada con mayores niveles de retraso del crecimiento en la niñez. Una revisión sistemática y meta-análisis reportó que una menor educación maternal se asoció con una menor altura para la edad en niños en poblaciones con una baja educación (6). Otras características importantes de la madre son las relacionadas con prácticas alimentarias del niño. Limitaciones en poder amamantar exclusivamente de 0 a 6 meses y en poder adherir a una alimentación complementaria adecuada alrededor de los 6 meses en adelante, también pueden desencadenar en desnutrición infantil (7). En términos de alimentación complementaria, la falta de poder asegurar una diversidad de la dieta y una mínima frecuencia de alimentos de un niño puede contribuir a un mayor retraso del crecimiento (8).

Estudios han descrito que niños que fueron parte de intervenciones de nutrición y mejoraron su altura durante los primeros dos años de vida tuvieron mayores probabilidades de finalizar la educación secundaria (9). Esto es uno de los beneficios a largo plazo de aliviar la desnutrición infantil. Consecuentemente, la comunidad internacional ha mostrado interés en acciones nutricionales que contribuyan a mejorar esta condición (10). Acciones nutricionales de atención prenatal han sido evaluadas para

mejorar sus servicios en sistemas de salud en Asia y África (11). Esto es importante debido a que se ha reportado un bajo cumplimiento a la suplementación con micronutrientes y a las recomendaciones nutricionales por mujeres durante la atención prenatal (12). Adicionalmente, se ha evidenciado la importancia de la consejería nutricional con ayuda digital por trabajadores de salud para mejorar la diversidad de la dieta de niños hasta dos años de edad durante el período de alimentación complementaria (13).

Para contribuir a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la comunidad internacional ha movilizado recursos a los gobiernos, organizaciones de desarrollo, centros de investigación y otras entidades para implementar acciones nutricionales que ayuden a aliviar la desnutrición infantil. Sin embargo, no ha sido suficiente. Llamados a la acción mencionan la importancia de seguir movilizando recursos acompañados de liderazgo, coordinación, datos y evidencia que contribuyan a aliviar la gran carga de la desnutrición infantil en el mundo (14). También, hay evidencia de la necesidad de fortalecer sistemas de datos nutricionales y así cerrar brechas entre las políticas y las estrategias nacionales de los países y las encuestas nacionales de nutrición (15). Esto contribuirá a monitorear de una mejor manera la implementación de las acciones nutricionales en el terreno.

Por otra parte, los análisis bibliométricos permiten estudiar la producción científica de países, organizaciones y autores (16). Algunos indicadores son el número de publicaciones, número de citas y redes de coautorías de los países, organizaciones y autores. Estos análisis contribuyen a identificar el desempeño de la comunidad científica y cómo se comportan los indicadores mencionados anteriormente en varias temáticas de salud. Por ejemplo, un estudio bibliométrico cuantificó el comportamiento de artículos de alta citación de desnutrición infantil en el mundo (17). El objetivo de esta revisión fue analizar las conexiones de coautorías de países y organizaciones sobre la desnutrición infantil, con base en artículos científicos de 1942 a 2024 en una plataforma de libre acceso.

Materiales y métodos

Fuente de datos y estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo un análisis bibliométrico de artículos

científicos de desnutrición infantil en países de bajos y medianos ingresos, consultando la base de datos Dimensions (<https://www.dimensions.ai/>) el 3 de agosto de 2024 (18). Dimensions aloja artículos científicos, bases de datos, subvenciones, patentes, ensayos clínicos y documentos de políticas públicas de una forma comprensiva y de fácil acceso. Se generó un usuario, contraseña y se accedió a la plataforma de libre acceso. En la sección de libre acceso, se utilizó las palabras claves en inglés “child undernutrition” AND “low middle income countries”. Asimismo, se filtró por la categoría de investigación salud pública y por el tipo de documento artículo científico. No hubo criterio de exclusión por idioma.

Proceso y análisis de los datos

El análisis incorporó la herramienta Vosviewer 1.6.20 (<https://www.vosviewer.com/>) y el archivo de valores separados por comas (csv) fue importado para crear mapas con base en datos bibliográficos (19). Con la información importada, se crearon mapas de conexiones de países y de organizaciones de artículos publicados de 1942 a 2024.

Para el primer mapa de conexiones, se seleccionó el tipo de análisis de coautoría y la unidad de análisis fueron países. El método de conteo fue completo, con el máximo número de países por documento de 25 y el mínimo de 4. Estos parámetros permitieron la inclusión de 82 de 131 países en la base de datos. Vosviewer calculó las conexiones mayores de coautorías de los 82 países y seleccionó las más fuertes.

Para el segundo mapa de conexiones, se seleccionó el tipo de análisis de coautoría y la unidad de análisis

fueron organizaciones. El método de conteo también fue completo. Se consideraron los criterios de selección de un máximo número de documentos de 25 y un mínimo de 18 por organización. Estos criterios permitieron la inclusión de 80 de 3.393 organizaciones en la base de datos. Vosviewer calculó las conexiones de organizaciones y seleccionó las más fuertes.

Resultados

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de los artículos científicos incluidos en el análisis. Un total de 8.333 artículos científicos fueron derivados a partir de la estrategia de búsqueda y los criterios de inclusión y exclusión. El período de los artículos científicos incluidos fue de 1942 a 2024, con una tendencia de incremento de publicaciones de los artículos científicos de 2014 a 2022 (Figura 2).

Mapas de conexiones de países y de organizaciones con base en coautorías

El mapa de conexiones de países tuvo un total de 7 clústeres (Tabla 1 y Figura 3). El primer clúster tuvo color rojo y estuvo conformado por Brasil y otros países de Iberoamérica como son España, Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. El segundo clúster fue de color verde y conformado por países como Guatemala, Japón, Kenia, Noruega y Vietnam. Los países de Sud África, Suecia, Nigeria, Tanzania y Uganda fueron parte del tercer clúster con color azul. El cuarto clúster de color amarillo fue conformado por países como Estados Unidos, Gran Bretaña, India y Dinamarca. Alemania, Bélgica, Francia y Nepal fueron algunos de los países que formaron el quinto clúster de color morado. Los países de Canadá, China, Pakistán y Suiza fueron parte del sexto clúster con color celeste. Por otro lado, Australia, Bangladesh y Etiopía conformaron el séptimo clúster de color anaranjado.

El mapa de coautorías de organizaciones fue conformado por 8 clústeres (Tabla 2 y Figura 4). El clúster rojo estuvo conformado por universidades de África, Europa y Australia. El segundo clúster fue verde y estuvo conformado por universidades e institutos de

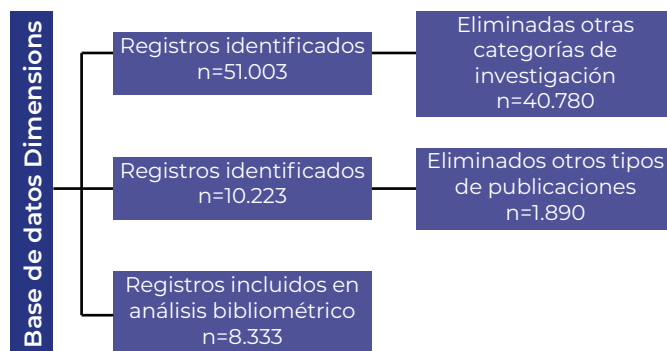


Figura 1. Diagrama de flujo de los artículos científicos incluidos en el análisis.

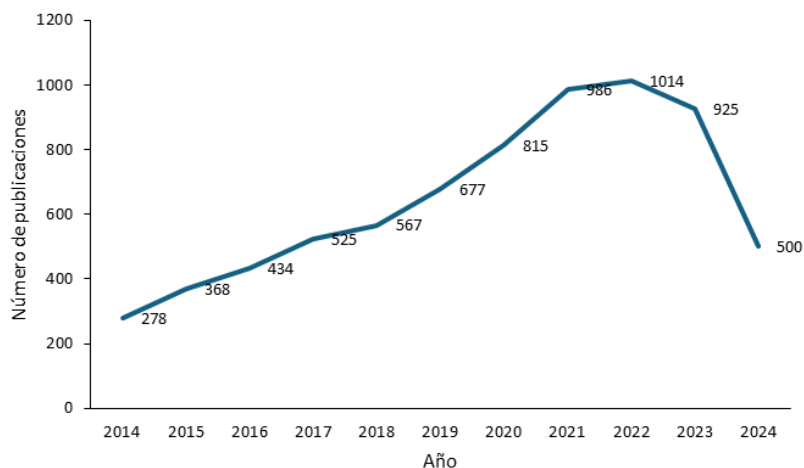


Figura 2. Número de publicaciones de los artículos científicos en los últimos 10 años.

varias partes del mundo. El tercer clúster tuvo color azul y fue conformada por organizaciones como son Universidad de Harvard y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. El cuarto clúster tuvo color amarillo y destacaron las universidades de África, Europa, Australia y Canadá. El quinto clúster fue morado y tuvo organizaciones como el *International Centre for Diarrhoeal Disease Research (icddr,b)* en Bangladesh. Los demás clústeres

tuvieron organizaciones con coautorías fuertes como son Universidad de Johns Hopkins y Universidad de California en Davis de Estados Unidos.

Tabla 1. Clústeres de países de mapa de conexiones de coautorías de artículos publicados de 1942 a 2024.

n	País
Clúster 1 25 ítems	Arabia Saudita Argentina Austria Brasil Catar Chile Colombia Ecuador Egipto Filipinas Irán Jordania Líbano Luxemburgo Malasia México Marruecos Palestina Perú Polonia España Sri Lanka Sudán Turquía Emiratos Árabes Unidos
Clúster 2 20 ítems	Camerún Finlandia Gambia Guatemala Indonesia Jamaica Japón Kenia Laos Malawi Malí Mozambique Noruega Portugal República Democrática del Congo Taiwán Tailandia Vietnam Zambia Zimbabue
Clúster 3 13 ítems	Benín Bután Botsuana Burkina Faso Cambodia Ghana Nigeria Países Bajos Ruanda Sud África Suecia Tanzania Uganda
Clúster 4 8 ítems	Dinamarca India Irlanda Italia Singapur Korea del Sur Reino Unido Estados Unidos
Clúster 5 8 ítems	Alemania Bélgica Francia Grecia Nepal Nueva Zelandia Senegal Serbia
Clúster 6 5 ítems	Afganistán Canadá China Pakistán Suiza
Clúster 7 3 ítems	Australia Bangladesh Etiopía



Figura 3. Mapa de conexiones de coautorías de países.

Tabla 2. Clústeres de organizaciones de mapa de conexiones de coautorías de artículos publicados de 1942 a 2024.

n	Organización		
Clúster 1 15 ítems	Addis Ababa University Bahir Dar University Deakin University Dilla University Haramaya University Hawassa University	Jimma University King ´s College London Mekelle University Monash University University of Gondar University of KwaZulu-Natal	University of Saskatchewan Western Sydney University Wollo University
Clúster 2 14 ítems	African Population and Health Research Center Cornell University Heidelberg University Karolinska Institute London School of Hygiene & Tropical Medicine	Ministry of Health National Institute of Nutrition Universidade de São Paulo Universidade Federal de Pelotas University College London	University of Cambridge University of Southampton University of the Witwatersrand World Bank
Clúster 3 13 ítems	Emory University Harvard University Institute of Nutrition of Central America and Panama Instituto Nacional de Salud Pública	International Food Policy Research Institute Korea University Lund University Muhimbili University of Health and Allied Sciences The University of Tokyo	United Nations Children ´s Fund University of Chile University of North Carolina at Chapel Hill Yale University
Clúster 4 11 ítems	Imperial College London James Cook University McGill University	University of Cape Coast University of Ghana University of Ibadan University of Montreal University of Ottawa	University of Technology Sydney University of Warwick UNSW Sydney
Clúster 5 10 ítems	BRAC University International Centre for Diarrhoeal Disease Research International Institute for Population Sciences	Peking University The University of Sydney University of Dhaka University of Melbourne University of Queensland	University of South Carolina University of Washington
Clúster 6 9 ítems	Johns Hopkins University Kenya Medical Research Institute Tufts University	University of California, Berkeley University of California, Davis University of California, San Francisco	University of Copenhagen University of Oxford World Health Organization
Clúster 7 5 ítems	Makerere University South African Medical Research Council	Stellenbosch University Swiss Tropical and Public Health Institute	University of Cape Town
Clúster 8 3 ítems	Aga Khan University	Hospital for Sick Children	University of Toronto

La Tabla 3 muestra los países que tuvieron las fuerzas mayores de conexiones de coautorías con otros países. Un total de 5 de 10 países con conexiones más fuertes de coautorías se localizaron en el Sur Global. Esta misma tabla describe las organizaciones con las

mayores conexiones de coautorías con otras organizaciones. En este caso, un total de 7 de 10 organizaciones con conexiones más fuertes de coautorías estuvieron localizadas en el Norte Global.

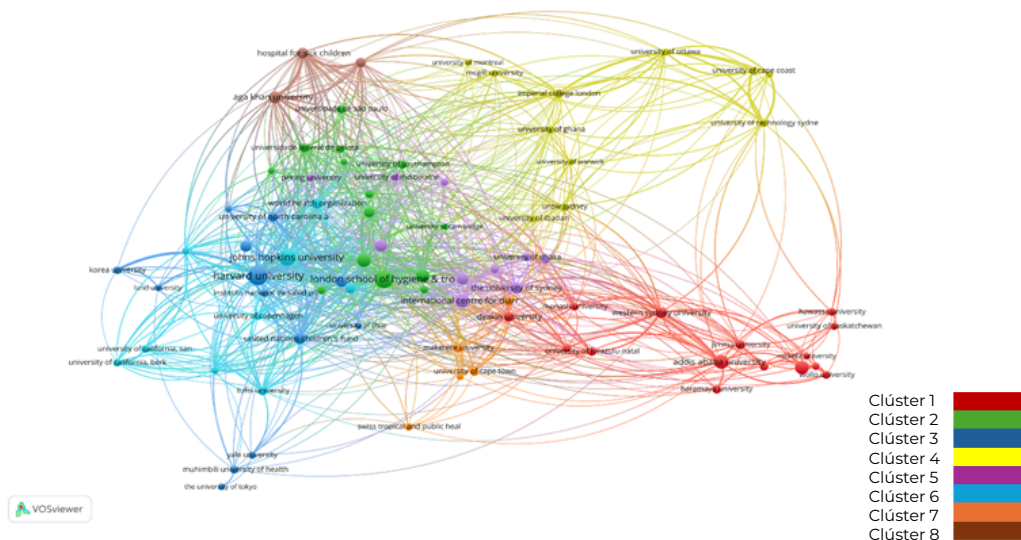


Figura 4. Mapa de conexiones de coautorías de organizaciones.

Tabla 3. Top 10 países y organizaciones con conexiones más fuertes de coautorías de artículos publicados de 1942 a 2024.

N	País	Fuerza total de conexión	Organización	Fuerza total de conexión
1	Estados Unidos	1.257	Harvard University, Estados Unidos	221
2	Gran Bretaña	1.019	London School of Hygiene & Tropical Medicine, Gran Bretaña	214
3	Australia	564	Johns Hopkins University, Estados Unidos	209
4	Sud África	474	University of the Witwatersrand, Sud África	153
			Aga Khan University, Pakistán	135
			Hospital for Sick Children, Canadá	132
5	Canadá	430	University College London, Gran Bretaña	131
6	India	370	United Nations Children ´s Fund (UNICEF)	120
7	Bangladesh	277	International Centre for Diarrhoeal Disease Research, Bangladesh	110
8	Alemania	274	The University of Sydney, Australia	108
9	Etiopía	258	University of Oxford, Gran Bretaña	98
10	Pakistán	241	Imperial College London, Gran Bretaña	95

Discusión

Este análisis bibliométrico encontró que en términos generales las conexiones de coautorías se dieron entre países localizados en el Norte y en el Sur Global. Asimismo, el clúster más grande fue conformado por la mayoría de los países iberoamericanos. Los tres países con mayores conexiones fueron del Norte Global. Cabe destacar, que países del Sur Global se posicionaron como parte de los 10 primeros países con conexiones más fuertes. Sobre las organizaciones, se observó el mismo patrón de conexiones de coautorías entre organizaciones localizadas en el Norte y en el Sur Global. Se destaca que las organizaciones con mayores conexiones colaboraron con organizaciones de su mismo nivel en términos de conexiones de coautorías con más fuerza.

Estados Unidos, Gran Bretaña y Australia fueron los países con conexiones más fuertes de coautorías. Sus conexiones traspasaron los diversos clústeres formados en el mapa de conexiones. Estos países tienen recursos económicos y humanos para llevar a cabo investigaciones a escala en sus países y en países del Sur Global (20). Adicionalmente, sus países cuentan con organizaciones que financian estudios nacionales e internacionales en el área de nutrición en salud pública de la niñez. Debido a esto, no fue una sorpresa que estos tres países se colocaron como los países con más conexiones fuertes de coautorías. Un estudio bibliométrico de artículos de alta citación de desnutrición infantil encontró la misma tendencia de Estados Unidos y Gran Bretaña como los primeros dos países con más fuertes conexiones de publicación científica (17).

Las primeras tres organizaciones con conexiones más fuertes de coautorías se localizaron en Estados Unidos y Gran Bretaña, fortaleciendo aún más la fuerte conexión de coautorías de estos dos países a nivel de organizaciones. Dichas organizaciones fueron universidades y se destaca el fuerte rol que tienen en la creación de la ciencia en el área de la nutrición en salud pública de la niñez (21). Por otro lado, un estudio bibliográfico de artículos científicos de 1998 a 2008 encontró que las organizaciones con más artículos publicados en África de Oeste eran centros de investigación localizados en Europa (22).

Unos de los clústeres formados fueron mayormente de países Iberoamericanos. Este clúster es un ejemplo de la colaboración Sur-Sur en la ciencia de la nutrición en la salud pública de la niñez. Dicho

clúster fue presidido por Brasil y se destacó la cooperación con otros países de América del Sur, así como de España. Países como Brasil, Chile, Perú, Colombia, Ecuador y México cuentan con universidades e institutos de salud pública y nutrición establecidos que publican en la temática y han forjado colaboración con otros países localizados en otras partes del mundo (23). Un estudio bibliométrico sobre las ciencias pediátricas también encontró que los países de Brasil, Chile y México lideraban las contribuciones científicas en esa temática en particular (24). En nuestro estudio, este clúster se destacó por tener conexiones de coautorías con países localizados en el Medio Oriente y en el África del Norte. Adicionalmente, estos países colaboraron con los países con más fuertes conexiones del mapa como son Estados Unidos, Gran Bretaña y Australia.

Hubo países localizados en el Sur Global que fueron parte de los 10 primeros países con más fuertes conexiones de coautorías. Esto es diferente a los hallazgos encontrados en un estudio sobre zinc en la salud pública (25). En ese estudio, los países con más publicaciones se localizaron en el Norte Global, excepto por Argentina. En nuestro estudio, algunos países con conexiones más fuertes de coautorías fueron Sud África, India, Bangladesh, Etiopía y Pakistán. Asimismo, algunas de las organizaciones con más conexiones de coautorías se localizaban en estos países y fueron la Universidad de Witwatersrand en Sud África, la Universidad de Aga Khan en Pakistán y icddr,b en Bangladesh. Estas organizaciones cuentan con investigadores de posicionamiento global que permite mayor colaboración de coautorías con otros investigadores y organizaciones en el mundo (26-28). Adicionalmente, estas organizaciones han podido establecer una estructura local para llevar a cabo estudios de alta evidencia a lo largo del tiempo (longitudinales). Estos estudios usualmente pueden ser financiados con colaboración de países en el Norte Global y ser llevados a cabo en países del Sur Global. Un estudio bibliométrico de 1900 a 2020 de artículos científicos de la *Web of Science* encontró que las organizaciones más activas en publicación científica sobre

malnutrición fueron mayormente del Norte Global, excepto por la Universidad de Sao Paulo en Brasil (29). Ese estudio también encontró que dos autores del Sur Global fueron entre los más citados y pertenecían a icddr,b en Bangladesh y a KEMI Wellcome Trust Research Programme en Kenia.

Este estudio contribuye a comprender mejor la colaboración científica en el área de la nutrición en salud pública de la niñez. Una fortaleza del estudio es que la base de datos fue de acceso abierto y puede alojar una cantidad alta de artículos científicos en esta área específica de la ciencia. Esta base de datos no restringe en solo aceptar artículos de alta citación y por lo tanto democratiza e incluye artículos científicos con menos citaciones. Sin embargo, es importante destacar que una limitante pudo haber sido la exclusión de artículos científicos importantes en el área de la nutrición en salud pública de la niñez. Esto pudo haber cambiado la tendencia de los resultados si hubieran sido incluidos en nuestro análisis bibliométrico.

Conclusiones

Los países con más fuertes conexiones de coautorías de nutrición en la salud pública de la niñez se localizaron en el Norte Global. Sin embargo, hubo países del Sur Global que también fueron parte de la lista con más conexiones de coautorías en esta área temática de la investigación. Este mismo patrón se observó en el mapa de conexiones de coautorías de organizaciones. En términos generales, esta área de investigación se destaca por contar con conexiones fuertes de coautorías entre el Norte y el Sur Global. Esto es el reflejo de la fuerte colaboración internacional que ha existido en la nutrición en salud pública de la niñez a lo largo de los años.

Agradecimientos

MCyMP contribuyeron a la conceptualización del estudio. Las dos autoras analizaron, redactaron y revisaron el manuscrito. Ambas

autoras leyeron y aprobaron la última versión del manuscrito.

Conflictos de intereses

Las autoras declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias

1. Olofin I, McDonald CM, Ezzati M, Flaxman S, Black RE, Fawzi WW, *et al.* Associations of suboptimal growth with all-cause and cause-specific mortality in children under five years: a pooled analysis of ten prospective studies. *PLOS One*. 2013;8(5): e64636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064636>
2. Victora CG, Christian P, Vidaletti LP, Gatica-Domínguez G, Menon P, Black RE. Revisiting maternal and child undernutrition in low-income and middle-income countries: variable progress towards an unfinished agenda. *Lancet*. 2021;397(10282):1388-1399. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00394-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00394-9)
3. United Nations Children's Fund (UNICEF), World Health Organization (WHO), International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. UNICEF/WHO/The World Bank: Joint child malnutrition estimates (JME). Latest estimates. 2025. <https://www.who.int/teams/nutrition-and-food-safety/monitoring-nutritional-status-and-food-safety-and-events/joint-child-malnutrition-estimates/latest-estimates>
4. United Nations Children's Fund (UNICEF). UNICEF conceptual framework on maternal and child nutrition <https://www.unicef.org/documents/conceptual-framework-nutrition>
5. Birhanu F, Yitbarek K, Bobo FT, Atlantis E, Woldie M. Undernutrition in children under five associated with wealth-related inequality in 24 low- and middle-income countries from 2017 to 2022. *Sci Rep*. 2024;14(1):3326. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53280-0>
6. Rezaeizadeh G, Mansournia MA, Keshtkar A, Farahani Z, Zarepour F, Sharafkhah M, *et al.* Maternal education and its influence on child growth and nutritional status during the first two years of life: a systematic review and meta-analysis. *EClinicalMedicine*. 2024;71:102574. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2024.102574>
7. Haque MA, Zaman Wahid B, Farzana FD, Tanvir Ahmed SM, Ali M, Naz F, *et al.* Influence of the Suchana intervention on exclusive breastfeeding and stunting among children aged under 6 months in the Sylhet region of Bangladesh. *Maternal & Child Nutrition*. 2023;19(4):e13535. <https://doi.org/10.1111/mcn.13535>
8. Gatica-Domínguez G, Mesenburg MA, Barros AJD, Victora CG. Ethnic inequalities in child stunting and feeding practices: results from surveys in thirteen countries from Latin America. *International Journal for Equity in Health*. 2020;19(1):53. <https://doi.org/10.1186/s12939-020-01165-9>
9. Adair LS, Fall CH, Osmond C, Stein AD, Martorell R, Ramirez-Zea M, *et al.* Associations of linear growth and relative weight

- gain during early life with adult health and human capital in countries of low and middle income: findings from five birth cohort studies. *Lancet*. 2013;382(9891):525-534. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60103-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60103-8)
10. Hawkes C, Ruel MT, Salm L, Sinclair B, Branca F. Double-duty actions: seizing programme and policy opportunities to address malnutrition in all its forms. *Lancet*. 2020;395(10218):142-155. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32506-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32506-1)
 11. Nguyen PH, Tran LM, Kachwaha S, Sanghvi T, Mahmud Z, Zafimanjaka MC, et al. Enhanced quality of nutrition services during antenatal care through interventions to improve maternal nutrition in Bangladesh, Burkina Faso, Ethiopia, and India. *J Glob Health*. 2025;15:04054. <https://doi.org/10.7189/jogh.15.04054>
 12. Sanghvi T, Nguyen PH, Tharaney M, Ghosh S, Escobar-Alegria J, Mahmud Z, et al. Gaps in the implementation and uptake of maternal nutrition interventions in antenatal care services in Bangladesh, Burkina Faso, Ethiopia and India. *Maternal & Child Nutrition*. 2022;18(2): e13293. <https://doi.org/10.1111/mcn.13293>
 13. Billah SM, Ferdous TE, Kelly P, Raynes-Greenow C, Siddique AB, Choudhury N, et al. Effect of nutrition counselling with a digital job aid on child dietary diversity: analysis of secondary outcomes from a cluster randomised controlled trial in rural Bangladesh. *Maternal & Child Nutrition*. 2022;18(1):e13267. <https://doi.org/10.1111/mcn.13267>
 14. Heidkamp RA, Piwoz E, Gillespie S, Keats EC, D'Alimonte MR, Menon P, et al. Mobilising evidence, data, and resources to achieve global maternal and child undernutrition targets and the Sustainable Development Goals: an agenda for action. *Lancet*. 2021;397(10282):1400-1418. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00568-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00568-7)
 15. Neupane S, Jangid M, Scott SP, Kim SS, Murira Z, Heidkamp R, et al. Availability of national policies, programmes, and survey-based coverage data to track nutrition interventions in South Asia. *Maternal & Child Nutrition*. 2024;20(1):e13555. <https://doi.org/10.1111/mcn.13555>
 16. Awe OO, Dogbey DM, Sewpaul R, Sekgala D, Dukhi N. Anaemia in children and adolescents: a bibliometric analysis of BRICS countries (1990–2020). *Inter J Environ Res Public Health*. 2021;18(11):5756. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115756>
 17. Wang Y, Liu Q, Chen Y, Qian Y, Pan B, Ge L, et al. Global trends and future prospects of child nutrition: a bibliometric analysis of highly cited papers. *Front Pediatr*. 2021;9:633525. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.633525>
 18. Digital Science & Research Solutions. Dimensions AI. <https://www.dimensions.ai/>
 19. Van Eck NJ, Waltman L. Vosviewer (Version 1.6.20) [Computer software]. Leiden: Centre for Science and Technology Studies, Leiden University; 2020. <https://www.vosviewer.com/>
 20. Kok MO, Gyapong JO, Wolffers I, Ofori-Adjei D, Ruitenberg EJ. Towards fair and effective North–South collaboration: realising a programme for demand-driven and locally led research. *Health Res Policy and Sys* 2017;15(1):96. <https://doi.org/10.1186/s12961-017-0251-3>
 21. Yates J, Manohar S, Bhandari S, Gersten Z, Kalamatianou S, Saleh A. Building bridges and deconstructing pathways in agriculture, nutrition and health. *Food Sec*. 2018;10(3):689-700. <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0793-4>
 22. Aaron GJ, Wilson SE, Brown KH. Bibliographic analysis of scientific research on selected topics in public health nutrition in West Africa: review of articles published from 1998 to 2008. *Global Public Health*. 2010;5(sup1):S42-S57. <https://doi.org/10.1080/17441692.2010.526128>
 23. Fisberg M, Kovalskys I, Gómez Salas G, Pareja Torres RG, Yépez García MC, Cortés Sanabria LY, et al. Developing a cooperative multicenter study in Latin America: lessons learned from the Latin American Study of Nutrition and Health Project. *Rev Panam Salud Publica*. 2018;41: e111. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2017.111>
 24. Díaz-Vallejo JA, Liscano Y, Hernández M del M, Cuji-Galarza WD, Contreras-Pizarro CH, Melo IA, et al. Scientific output by Latin American women in pediatric surgical sciences over the past 11 years: a bibliometric and visual analysis. *Ann Pediatr Surg* 2024;59(9):1680-6. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2024.03.052>
 25. Mohamad NS, Tan LL, Ali NIM, Mazlan NF, Sage EE, Hassan NI, et al. Zinc status in public health: exploring emerging research trends through bibliometric analysis of the historical context from 1978 to 2022. *Environ Sci Pollut Res*. 2023;30(11):28422-28445. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25257-5>
 26. Hanson SK, Munthali RJ, Lundeen EA, Richter LM, Norris SA, Stein AD. Stunting at 24 months is not related to incidence of overweight through young adulthood in an urban South African birth cohort. *J Nutr* 2018;148(6):967-973. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy061>
 27. Soofi SB, Khan A, Kureishy S, Hussain I, Habib MA, Umer M, et al. Determinants of stunting among children under five in Pakistan. *Nutrients*. 2023;15(15):3480. <https://doi.org/10.3390/nu15153480>
 28. Mostafa I, Ferdous J, Parvin I, Rahman HH, Saqeeb KN, Chisti MJ, et al. A multi-country, randomized trial of three nutritional supplements on short-term and sustained anthropometric recovery in children 6–24 months of age with moderate wasting and acute illnesses: the NUTRIMAM study protocol. *Trials*. 2024;25(1):738. <https://doi.org/10.1186/s13063-024-08390-5>
 29. Musa TH, Akintunde TY, Musa HH, Ghimire U, Gatasi G. Malnutrition research output: a bibliometric analysis for articles index in Web of Science between 1900 and 2020. *Electron J Gen Med*. 2021;18(3): em293. <https://doi.org/10.29333/ejgm/10840>

Recibido: 07/11/2024
Aceptado: 14/05/2025

Archivos Latinoamericanos de Nutrición

Equipo editorial

Editor general

Maritza Landaeta-Jiménez.
Fundación Bengoa. Caracas, Venezuela.

Editor asociado

Yaritza Sifontes.
Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Comité editorial

Alexia Torres. Cristina
Universidad Simón Bolívar. Caracas Venezuela.

Andrés Carmona.
Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Annabelle Bonvecchio Arenas.
Centro de Investigación en Nutrición y Salud-
Instituto Nacional de Salud Pública, DF, México.

Palacios Alzuru.
Florida International University (FIU). Florida, EEUU.

David Betancur Ancona.
Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.

Marisa Guerra Modernell.
Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Cuerpo editorial

Adriana Blanco Metzler.
Instituto Costarricense de Investigación y
Enseñanza en Nutrición y Salud. Costa Rica.

Ana María Calderón de la Barca.
Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo (CIAD). Sonora, México.

Betty Méndez Pérez.
Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Coromoto Macías de Tomei.
Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Elizabeth Dini Golding.
Grupo TAN, Caracas, Venezuela

Erick Boy.
Washington DC, EEUU.

Fernando Carrasco Naranjo.
Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Gaspar Ros Berruezo.
Universidad de Murcia. Murcia, España.

Hazel Anderson.
Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Ingrid Soto de Sanabria.
Hospital de Niños J.M. de los Ríos. Caracas, Venezuela.

Jesús Bulux.
OPS/OMS. Tegucigalpa, Guatemala.

Jorymar Yoselyn Leal Montiel.
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Josefina Morales de León.
Instituto Nacional de Ciencias Médicas
y Nutrición Salvador Zubirán. DF, México.

Juan Diego Zamora Salas.
Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Laura Beatriz López.
Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Laura Moreno Altamirano.
Universidad Nacional Autónoma de México. DF, México.

Linda Arturo.
Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

Luis Antonio Mejía.
Universidad de Illinois. Illinois, E.E.U.U.

Manuel Ruz Ortiz.
Universidad de Chile. Santiago. Chile.

Marcela Agustina Araya Bannout.
Universidad de Chile. Santiago, Chile.

María Elena Maldonado Celis.
Universidad de Antioquía. Colombia.

María Laura Arias Echandi.
Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Marian Araujo Yasselli.
Universidad de Málaga. Málaga, España.

Mariana Mariño Elizondo.
Centro de Atención Nutricional Infantil de Antímano.
Caracas, Venezuela.

Mariane Lutz Riquelme.
Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

Marianella Herrera Cuenca.
Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Marta Kaufer Horwitz.
Instituto Nacional de Ciencias Médicas
y Nutrición Salvador Zubirán. DF, México.

Maura Vásquez Ramírez.
Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Norma Sammán.
Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina

Omar Teodulfo Barrionuevo.
Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Argentina.

Pilar Hernández Serrano.
Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Sandra Restrepo Mesa.
Universidad de Antioquía. Antioquia, Colombia.

Sonia G. Sayago Ayerdi.
Instituto Tecnológico de Tepic. Sonora, México.

Teresa Shamah Levi.
Instituto Nacional de Salud Pública, DF, México.