

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DEL USO DE LA VITAMINA B EN ALIMENTOS
PARA CONSUMO HUMANO

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN

PRESENTADO POR

SAÚL ALEJANDRO CRUZ MÉNDEZ

SUSANA DEL CARMEN HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIADO(A) EN QUÍMICA Y FARMACIA

JUNIO 2026

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL

LICENCIADA ANA LUISA CRUZ DE ALEGRÍA

TRIBUNAL EVALUADOR

LICENCIADA PATRICIA DEL ROSARIO ESCOBAR DE MURCIA

LICENCIADA DALILA GUADALUPE ANAYA RODRÍGUEZ

MAESTRA ROCÍO RUANO DE SANDOVAL (TUTORA)

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por brindarnos sabiduría, entendimiento y discernimiento para lograr nuestros objetivos y darnos la capacidad, valentía y fuerza de poder enfrentar cada obstáculo y dificultad que se presentó a lo largo de nuestra carrera.

A nuestros padres y hermanos, por estar ahí en los momentos más difíciles dándonos ánimos, consejos y apoyo a lo largo de toda nuestra formación académica y enseñarnos que todo lo que se desea con esfuerzo se puede lograr.

A la Dirección General de Procesos de Grado: Directora General de Procesos de Grado, Licenciada Ana Luisa Cruz de Alegría nuestro Tribunal Evaluador Licenciada Patricia del Rosario Escobar de Murcia, Licenciada Dalila Guadalupe Anaya Rodríguez, por orientarnos a lo largo de la realización de este trabajo de Grado.

A nuestra tutora Licenciada Rocío Ruano de Sandoval por brindarnos su tiempo y conocimientos, por ser una guía y ejemplo de profesionalismo.

Agradecemos a la Universidad de El Salvador, por habernos abierto las puertas de este prestigioso templo del saber, cuna de buenos profesionales.

Saúl Alejandro Cruz Méndez
Susana del Carmen Hernández Fernández

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación académica, guiándome en cada momento y permitiéndome alcanzar este logro.

A mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y de cada uno de mis logros.

A mi mamá, por ser mi mayor inspiración y el ejemplo de una mujer fuerte, valiente y perseverante. Gracias por enseñarme que, aun en los momentos más difíciles, siempre se puede seguir adelante con determinación y amor.

A mi papá, por su apoyo incondicional, por creer en mí y acompañarme en cada etapa de este camino. Gracias por cada consejo, cada sacrificio y cada palabra de aliento que me impulsó a no rendirme.

A mis hermanas, por ser mi sostén, mi compañía y mi fuerza en los momentos de desafío. Gracias por estar siempre presentes y por brindarme su cariño y apoyo sin condiciones.

A mis primas y a toda mi familia, por su constante apoyo, por celebrar mis triunfos, levantarme en las dificultades y recordarme que nunca estoy solo. Su amor y confianza han sido una parte fundamental de este logro.

Este trabajo no solo representa mi esfuerzo, sino también el amor, la dedicación y el apoyo de cada una de las personas que han caminado a mi lado.

Saúl Alejandro Cruz Méndez

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en cada paso de este camino, por darme la fuerza para seguir adelante cuando el cansancio y la duda aparecieron, y por permitirme culminar una etapa que representa esfuerzo, aprendizaje y crecimiento personal.

A mi familia, que ha sido el pilar fundamental de mi vida y la razón principal para no rendirme. A mi madre, por su amor incondicional, su paciencia infinita y su constante apoyo; por creer en mí incluso cuando yo misma dudé, y por ser mi mayor ejemplo de fortaleza y entrega. A mis hermanas, por estar siempre a mi lado, por su comprensión, sus palabras de ánimo y por acompañarme en cada logro y cada dificultad. A mi sobrino, por llenar mis días de alegría y recordarme con su sola existencia, que todo esfuerzo vale la pena.

A mi abuelita, que, aunque ya no se encuentra físicamente conmigo, vive en cada recuerdo, en cada consejo y en cada enseñanza que dejó en mi corazón. Su amor sigue guiando mis pasos y su ejemplo ha sido una fuente constante de inspiración para alcanzar mis metas.

A mi tutora, Maestra Rocío Ruano de Sandoval, por su guía, dedicación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos y por su compromiso en este proceso académico tan importante.

A todas las personas que formaron parte de mi formación académica, docentes, compañeros y profesionales, quienes con su enseñanza y orientación contribuyeron significativamente a mi crecimiento intelectual y personal.

Finalmente, a mis amigos, por su apoyo sincero, por escucharme, por animarme en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño y gran logro. Su compañía hizo este camino más llevadero y significativo.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este sueño hecho realidad.

Susana del Carmen Hernández Fernández

ÍNDICE GENERAL

Pág. N°

GLOSARIO

RESUMEN

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN 14

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general 17

2.2 Objetivos específicos 17

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 Micronutrientes y su importancia en la alimentación humana 19

3.2 Vitaminas del complejo B: clasificación y funciones generales 19

3.3 Fuentes alimentarias de las vitaminas del complejo B 20

3.4 Fortificación de alimentos 20

3.5 Estabilidad y biodisponibilidad 20

3.6 Métodos de análisis químico 21

3.7 Tecnologías emergentes en la incorporación de vitaminas del complejo B 21

3.8 Legislación alimentaria 22

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL 24

CAPÍTULO V

5.0 CONCLUSIONES 51

CAPÍTULO VI

6.0 RECOMENDACIONES 54

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág. N°
1	Diagrama de selección de estudios	34
2	Síntesis conceptual de los principales resultados	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág. N°
1	Variables analizadas en los estudios	34
2	Resumen de estudios principales incluidos en la revisión.	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°

1. Clasificación y funciones generales de las vitaminas del complejo B
2. Niveles mínimos de micronutrientes en la harina de trigo fortificada

GLOSARIO

Alimentos fortificados: Alimentos a los cuales se les ha añadido uno o más micronutrientes esenciales, como vitaminas o minerales, con el objetivo de mejorar su valor nutricional y prevenir deficiencias en la población.

Análisis químico de alimentos: Conjunto de métodos y técnicas analíticas utilizados para identificar y cuantificar componentes químicos presentes en los alimentos, permitiendo evaluar su calidad nutricional, inocuidad y cumplimiento normativo.

Biodisponibilidad: Fracción de un nutriente ingerido que es absorbida y utilizada por el organismo para cumplir sus funciones fisiológicas, dependiendo de la forma química del nutriente y de la matriz alimentaria.

Complejo vitamínico B: Grupo de vitaminas hidrosolubles que incluye tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, ácido fólico y cobalamina, las cuales participan principalmente en el metabolismo energético y en el funcionamiento del sistema nervioso.

Estabilidad vitamínica: Capacidad de una vitamina para mantenerse intacta durante los procesos de elaboración, almacenamiento y distribución de los alimentos, sin sufrir degradación significativa.

Fortificación de alimentos: Estrategia nutricional que consiste en la adición controlada de micronutrientes a alimentos de consumo habitual, con el fin de mejorar el estado nutricional de la población.

Matriz alimentaria: Estructura física y composición química del alimento que influye en la estabilidad, liberación y absorción de los nutrientes presentes.

Nanofortificación: Tecnología emergente aplicada a la fortificación de alimentos que utiliza sistemas a escala nanométrica para encapsular micronutrientes, con el propósito de mejorar su estabilidad, protegerlos de factores ambientales adversos y aumentar su biodisponibilidad en el organismo.

Vitaminas hidrosolubles: Vitaminas solubles en agua que no se almacenan en grandes cantidades en el organismo y requieren un consumo regular a través de la dieta para mantener niveles adecuados.

RESUMEN

La incorporación de vitaminas del complejo B en alimentos para consumo humano representó un tema de interés relevante dentro del ámbito de la ciencia y el análisis químico de los alimentos, debido a su función esencial en el metabolismo energético y el adecuado funcionamiento del sistema nervioso. El problema abordado se relacionó con la variabilidad en el contenido, estabilidad y biodisponibilidad de estas vitaminas en los alimentos, así como con el impacto del procesamiento industrial y la necesidad de cumplir la legislación alimentaria vigente.

El objetivo del trabajo fue analizar, a partir de artículos de revisión científica, la relevancia del uso de la vitamina B en alimentos para consumo humano, con el fin de comprender su papel dentro del análisis químico alimentario y su importancia nutricional y tecnológica. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de artículos de revisión científica y documentos técnicos publicados en años posteriores al 2015, seleccionados por su actualidad, calidad y pertinencia temática.

Los resultados mostraron que las vitaminas del complejo B, en particular el ácido fólico y la vitamina B12, presentaron una alta susceptibilidad a pérdidas durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos, lo que justificó la aplicación de estrategias de fortificación para garantizar un aporte adecuado a la población. Asimismo, se evidenció que la biodisponibilidad de estas vitaminas dependió de la forma química empleada y de la matriz alimentaria, identificándose avances tecnológicos, como la nanofortificación, orientados a mejorar su estabilidad.

Se concluyó que la fortificación de alimentos con vitaminas del complejo B constituyó una estrategia eficaz para la prevención de deficiencias nutricionales. Se recomendó fortalecer la vigilancia del cumplimiento de la legislación vigente y promover el desarrollo de tecnologías que optimizaran la estabilidad y biodisponibilidad de estas vitaminas en los alimentos.

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN

La nutrición adecuada constituye un elemento fundamental para el mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades, siendo los micronutrientes componentes esenciales de la dieta humana. Entre estos, las vitaminas del complejo B desempeñan un papel relevante en diversos procesos metabólicos, tales como la producción de energía, la síntesis de compuestos esenciales y el adecuado funcionamiento del sistema nervioso. Sin embargo, el contenido y la disponibilidad de estas vitaminas en los alimentos pueden verse influenciados por factores como el origen de las materias primas, los procesos tecnológicos aplicados durante la elaboración de los alimentos y las condiciones de almacenamiento.

En el contexto actual, los cambios en los patrones de consumo alimentario y el aumento en la ingesta de alimentos procesados han generado la necesidad de analizar de manera integral el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos destinados al consumo humano. Esta situación ha impulsado el desarrollo de estrategias como la fortificación de alimentos, orientadas a asegurar un aporte adecuado de estos micronutrientes y a contribuir a la prevención de deficiencias nutricionales. De forma paralela, los avances en la tecnología de los alimentos han permitido explorar alternativas innovadoras dirigidas a mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B en distintas matrices alimentarias.

El objetivo del trabajo fue analizar la información científica disponible sobre el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos, con el fin de comprender su importancia desde el punto de vista del análisis químico alimentario y su impacto en la salud humana. Para alcanzar dicho objetivo, se planteó una metodología basada en la revisión y análisis crítico de literatura científica, seleccionada en función de su actualidad y relevancia.

La metodología empleada consistió en la búsqueda, selección y análisis de artículos de revisión científica y documentos técnicos relacionados con las vitaminas del complejo B, considerando su función nutricional, las fuentes alimentarias, las estrategias de fortificación, la estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento, así como los métodos de análisis químicos utilizados para su control

El trabajo se desarrolló con el propósito de fortalecer las competencias profesionales relacionadas con el análisis químico y nutricional de alimentos. El artículo de revisión obtenido constituye un aporte académico que permite sintetizar información relevante y actualizada, proporcionando una visión integral sobre el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos para consumo humano y su importancia dentro del campo de la química, la nutrición y la seguridad alimentaria.

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

2.1.1 Analizar, a partir de artículos de revisión científica, la información disponible sobre el uso de la vitamina B en alimentos destinados al consumo humano, considerando sus aplicaciones, procesos de fortificación, estabilidad y su impacto en la calidad nutricional de los productos alimenticios.

2.2 Objetivos específicos.

2.2.1 Recopilar y analizar críticamente la evidencia científica proveniente de artículos de revisión sobre el uso de la vitamina B en alimentos, con el fin de sistematizar y sintetizar la información disponible.

2.2.2 Comparar los principales enfoques reportados en la literatura científica respecto a la aplicación de la vitamina B en diferentes matrices alimentarias, identificando avances, limitaciones y tendencias actuales.

2.2.3 Describir la importancia de la vitamina B en la formulación, fortificación y evaluación de alimentos, destacando su función nutricional y tecnológica.

2.2.4 Analizar la legislación vigente relacionada con el uso de la vitamina B en alimentos para consumo humano, considerando los límites permitidos y los requisitos de etiquetado, con el propósito de valorar su implicación en la seguridad alimentaria y la salud del consumidor.

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 Micronutrientes y su importancia en la alimentación humana

Los micronutrientes constituyen componentes esenciales de la dieta humana, ya que participan en procesos biológicos indispensables para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de la salud. A diferencia de los macronutrientes, los micronutrientes son requeridos en pequeñas cantidades; sin embargo, su deficiencia puede generar alteraciones metabólicas y funcionales significativas.¹⁻³ Dentro de este grupo se encuentran las vitaminas, las cuales cumplen funciones regulatorias y actúan como cofactores en múltiples reacciones bioquímicas.^{4, 5}

Las vitaminas hidrosolubles, entre ellas las del complejo B, no se almacenan en grandes cantidades en el organismo, por lo que su aporte continuo a través de la dieta resulta fundamental. Esta característica explica la alta susceptibilidad a deficiencias nutricionales cuando la ingesta es inadecuada o cuando el contenido vitamínico de los alimentos se ve afectado por procesos tecnológicos.⁶⁻⁸

3.2 Vitaminas del complejo B: clasificación y funciones generales

Las vitaminas del complejo B comprenden un conjunto de micronutrientes hidrosolubles que incluyen la tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, piridoxina, biotina, ácido fólico y cobalamina.⁹⁻¹¹ Estas vitaminas participan principalmente como coenzimas en reacciones metabólicas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas, así como en la síntesis de ácidos nucleicos y neurotransmisores.^{4, 5}

Desde el punto de vista fisiológico, las vitaminas del complejo B desempeñan funciones esenciales en la producción de energía, la formación de glóbulos rojos, el mantenimiento del sistema nervioso y el adecuado funcionamiento del sistema inmunológico.^{12, 13} Debido a estas funciones, su deficiencia puede manifestarse a través de síntomas neurológicos, hematológicos y metabólicos, lo que resalta la importancia de su adecuada presencia en los alimentos destinados al consumo humano.^{14, 15}

3.3 Fuentes alimentarias de las vitaminas del complejo B

Las vitaminas del complejo B se encuentran de manera natural en una amplia variedad de alimentos, tanto de origen vegetal como animal. Los cereales integrales, leguminosas, carnes, productos lácteos, huevos y vegetales de hoja verde constituyen fuentes importantes de estas vitaminas.^{16, 17} No obstante, la concentración y disponibilidad de las vitaminas del complejo B en los alimentos varía en función del tipo de alimento, su grado de procesamiento y las condiciones de almacenamiento.¹⁸

El refinamiento de cereales, la cocción prolongada y la exposición a factores ambientales como la luz y el oxígeno pueden reducir significativamente el contenido vitamínico.^{19, 20} Estas pérdidas justifican la necesidad de estrategias orientadas a preservar o incrementar el contenido de vitaminas del complejo B en los alimentos procesados.²¹

3.4 Fortificación de alimentos

La fortificación de alimentos consiste en la adición controlada de micronutrientes a productos alimenticios con el objetivo de mejorar su calidad nutricional y prevenir deficiencias en la población.^{22, 23} En el caso de las vitaminas del complejo B, la fortificación ha sido ampliamente utilizada en alimentos de consumo masivo, como harinas, cereales y productos lácteos.²⁴⁻²⁶

Esta estrategia permite garantizar un aporte más uniforme de vitaminas del complejo B, especialmente en grupos poblacionales con mayor riesgo de deficiencia.^{3,26} Sin embargo, la eficacia de la fortificación depende de factores como la forma química utilizada, la estabilidad de la vitamina durante el procesamiento y la interacción con la matriz alimentaria.^{27,18}

3.5 Estabilidad y biodisponibilidad

La estabilidad de las vitaminas del complejo B se ve afectada por diversos factores físicos y químicos, entre ellos la temperatura, el pH, la luz y la oxidación. Durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos, estas condiciones pueden provocar pérdidas significativas de vitaminas, reduciendo el contenido final disponible para el consumidor.²⁸⁻³¹

Por otra parte, la biodisponibilidad se refiere a la fracción de la vitamina que es absorbida y utilizada por el organismo. Esta depende no solo de la cantidad presente en el alimento, sino también de la forma química de la vitamina y de su interacción con otros componentes de la matriz alimentaria.^{6,32,18} Una baja biodisponibilidad puede limitar el impacto nutricional de los alimentos fortificados, aun cuando el contenido vitamínico sea adecuado.^{33,18}

3.6 Métodos de análisis químico

El control del contenido de vitaminas del complejo B en alimentos requiere la aplicación de métodos analíticos confiables y precisos. El análisis químico permite evaluar la calidad nutricional de los alimentos, verificar el cumplimiento de los niveles de fortificación y garantizar la seguridad del consumidor.^{34,35}

Las técnicas cromatográficas se han consolidado como herramientas fundamentales para la identificación y cuantificación de las vitaminas del complejo B en matrices alimentarias complejas.³⁶⁻³⁸ La correcta aplicación de estos métodos resulta indispensable para el control de calidad y la evaluación del impacto de las estrategias de fortificación.^{34,35}

3.7 Tecnologías emergentes en la incorporación de vitaminas del complejo B

El avance de la tecnología alimentaria ha impulsado el desarrollo de estrategias innovadoras orientadas a mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B. Entre estas estrategias se encuentra la nanofortificación, que permite encapsular las vitaminas en sistemas protectores a escala nanométrica.^{39,40}

Estas tecnologías buscan minimizar las pérdidas durante el procesamiento y favorecer una liberación controlada de las vitaminas a nivel gastrointestinal.^{41,42} Aunque su aplicación industrial aún se encuentra en desarrollo, representan una alternativa prometedora para optimizar la incorporación de vitaminas del complejo B en alimentos.³⁹⁻⁴³

3.8 Legislación alimentaria

El uso de vitaminas del complejo B en alimentos para consumo humano se encuentra regulado por normativas nacionales y regionales que establecen criterios técnicos para su incorporación, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y mejorar el estado nutricional de la población. En El Salvador, estas disposiciones se basan principalmente en reglamentos técnicos armonizados a nivel centroamericano, los cuales son de cumplimiento obligatorio para los alimentos fortificados de consumo masivo.⁴⁴

Uno de los instrumentos normativos más relevantes es el Reglamento Técnico Centroamericano para harina de trigo fortificada, el cual establece la adición obligatoria de micronutrientes esenciales, entre ellos vitaminas del complejo B. Este reglamento define niveles mínimos de fortificación que deben cumplirse para asegurar un aporte nutricional adecuado y uniforme en la población. De acuerdo con lo establecido, la harina de trigo fortificada destinada al consumo humano debe contener, como mínimo, 6.2 mg/kg de tiamina, 4.2 mg/kg de riboflavina, 55 mg/kg de niacina y 1.8 mg/kg de ácido fólico.⁴⁴

A nivel internacional, las directrices del Codex Alimentarius respaldan la incorporación de vitaminas del complejo B en alimentos, siempre que se respeten criterios de seguridad, necesidad nutricional y etiquetado adecuado.^{45,22} Asimismo, normativas internacionales como el Reglamento (UE) No. 1169/2011 establecen requisitos relacionados con la información nutricional que debe proporcionarse al consumidor.⁴⁶ Estas directrices sirven como base científica para el establecimiento de los valores regulatorios adoptados en El Salvador y otros países de la región.

El cumplimiento de los valores establecidos en la legislación vigente resulta fundamental para garantizar que los alimentos fortificados aporten beneficios nutricionales reales sin representar riesgos para la salud. Asimismo, estos valores constituyen un referente clave para el análisis químico de alimentos, ya que permiten verificar la conformidad de los productos con los requisitos legales y asegurar la calidad nutricional de los alimentos destinados al consumo humano.^{24,25}

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL

Para la elaboración del presente artículo de revisión se realizó un proceso sistemático de búsqueda, selección y análisis de literatura científica relacionada con el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos para consumo humano. Inicialmente, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas reconocidas, entre ellas PubMed, Scopus, Google Scholar e IEEE Xplore, debido a su relevancia y amplitud en temas relacionados con nutrición, tecnología de alimentos, química alimentaria y ciencias biomédicas.

La búsqueda se enfocó en publicaciones comprendidas entre los años 2015 y 2025, con el propósito de recopilar información científica actualizada sobre fortificación alimentaria, biodisponibilidad, estabilidad, procesamiento de alimentos y regulación asociada a las vitaminas del complejo B.

Posteriormente, se realizó una revisión preliminar de los estudios encontrados para identificar aquellos que fueran pertinentes al objetivo de la investigación. Se consideraron artículos de revisión científica relacionados con la función, fortificación, estabilidad, biodisponibilidad, regulación y análisis químico de las vitaminas del complejo B en alimentos, excluyendo publicaciones duplicadas, estudios clínicos sin enfoque alimentario, documentos anteriores a 2015 y literatura no revisada por pares.

Como resultado del proceso de selección, se identificaron inicialmente 210 artículos potencialmente relevantes; posteriormente, tras la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 32 artículos científicos de revisión, los cuales fueron utilizados como base para la redacción y análisis del artículo presentado en el producto final.

ANÁLISIS DEL USO DE LA VITAMINA B EN ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO (2015-2025)

Saúl Alejandro Cruz Méndez, Susana del Carmen Hernández Fernández

Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia

Resumen

Las vitaminas del complejo B son micronutrientes hidrosolubles esenciales para el metabolismo energético, la síntesis de ácidos nucleicos y neurotransmisores, y el mantenimiento del sistema nervioso y la función celular. Este grupo incluye las vitaminas B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9 y B12, las cuales actúan como coenzimas en diversas reacciones metabólicas y contribuyen a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de tejidos saludables.

La deficiencia de estas vitaminas se asocia con anemia megaloblástica, alteraciones neurológicas y aumento de los niveles de homocisteína, lo que incrementa el riesgo de enfermedades cardiovasculares y trastornos neurológicos. Estas deficiencias pueden originarse por dietas inadecuadas, bajo consumo de alimentos de origen animal, limitaciones económicas o trastornos gastrointestinales, afectando especialmente a embarazadas, adultos mayores y otros grupos vulnerables.

La fortificación de alimentos constituye una estrategia eficaz para mejorar la ingesta de vitaminas del complejo B y prevenir deficiencias nutricionales sin modificar significativamente los hábitos alimentarios. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia científica publicada desde 2015 sobre el uso de vitaminas del complejo B en alimentos, considerando las formas químicas empleadas, su estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento, y su biodisponibilidad y bioaccesibilidad.

La evidencia indica que el contenido y la disponibilidad de estas vitaminas varían según el alimento, el procesamiento y el almacenamiento, debido a su sensibilidad al calor, la luz y el oxígeno. Además, la estabilidad y biodisponibilidad dependen de la forma química y de la matriz alimentaria. Tecnologías como la microencapsulación y la nanoencapsulación han mostrado potencial para mejorar su estabilidad y biodisponibilidad. En conclusión, los alimentos fortificados representan una estrategia efectiva, cuya eficacia depende de

una adecuada selección de las formas vitamínicas y de la optimización de los procesos tecnológicos conforme a la normativa vigente.

Palabras Clave: Vitaminas del complejo B; fortificación de alimentos; biodisponibilidad; estabilidad; nanofortificación; micronutrientes; salud pública; matrices alimentarias.

1. Introducción

Las vitaminas del complejo B constituyen un grupo de micronutrientes hidrosolubles indispensables para el adecuado funcionamiento del organismo humano, ya que participan en una amplia variedad de procesos metabólicos esenciales. Estas vitaminas intervienen de manera directa en el metabolismo energético, actuando como cofactores o coenzimas en reacciones bioquímicas que permiten la transformación de los macronutrientes provenientes de la dieta en energía utilizable por las células. Asimismo, desempeñan funciones importantes en la síntesis de biomoléculas fundamentales, como ácidos nucleicos, proteínas y neurotransmisores, los cuales son necesarios para el mantenimiento de la actividad celular, el crecimiento y la reparación de tejidos.^{1,2} Debido a estas funciones fisiológicas críticas, un adecuado aporte dietético de vitaminas del complejo B es fundamental para mantener la

homeostasis metabólica y garantizar el correcto funcionamiento de diversos sistemas del organismo, particularmente el sistema nervioso y el sistema hematológico.

La deficiencia de estas vitaminas se ha asociado con diversas alteraciones metabólicas y clínicas que pueden afectar significativamente la salud humana. Entre las consecuencias más frecuentes de un consumo insuficiente se encuentran diferentes tipos de anemia, especialmente la anemia megaloblástica relacionada con la deficiencia de ácido fólico y vitamina B12. Además, se han descrito alteraciones neurológicas que pueden manifestarse mediante síntomas como debilidad, entumecimiento, trastornos cognitivos o alteraciones en la coordinación motora.^{3,4} Otro efecto metabólico relevante asociado con la deficiencia de vitaminas del complejo B es el incremento de los niveles plasmáticos de homocisteína, un aminoácido cuyo metabolismo depende de la presencia adecuada de folato, vitamina B6 y vitamina B12. Concentraciones elevadas de homocisteína se han relacionado con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares y trastornos neurodegenerativos, lo que refuerza la importancia de asegurar una ingesta suficiente de estos micronutrientes en la dieta.⁵

En muchas regiones del mundo, la deficiencia de vitaminas del complejo B continúa representando un problema significativo de salud pública. Factores como dietas poco diversificadas, bajo consumo de alimentos de origen animal, condiciones socioeconómicas limitadas o deficiencias en el acceso a alimentos nutritivos pueden contribuir a una ingesta insuficiente de estos micronutrientes.⁶ Por esta razón, diversas estrategias nutricionales han sido implementadas para mejorar su consumo a nivel poblacional, entre las cuales destaca la fortificación de alimentos como una intervención ampliamente utilizada para incrementar la disponibilidad de vitaminas en la dieta habitual.^{7,8}

La biodisponibilidad y estabilidad de las vitaminas del complejo B en los alimentos constituyen aspectos fundamentales que determinan su eficacia nutricional. Estos factores dependen no solo de la cantidad presente en el alimento, sino también de la forma química en la que se encuentran y de las características de la matriz alimentaria que las contiene. Diversos estudios han demostrado que la interacción entre las vitaminas y otros componentes del alimento puede influir significativamente en su liberación durante la digestión y en su posterior absorción en el organismo.⁹ Además, la estabilidad de estas vitaminas puede verse comprometida durante

diferentes etapas de la cadena alimentaria, incluyendo el procesamiento industrial, el almacenamiento y la preparación culinaria.

Las vitaminas del complejo B son particularmente sensibles a factores ambientales como el calor, la luz, el oxígeno y las variaciones de pH. Como consecuencia, diversos procesos tecnológicos utilizados en la industria alimentaria, como el tratamiento térmico, la molienda, la pasteurización o el almacenamiento prolongado, pueden provocar pérdidas significativas de estos micronutrientes.⁹⁻¹¹ Estas pérdidas pueden reducir el contenido final de vitaminas presentes en los alimentos y, por lo tanto, disminuir su contribución al aporte nutricional de la dieta.

A pesar de la abundante evidencia científica que respalda la importancia de las fuentes alimentarias naturales de vitaminas del complejo B, todavía existen vacíos en la comprensión de cómo las estrategias de fortificación influyen en su estabilidad, biodisponibilidad y efectos nutricionales a nivel poblacional. En particular, se requiere mayor investigación para comprender cómo diferentes matrices alimentarias y procesos

tecnológicos pueden modificar la eficacia de la fortificación con vitaminas del complejo B.¹²

En los últimos años, el desarrollo de nuevas tecnologías dentro de la ciencia de los alimentos ha generado oportunidades para mejorar la eficiencia de la fortificación de micronutrientes. Entre estas innovaciones destacan las técnicas de encapsulación, microencapsulación y nanoencapsulación, las cuales permiten proteger las vitaminas frente a condiciones adversas durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos. Estas tecnologías también pueden facilitar la liberación controlada de los micronutrientes durante la digestión, lo que potencialmente mejora su biodisponibilidad y absorción en el organismo.^{10,13}

Además de las innovaciones tecnológicas, otro aspecto relevante dentro del estudio de la fortificación con vitaminas del complejo B es la comparación entre las formas naturales y las formas sintéticas de estos compuestos. Diversas investigaciones han señalado que algunas formas sintéticas, como el ácido fólico utilizado en alimentos fortificados, presentan una mayor estabilidad y bioaccesibilidad en comparación con los folatos naturales presentes en ciertos alimentos. Sin embargo, también existen debates científicos respecto a las implicaciones fisiológicas y regulatorias del

uso extendido de formas sintéticas en la fortificación alimentaria, lo que ha generado discusiones sobre la necesidad de establecer criterios adecuados para su aplicación en programas de salud pública.^{8,14}

En este contexto, resulta necesario analizar de manera integral la evidencia científica disponible sobre el uso de vitaminas del complejo B en alimentos, considerando tanto los avances tecnológicos recientes como los desafíos regulatorios asociados a su implementación. La presente revisión tiene como propósito sintetizar y evaluar críticamente la literatura científica publicada desde el año 2015 relacionada con la aplicación de estas vitaminas en la industria alimentaria. Para ello, se examinan diversos aspectos clave, entre los que se incluyen las formas químicas utilizadas en la fortificación, la estabilidad de las vitaminas durante los procesos de procesamiento y almacenamiento, su biodisponibilidad en diferentes matrices alimentarias y la efectividad de distintas estrategias de fortificación.^{2,9}

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una visión integral y actualizada de los avances científicos relacionados con la utilización de vitaminas del complejo B en

alimentos, identificando tanto las oportunidades como las limitaciones presentes en la literatura reciente. Asimismo, se busca analizar las tendencias emergentes dentro de la investigación en ciencia de los alimentos, particularmente aquellas relacionadas con el desarrollo de nuevas tecnologías de fortificación y protección de micronutrientes. Finalmente, esta revisión pretende contribuir al entendimiento de las implicaciones tecnológicas, nutricionales y regulatorias asociadas con la aplicación de vitaminas del complejo B en alimentos, con el fin de apoyar el desarrollo de estrategias más eficaces para mejorar la calidad nutricional de la dieta y prevenir deficiencias de micronutrientes en la población.

2. Metodología

2.1 Búsqueda bibliográfica y elección de estudios originales

La presente investigación se llevó a cabo mediante una revisión de la literatura científica con el propósito de recopilar, analizar y sintetizar información relevante relacionada con el uso de vitaminas del complejo B en alimentos. Este tipo de metodología permite integrar resultados provenientes de múltiples estudios previamente publicados, lo cual facilita la identificación de tendencias, avances científicos y áreas de investigación aún poco exploradas dentro del campo de la nutrición y

la ciencia de los alimentos. Para garantizar que el proceso de recopilación y selección de información se realizara de manera rigurosa, se siguieron de forma general las recomendaciones metodológicas propuestas por la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), ampliamente utilizada en revisiones científicas para asegurar transparencia, sistematicidad y reproducibilidad en la identificación de la literatura disponible.¹⁵

El proceso de búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en varias bases de datos científicas reconocidas internacionalmente por su cobertura en áreas relacionadas con la nutrición, la tecnología de los alimentos, la química de alimentos y las ciencias biomédicas. Entre las bases de datos consultadas se incluyeron PubMed, Scopus, Google Scholar e IEEE Xplore, las cuales fueron seleccionadas debido a su amplio alcance en la indexación de artículos científicos y revisiones académicas relevantes. Estas plataformas proporcionan acceso a literatura especializada que abarca diferentes disciplinas, incluyendo bioquímica nutricional, análisis químico de alimentos, tecnología de fortificación y evaluación de la biodisponibilidad de micronutrientes.^{2,9}

La consulta de múltiples bases de datos permitió ampliar el espectro de búsqueda y reducir el riesgo de omitir estudios relevantes relacionados con el tema de investigación. Asimismo, esta estrategia contribuyó a obtener una visión más completa y actualizada de los avances científicos sobre la estabilidad, biodisponibilidad y fortificación de las vitaminas del complejo B en distintos sistemas alimentarios. El uso de plataformas ampliamente reconocidas también favorece la confiabilidad de las fuentes seleccionadas, dado que estas bases de datos indexan principalmente publicaciones revisadas por pares y revistas científicas de alto impacto.¹⁶

2.2 Codificación de los estudios

Para la identificación de los artículos relevantes se estableció un intervalo temporal comprendido entre los años 2015 y 2025, con el objetivo de incluir únicamente literatura científica reciente que reflejara los avances más actuales en el estudio de las vitaminas del complejo B dentro del ámbito de la ciencia y tecnología de los alimentos. Se consideraron exclusivamente artículos de revisión científica publicados en idioma inglés, dado que este tipo de publicaciones permiten sintetizar resultados de múltiples investigaciones y ofrecen una

perspectiva amplia sobre el estado del conocimiento en un área determinada.¹⁷

La estrategia de búsqueda se diseñó utilizando un conjunto de palabras clave relacionadas con el objeto de estudio. Entre los términos empleados se incluyeron expresiones como “B vitamins”, “vitamin B complex”, “food fortification”, “bioavailability”, “stability”, “food processing”, “food matrix”, “nanofortification”, “encapsulation” y “food regulation”. Estas palabras clave fueron seleccionadas debido a su relevancia para describir los aspectos tecnológicos, nutricionales y regulatorios asociados con la aplicación de las vitaminas del complejo B en alimentos. Para optimizar los resultados de búsqueda y ampliar la recuperación de literatura científica pertinente, los términos fueron combinados mediante el uso de operadores booleanos, principalmente AND y OR, lo que permitió establecer relaciones entre los diferentes conceptos y mejorar la precisión de los resultados obtenidos.¹⁸

El uso de esta estrategia de búsqueda permitió identificar investigaciones relacionadas con diferentes áreas del conocimiento, incluyendo la estabilidad de vitaminas durante el procesamiento de alimentos, su

biodisponibilidad en distintas matrices alimentarias, las técnicas de fortificación utilizadas en la industria alimentaria y los avances tecnológicos recientes orientados a mejorar la protección y liberación de micronutrientes mediante métodos de encapsulación o nanofortificación.^{10,13} De esta manera, la codificación y organización inicial de los estudios facilitó el análisis comparativo de la información recopilada y permitió estructurar el proceso de revisión de forma ordenada.

2.3 Extracción y valoración de la calidad de la información

Una vez identificados los estudios potencialmente relevantes, se procedió a establecer criterios específicos de inclusión y exclusión con el fin de seleccionar únicamente aquellas publicaciones que aportaran información pertinente para el desarrollo del presente trabajo. Los criterios de inclusión consideraron artículos que abordaran aspectos relacionados con el uso, la función biológica, el análisis químico, la estabilidad, la biodisponibilidad, la fortificación y la regulación de las vitaminas del complejo B en diferentes matrices alimentarias. También se priorizaron estudios que examinaran los efectos del procesamiento de alimentos y las innovaciones tecnológicas destinadas a

mejorar la estabilidad y disponibilidad de estos micronutrientes.^{9,13}

Por otro lado, se establecieron criterios de exclusión para eliminar aquellas publicaciones que no estuvieran directamente relacionadas con el enfoque alimentario del estudio. En este sentido, se descartaron investigaciones experimentales centradas exclusivamente en modelos clínicos o biomédicos sin relación con alimentos, ensayos clínicos en humanos, publicaciones anteriores al año 2015, documentos duplicados, resúmenes de congresos y literatura no revisada por pares. La aplicación de estos criterios permitió mejorar la calidad metodológica de la revisión y asegurar que las fuentes analizadas fueran pertinentes y confiables desde el punto de vista científico.¹⁷

El proceso de búsqueda inicial permitió identificar 210 artículos científicos potencialmente relevantes. Posteriormente, se llevó a cabo la eliminación de registros duplicados y una revisión preliminar de los títulos y resúmenes con el fin de evaluar su pertinencia respecto al tema de estudio. Como resultado de esta etapa de filtrado, se seleccionaron 65 artículos para una evaluación más detallada mediante la revisión completa de su contenido. Tras aplicar nuevamente los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, 32 artículos de revisión científica

cumplieron con todos los requisitos metodológicos y fueron finalmente incluidos en el análisis y discusión del presente estudio.

Este proceso de selección permitió asegurar que la información analizada proviniera de fuentes científicas relevantes y actualizadas, lo cual contribuye a fortalecer la calidad y confiabilidad de la revisión. Además, el uso de un procedimiento sistemático de búsqueda, filtrado y evaluación de la literatura es fundamental para garantizar la transparencia metodológica y facilitar la reproducibilidad de futuras investigaciones en el campo de la nutrición y la ciencia de los alimentos.^{15,18}

3. Resultados

3.1 Proceso de selección de estudios

El proceso de identificación y selección de literatura científica se desarrolló siguiendo un enfoque basado en los lineamientos metodológicos propuestos por la declaración PRISMA, ampliamente utilizada en revisiones científicas para garantizar transparencia, rigurosidad y reproducibilidad en la recopilación de información.¹⁵ Inicialmente, la estrategia de búsqueda aplicada en las bases de datos PubMed, Scopus, Google Scholar e IEEE Xplore permitió identificar 210 registros potencialmente relevantes relacionados con el

uso de vitaminas del complejo B en alimentos, fortificación alimentaria, estabilidad de micronutrientes y biodisponibilidad en diferentes matrices alimentarias.

Posteriormente, se realizó una etapa de depuración de la información con el fin de eliminar registros duplicados que aparecían en más de una base de datos. Como resultado de este proceso, 45 artículos duplicados fueron descartados, lo que permitió obtener 165 registros únicos para su evaluación preliminar. En una segunda etapa, se llevó a cabo la revisión de títulos y resúmenes, procedimiento común en revisiones sistemáticas para determinar la pertinencia temática de las publicaciones identificadas.¹⁸

Durante esta fase de filtrado inicial se excluyeron 100 artículos, principalmente por no cumplir con los criterios de inclusión previamente definidos. Entre los motivos de exclusión se encontraron estudios experimentales centrados exclusivamente en modelos clínicos o biomédicos, ensayos clínicos en humanos, investigaciones que no abordaban directamente el ámbito alimentario, así como publicaciones anteriores al año 2015. De esta forma, se seleccionaron 65 artículos

para una evaluación más detallada mediante la revisión completa del texto.

En la etapa final del proceso de selección se aplicaron nuevamente los criterios de inclusión y exclusión definidos en la metodología. Como resultado, 33 artículos adicionales fueron descartados, debido a que no correspondían a revisiones científicas o no abordaban específicamente el estudio de las vitaminas del complejo B dentro de matrices alimentarias o estrategias de fortificación. Finalmente, 32 artículos de revisión científica cumplieron con todos los criterios establecidos y fueron incluidos en la síntesis cualitativa final del presente estudio. El proceso completo de selección de literatura se resume en el diagrama de flujo correspondiente (Figura N°1), el cual sigue la estructura recomendada por las guías PRISMA para revisiones sistemáticas.^{15,18}

3.2 Caracterización general de los estudios incluidos

Los 32 artículos seleccionados corresponden principalmente a revisiones narrativas y revisiones sistemáticas publicadas entre los años 2015 y 2025, lo que permitió incorporar evidencia científica reciente sobre el uso de vitaminas del complejo B en alimentos. La mayoría de las publicaciones se encontraron redactadas en idioma inglés y fueron

publicadas en revistas científicas internacionales especializadas en nutrición, bioquímica, tecnología de alimentos y análisis químico alimentario.

Un análisis general del contenido de los artículos indica que la mayor parte de los estudios no se limitó al análisis de una sola vitamina, sino que abordó varios miembros del complejo B de manera conjunta, debido a las funciones metabólicas interrelacionadas que estas vitaminas desempeñan en el organismo humano.^{1,2}

Sin embargo, algunas vitaminas fueron objeto de mayor atención en la literatura científica revisada. En particular, el ácido fólico (vitamina B9), la vitamina B12 y la vitamina B6 fueron las más frecuentemente analizadas, especialmente en el contexto de programas de fortificación de alimentos básicos, evaluación de estabilidad durante el procesamiento industrial y análisis de biodisponibilidad en diferentes matrices alimentarias.^{3,5}

Los estudios incluidos también abordaron diversas aplicaciones dentro del campo de la ciencia de los alimentos, tales como el desarrollo de estrategias tecnológicas para la

fortificación, la evaluación del comportamiento de las vitaminas durante procesos térmicos y el análisis de su interacción con componentes de la matriz alimentaria. Además, varios artículos revisaron avances recientes en tecnologías emergentes destinadas a mejorar la protección y disponibilidad de micronutrientes en alimentos funcionales y fortificados.^{10,13}

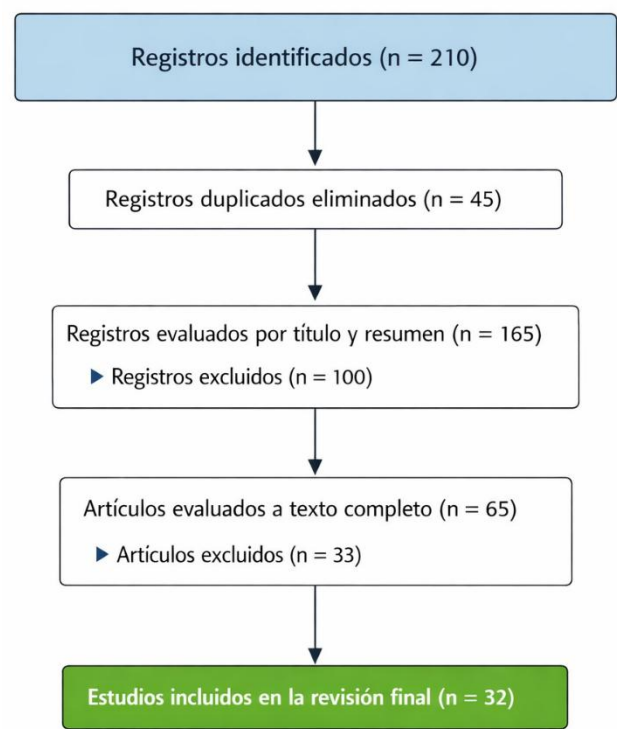


Figura N°1. Diagrama de selección de estudios
Fuente: Elaboración propia con base en ¹⁵

Tabla N° 1. Variables analizadas en los estudios.

Variable analizada	Descripción
Tipo de estudio	Revisiones narrativas y sistemáticas
Vitaminas evaluadas	B1, B2, B3, B6, B9, B12
Matrices alimentarias	Cereales, bebidas, productos lácteos, alimentos procesados
Enfoque principal	Fortificación, estabilidad, biodisponibilidad, regulación
Tecnologías evaluadas	Fortificación convencional, microencapsulación, nanofortificación
Marco normativo	Codex Alimentarius, normativas nacionales

Fuente: Elaboración propia con base en ¹⁻¹⁰

3.3.Estabilidad de las vitaminas del complejo B

Uno de los aspectos más ampliamente discutidos en los estudios analizados fue la estabilidad de las vitaminas del complejo B durante el procesamiento y almacenamiento

de alimentos. De forma consistente, la literatura científica señala que estas vitaminas son químicamente sensibles a diversos factores ambientales, entre los que se incluyen la temperatura elevada, la exposición a la luz, la presencia de oxígeno y las variaciones de Ph.^{9,11} Como consecuencia de esta sensibilidad, es frecuente observar pérdidas significativas de contenido vitamínico durante procesos tecnológicos como la cocción, pasteurización, esterilización, secado o almacenamiento prolongado.

Diversos autores han señalado que la degradación de las vitaminas del complejo B durante el procesamiento de alimentos puede afectar de manera considerable su aporte nutricional final, especialmente cuando se aplican tratamientos térmicos intensivos o cuando los alimentos se almacenan durante largos periodos en condiciones inadecuadas.^{11,19} En este sentido, la estabilidad de estas vitaminas depende no solo de las condiciones externas de procesamiento, sino también de la forma química específica utilizada en la fortificación y de las características propias de la matriz alimentaria en la cual se incorporan.

La interacción entre las vitaminas y otros componentes presentes en los alimentos, como proteínas, carbohidratos o lípidos, puede influir en su degradación o protección frente a factores ambientales. Por esta razón, el estudio de la estabilidad de micronutrientes en diferentes matrices alimentarias constituye un aspecto fundamental dentro del campo del análisis químico de alimentos y el desarrollo de productos fortificados.^{9,19}

3.4. Biodisponibilidad y bioaccesibilidad

La biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B representa otro aspecto clave evaluado en los artículos revisados. Este concepto se refiere a la proporción de un nutriente que, tras su ingestión, es liberado del alimento, absorbido en el tracto gastrointestinal y finalmente utilizado por el organismo para desempeñar sus funciones fisiológicas.²

Los estudios analizados coinciden en señalar que las formas sintéticas de vitaminas utilizadas en alimentos fortificados suelen presentar mayor biodisponibilidad en comparación con algunas de las formas naturales presentes en los alimentos. Por ejemplo, el ácido fólico empleado en programas de fortificación ha demostrado poseer una mayor estabilidad química y una

mayor bioaccesibilidad durante el proceso digestivo en comparación con los folatos naturales presentes en ciertos alimentos.¹⁴

No obstante, la biodisponibilidad real de estas vitaminas puede verse influenciada por diversos factores, entre ellos la composición de la matriz alimentaria, la presencia de otros nutrientes y las condiciones fisiológicas del individuo. En este contexto, varios estudios destacan que la interacción entre las vitaminas del complejo B y otros componentes alimentarios puede modular su liberación durante la digestión y su posterior absorción intestinal.^{9,20}

Adicionalmente, investigaciones recientes han explorado el uso de tecnologías de encapsulación para mejorar la liberación controlada de vitaminas durante el proceso digestivo. Estas técnicas pueden contribuir a proteger los micronutrientes frente a condiciones adversas y favorecer su absorción en el organismo, lo que representa una estrategia prometedora para mejorar la eficacia nutricional de los alimentos fortificados.^{10,13}

3.5. Tecnologías emergentes

En los últimos años, el desarrollo de tecnologías emergentes ha generado nuevas oportunidades para mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B en alimentos. Entre las estrategias más estudiadas destacan la microencapsulación y la nanofortificación, las cuales han sido ampliamente analizadas en la literatura científica reciente.^{10,13}

Estas tecnologías consisten en la incorporación de micronutrientes dentro de micro o nanoestructuras protectoras que permiten reducir la degradación causada por factores ambientales, tales como la luz, el oxígeno o las altas temperaturas. Además, estos sistemas de encapsulación pueden facilitar una liberación controlada de los nutrientes durante el proceso digestivo, lo que potencialmente mejora su biodisponibilidad y absorción en el organismo.

A pesar de los resultados prometedores reportados en diversos estudios experimentales, la literatura también destaca la necesidad de realizar investigaciones adicionales que permitan evaluar la seguridad, eficacia nutricional y regulación normativa de estas tecnologías antes de su implementación a gran escala en la industria alimentaria.^{10,13,21}

Tabla N° 2. Resumen de estudios principales incluidos en la revisión.

Autor	Año	Tipo de revisión	Vitaminas evaluadas	Hallazgo principal
Kennedy DO	2016	Revisión narrativa	Complejo B	Las vitaminas del complejo B participan en el metabolismo cerebral, la producción de energía y la función cognitiva.
Combs GF, McClung JP	2017	Libro de revisión científica	Complejo B	Describe las funciones fisiológicas, metabolismo y fuentes alimentarias de las vitaminas del complejo B.
O'Leary F, Samman S	2018	Revisión narrativa	B12	La vitamina B12 es indispensable para la función neurológica y la formación de eritrocitos; su deficiencia afecta principalmente a adultos mayores y vegetarianos.
Green R, Datta Mitra A	2017	Revisión narrativa	B9 y B12	La deficiencia de folato y vitamina B12 constituye una de las principales causas de anemia megaloblástica.
Smith AD, Refsum H	2016	Revisión narrativa	B6, B9 y B12	La hiperhomocisteinemia derivada de la deficiencia de vitaminas B aumenta el riesgo cardiovascular y de deterioro cognitivo.

Autor	Año	Tipo de revisión	Vitaminas evaluadas	Hallazgo principal
Allen LH et al.	2018	Guía/Revisión	B12	La fortificación con vitamina B12 representa una estrategia eficaz para disminuir deficiencias nutricionales.
Ball GFM	2017	Libro de revisión	Complejo B	La estabilidad vitamínica depende del procesamiento, almacenamiento y características de la matriz alimentaria.
McClements DJ	2020	Revisión	Complejo B	La nanoencapsulación mejora la estabilidad y biodisponibilidad de vitaminas incorporadas en alimentos.
Ottawa y PB	2018	Revisión	Complejo B	El calor, la luz y el oxígeno ocasionan pérdidas importantes durante el procesamiento y almacenamiento.
Gupta C, Prakash D	2017	Revisión	Complejo B	Destaca la importancia nutricional y tecnológica de las vitaminas del complejo B en alimentos fortificados.
Peannarkdee M, Iwamoto S	2021	Revisión sistemática	Complejo B	La encapsulación protege las vitaminas y mejora su estabilidad y biodisponibilidad.
Bailey LB et al.	2015	Revisión	B9	El folato es esencial para la síntesis de ADN y la prevención de defectos del tubo neural.

Autor	Año	Tipo de revisión	Vitaminas evaluadas	Hallazgo principal
Hurrell R	2017	Revisión	Micronutrientes (incluye vitaminas B)	La biodisponibilidad depende de la forma química empleada y de la matriz alimentaria.
Augustin MA, Sangwan S, L	2017	Revisión	Complejo B	Los nanomateriales representan una alternativa prometedora para la fortificación de alimentos.
Gregory JF	2019	Revisión	Complejo B	La biodisponibilidad de las vitaminas B está influenciada por la composición de la matriz alimentaria.
McClements DJ, Xiao H	2018	Revisión	Vitaminas encapsuladas	Las nanoemulsiones favorecen la liberación controlada y absorción de micronutrientes.
Donsi F, Ferrari G	2016	Revisión	Vitaminas bioactivas	La nanoencapsulación protege los compuestos bioactivos frente a la degradación.
Bailey RL et al.	2015	Revisión	Micronutrientes	Las deficiencias de micronutrientes continúan siendo un problema importante de salud pública.
Del Valle HB et al.	2020	Revisión	Complejo B	La estabilidad vitamínica depende del tipo de alimento y de las condiciones de almacenamiento.

Autor	Año	Tipo de revisión	Vitaminas evaluadas	Hallazgo principal
Ríos-Covián D et al.	2021	Revisión	Micronutrientes	La fortificación requiere integrar aspectos tecnológicos, nutricionales y regulatorios.
Rathee et al.	2022	Revisión narrativa	Complejo B	La nanofortificación mejora estabilidad y biodisponibilidad
Espinoza-Espinoza et al.	2024	Revisión sistemática	Vitaminas hidrosolubles	La encapsulación reduce pérdidas durante procesamiento
Allen et al.	2018	Revisión	B9, B12	La fortificación es eficaz para prevenir deficiencias
McNulty et al.	2020	Revisión	B6, B12	La biodisponibilidad depende de la matriz alimentaria
Chungchunlam SM, Moughan PJ	2024	Revisión	Complejo B	Las vitaminas B presentes en alimentos de origen animal muestran, en general, mayor biodisponibilidad que las de origen vegetal.
Temova Rakuša Ž, et al.	2023	Revisión	B12	La vitamina B12 es estable en formulaciones adecuadas y la fortificación mejora su aporte nutricional.
Espinoza-Espinoza LA, et al.	2024	Revisión sistemática y metaanálisis	Vitaminas	La microencapsulación incrementa la estabilidad y favorece la liberación controlada de vitaminas en alimentos fortificados.

Autor	Año	Tipo de revisión	Vitaminas evaluadas	Hallazgo principal
Li J, et al.	2025	Revisión	B9	La fortificación con folato mejora la bioaccesibilidad, aunque el procesamiento puede reducir su estabilidad.
Liu F, et al.	2025	Revisión	Complejo B	La oxidación durante el procesamiento y almacenamiento reduce la estabilidad de las vitaminas B; la matriz alimentaria influye en su conservación.
Food Chemistry Review	2025	Revisión	Vitaminas	Los sistemas de encapsulación aumentan la bioaccesibilidad entre un 5 % y un 95 % y pueden multiplicar la biodisponibilidad.

Fuente: Elaboración propia con base en ¹⁻³⁴

3.6.Elaboración del riesgo de sesgo

Dado que el presente estudio se basa en una revisión de literatura secundaria, la evaluación del riesgo de sesgo se realizó considerando principalmente la calidad metodológica de los artículos incluidos. Para ello se analizaron aspectos como la claridad en la descripción de la metodología, la exhaustividad de las estrategias de búsqueda empleadas por los autores y la transparencia en los criterios de selección de los estudios revisados.

En términos generales, las revisiones sistemáticas incluidas en el análisis presentaron un bajo riesgo de sesgo, debido a que describían de manera detallada los métodos utilizados para la identificación y selección de estudios, así como los procedimientos de análisis de la información. Por otro lado, algunas revisiones narrativas mostraron ciertas limitaciones metodológicas, principalmente relacionadas con la ausencia de una estrategia de búsqueda claramente definida o con la falta de criterios explícitos de selección de literatura. ¹⁷

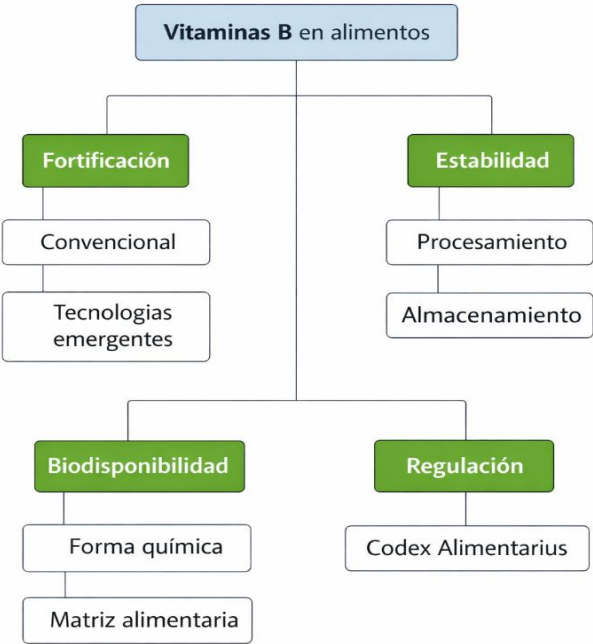


Figura N° 2. Síntesis conceptual de los principales resultados

Fuente: Elaboración propia

4. Discusión

La evidencia científica analizada en la presente revisión confirma la importancia del uso de vitaminas del complejo B en alimentos, especialmente a través de estrategias de fortificación, como una herramienta fundamental para mejorar el estado nutricional de la población y prevenir deficiencias nutricionales que pueden generar consecuencias importantes para la salud. Diversos estudios han demostrado que la insuficiencia de vitaminas del complejo B se encuentra estrechamente relacionada con la aparición de anemia, alteraciones neurológicas y trastornos metabólicos asociados con el metabolismo de la homocisteína.³⁻⁵ Estas condiciones representan un problema significativo de salud pública en diferentes regiones del mundo, particularmente en poblaciones con dietas poco diversificadas o con acceso limitado a alimentos ricos en micronutrientes esenciales.⁶

En este contexto, los programas de fortificación alimentaria han sido ampliamente promovidos por organismos internacionales de salud y nutrición como una estrategia eficaz para incrementar la ingesta de micronutrientes esenciales sin requerir cambios significativos en los patrones de consumo de la población. La

fortificación de alimentos básicos, como cereales, harinas y productos derivados de granos, ha demostrado ser una intervención nutricional costo-efectiva para reducir la prevalencia de deficiencias de vitaminas del complejo B, especialmente de ácido fólico y vitamina B12.^{6,8} La literatura revisada respalda ampliamente el impacto positivo de estas intervenciones, señalando que la incorporación controlada de vitaminas en alimentos de consumo habitual puede contribuir de manera significativa a mejorar la calidad nutricional de la dieta.

No obstante, los resultados también evidencian que las fuentes alimentarias naturales de vitaminas del complejo B presentan una considerable variabilidad en cuanto a su contenido y biodisponibilidad. Esta variabilidad depende de múltiples factores, entre los que se incluyen el tipo de alimento, las condiciones de producción, los métodos de procesamiento industrial y las condiciones de almacenamiento.⁹ Por ejemplo, alimentos de origen animal como carnes, pescados y productos lácteos constituyen fuentes importantes de vitamina B12, mientras que alimentos de origen vegetal como legumbres, cereales integrales y verduras aportan otras vitaminas del complejo B como folato o

vitamina B6. Sin embargo, la disponibilidad real de estas vitaminas puede verse influenciada por la presencia de compuestos que afectan su absorción o por pérdidas generadas durante el procesamiento de los alimentos.

Desde el punto de vista tecnológico, uno de los principales desafíos identificados en la literatura científica se relaciona con la estabilidad de las vitaminas del complejo B durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos. Estas vitaminas son compuestos relativamente inestables y pueden degradarse fácilmente cuando se exponen a condiciones adversas como altas temperaturas, luz, oxígeno o variaciones extremas de pH.^{9,11} Procesos comunes en la industria alimentaria, como la cocción, pasteurización, esterilización, secado o almacenamiento prolongado, pueden provocar pérdidas significativas de contenido vitamínico, lo que reduce la eficacia nutricional de los alimentos fortificados.

Diversos estudios han reportado que las pérdidas vitamínicas pueden variar considerablemente dependiendo de las condiciones específicas del proceso tecnológico y del tipo de matriz alimentaria en la que se incorporan las vitaminas.¹⁹ En

matrices complejas, la interacción entre las vitaminas y otros componentes del alimento, como proteínas, lípidos o carbohidratos, puede influir tanto en su estabilidad química como en su disponibilidad para el organismo. Por esta razón, el análisis de la estabilidad de micronutrientes durante el procesamiento de alimentos constituye un aspecto clave dentro del desarrollo de productos fortificados y dentro del campo del análisis químico alimentario.

En respuesta a estos desafíos tecnológicos, en los últimos años se ha observado un creciente interés en el desarrollo de tecnologías innovadoras destinadas a mejorar la estabilidad y eficacia nutricional de las vitaminas del complejo B en alimentos. Entre estas tecnologías destacan la microencapsulación y la nanofortificación, las cuales han sido identificadas en la literatura científica como estrategias prometedoras para proteger los micronutrientes frente a condiciones ambientales adversas.^{10,13,21} Estas técnicas consisten en encapsular las vitaminas dentro de estructuras microscópicas o nanométricas que actúan como barreras protectoras frente a factores como el oxígeno, la luz o la humedad.

Además de mejorar la estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento, los sistemas

de encapsulación también pueden favorecer una liberación controlada de las vitaminas durante el proceso digestivo, lo que potencialmente incrementa su biodisponibilidad y su absorción intestinal. Este aspecto resulta particularmente relevante en el diseño de alimentos funcionales y productos fortificados destinados a mejorar la ingesta de micronutrientes en poblaciones específicas.^{10,13} Sin embargo, aunque estas tecnologías muestran resultados prometedores en estudios experimentales, la literatura también señala la necesidad de continuar investigando su eficacia nutricional, su seguridad y su viabilidad económica antes de su implementación a gran escala en la industria alimentaria.

Otro aspecto relevante discutido en los estudios analizados se relaciona con la biodisponibilidad de las diferentes formas químicas de las vitaminas utilizadas en la fortificación alimentaria. En general, la evidencia científica indica que las formas sintéticas empleadas en alimentos fortificados, como el ácido fólico o la cianocobalamina, presentan una mayor estabilidad química y una mayor disponibilidad biológica en comparación con algunas formas naturales presentes en los alimentos.¹⁴ Esto se debe en

parte a que estas formas sintéticas han sido diseñadas para resistir mejor las condiciones de procesamiento y almacenamiento, lo que facilita su incorporación en productos alimentarios industrializados.

No obstante, algunos investigadores han señalado que la biodisponibilidad de las vitaminas no depende únicamente de su forma química, sino también de la interacción con la matriz alimentaria y con otros componentes de la dieta.^{9,20} Factores como la presencia de fibra dietética, proteínas o compuestos antinutricionales pueden influir en la liberación y absorción de estos micronutrientes durante la digestión. Por esta razón, el estudio de la biodisponibilidad de vitaminas en diferentes matrices alimentarias sigue siendo un campo de investigación activo dentro de la ciencia de los alimentos.

Desde el punto de vista regulatorio, los programas de fortificación deben desarrollarse dentro de un marco normativo que garantice la seguridad del consumidor y el cumplimiento de estándares internacionales de calidad alimentaria. Organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Codex Alimentarius han establecido directrices que orientan el uso

adecuado de vitaminas y minerales en alimentos fortificados.^{6,22} Estas regulaciones establecen límites de fortificación, criterios de etiquetado y recomendaciones para la evaluación de la seguridad y eficacia nutricional de los productos fortificados.

La implementación de programas de fortificación basados en evidencia científica requiere la integración de múltiples disciplinas, incluyendo nutrición, química de alimentos, tecnología alimentaria y regulación sanitaria. En este sentido, las revisiones científicas desempeñan un papel fundamental en la consolidación del conocimiento existente, ya que permiten identificar tendencias de investigación, evaluar la calidad de la evidencia disponible y señalar áreas donde se requieren estudios adicionales.

En conjunto, los hallazgos de esta revisión ponen de manifiesto que la fortificación de alimentos con vitaminas del complejo B representa una estrategia eficaz para mejorar la ingesta de micronutrientes y prevenir deficiencias nutricionales en la población. Sin embargo, el éxito de estas intervenciones depende de diversos factores, entre los que se incluyen la selección adecuada de las formas químicas de las vitaminas, la optimización de

los procesos tecnológicos utilizados en su incorporación a los alimentos, la consideración de las características de la matriz alimentaria y el cumplimiento de las regulaciones internacionales vigentes.

Finalmente, los resultados obtenidos destacan la necesidad de continuar desarrollando investigaciones que permitan evaluar con mayor precisión la interacción entre las vitaminas del complejo B, las matrices alimentarias y las tecnologías de procesamiento. Este tipo de estudios resulta fundamental para diseñar estrategias de fortificación más eficaces y sostenibles, capaces de mejorar la calidad nutricional de los alimentos y contribuir a la prevención de deficiencias de micronutrientes a nivel global.

5. Conclusión

La presente revisión de literatura permitió analizar la evidencia científica publicada desde 2015 sobre la estabilidad, fortificación y biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B en alimentos. Los estudios revisados confirman que estas vitaminas son esenciales para el metabolismo energético, la función neurológica, la síntesis de ácidos nucleicos y la formación de glóbulos rojos, por lo que su adecuada conservación durante

el procesamiento de los alimentos constituye un aspecto fundamental para garantizar su aporte nutricional.

Con respecto a la estabilidad, la evidencia recopilada indica que el ácido fólico (vitamina B9) y la tiamina (vitamina B1) son las vitaminas que presentan mayores problemas de estabilidad, debido a su alta sensibilidad al calor, la luz, el oxígeno y las variaciones de pH, lo que ocasiona pérdidas importantes durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos. La riboflavina (vitamina B2) también mostró susceptibilidad, principalmente frente a la exposición a la luz.

En relación con las tecnologías de fortificación, los mejores resultados fueron reportados para la microencapsulación, la encapsulación y las estrategias basadas en nanotecnología, debido a que protegen las vitaminas frente a los factores ambientales, reducen las pérdidas durante el procesamiento industrial y favorecen una liberación controlada durante la digestión, mejorando su estabilidad y potencial biodisponibilidad.

Asimismo, la revisión evidenció que la biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B depende de la matriz alimentaria.

Las matrices lácteas y los cereales fortificados mostraron un comportamiento favorable al facilitar la estabilidad y liberación de los micronutrientes, mientras que las interacciones con componentes como la fibra dietética y algunos compuestos presentes en los alimentos pueden disminuir su absorción intestinal.

En conjunto, la evidencia científica revisada demuestra que el éxito de los programas de fortificación no depende únicamente de la cantidad de vitamina incorporada, sino también de la selección de la forma química más estable, de la tecnología de fortificación empleada y de las características de la matriz alimentaria. En este sentido, la integración de tecnologías innovadoras y métodos analíticos confiables representa una estrategia clave para desarrollar alimentos fortificados con mayor estabilidad, biodisponibilidad y calidad nutricional, contribuyendo así a la prevención de deficiencias de vitaminas del complejo B y al fortalecimiento de las estrategias de salud pública.

6. Recomendaciones

1. A las autoridades de salud pública y empresa privada, promover el uso de tecnologías de fortificación, como la

microencapsulación y la encapsulación, debido a su capacidad para mejorar la estabilidad de las vitaminas del complejo B durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos.

2. A la industria alimenticia, seleccionar las formas químicas de las vitaminas del complejo B con mayor estabilidad y optimizar las condiciones de procesamiento y almacenamiento para minimizar las pérdidas nutricionales y preservar la calidad de los alimentos fortificados.
3. A investigadores y universidades de El Salvador, desarrollar investigaciones que comparen la biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B en diferentes matrices alimentarias mediante metodologías estandarizadas que permitan obtener resultados confiables y comparables.
4. A Centros de investigación, ampliar los estudios sobre la aplicación de tecnologías innovadoras, como la nanotecnología, evaluando su eficacia, seguridad, aceptación por parte del consumidor y viabilidad para su implementación en la industria alimentaria.
5. A las autoridades de salud pública, fortalecer los programas de fortificación

de alimentos con base en evidencia científica actualizada, con el fin de contribuir a la prevención de deficiencias de vitaminas del complejo B y mejorar el estado nutricional de la población.

7. Agradecimientos

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a los docentes y asesores académicos pertenecientes a la carrera de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, quienes, a lo largo del proceso formativo y durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, brindaron valiosos conocimientos, orientación académica y acompañamiento constante. Su experiencia profesional, así como su disposición para guiar y resolver dudas, fueron elementos fundamentales para fortalecer la calidad científica y metodológica de este estudio. Las recomendaciones, observaciones y aportes realizados por los profesores permitieron enriquecer el análisis de la información, fomentar el pensamiento crítico y garantizar un enfoque riguroso en la elaboración de esta revisión bibliográfica.

De igual manera, los autores reconocen el importante papel que desempeña la Universidad de El Salvador como institución académica comprometida con la formación científica y la generación de conocimiento. El

acceso proporcionado por la universidad a diversas bases de datos científicas, bibliografía especializada, revistas académicas y recursos institucionales resultó esencial para llevar a cabo la búsqueda sistemática de información. Estas herramientas facilitaron la identificación, selección y análisis crítico de literatura científica actualizada, lo cual permitió sustentar adecuadamente los contenidos desarrollados en el presente trabajo. Asimismo, el entorno académico promovido por la institución favorece la investigación, el aprendizaje autónomo y el desarrollo de competencias necesarias para la formación de profesionales en el área de las ciencias farmacéuticas y alimentarias.

Del mismo modo, se extiende un reconocimiento especial a los investigadores y autores de los artículos científicos consultados durante el proceso de elaboración de esta revisión. Sus estudios, investigaciones y publicaciones han contribuido de manera significativa al avance del conocimiento en áreas relacionadas con la nutrición, la química de los alimentos y la tecnología alimentaria, proporcionando bases científicas sólidas para comprender el papel de diversos micronutrientes en los sistemas alimentarios. Los aportes realizados por la comunidad científica internacional han permitido ampliar

la comprensión sobre temas como la estabilidad, biodisponibilidad y fortificación de vitaminas en alimentos, aspectos fundamentales para el desarrollo de investigaciones como la presente.

Asimismo, los autores desean resaltar la importancia del apoyo académico y técnico recibido durante las diferentes etapas del proceso investigativo, incluyendo la planificación, búsqueda bibliográfica, análisis de la información y redacción del documento final. La colaboración y orientación recibidas contribuyeron a fortalecer las habilidades de investigación, organización de información científica y redacción académica, elementos esenciales para la elaboración de trabajos científicos rigurosos y bien fundamentados.

Finalmente, se reconoce que la culminación de este estudio fue posible gracias al conjunto de esfuerzos, recursos y acompañamiento académico brindados por las diferentes personas e instituciones involucradas directa o indirectamente en el proceso. El respaldo recibido permitió desarrollar una investigación estructurada y basada en evidencia científica, lo cual constituye un aporte al conocimiento dentro del campo de la ciencia y tecnología de los alimentos. Los

autores valoran profundamente este apoyo y esperan que el presente trabajo contribuya de manera positiva al ámbito académico y científico.

8. Referencias

1. Kennedy DO. B vitamins and the brain: mechanisms, dose and efficacy—A review. *Nutrients*. 2016;8(2):68.
2. Combs GF, McClung JP. *The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. 5th ed. Academic Press; 2017.
3. O’Leary F, Samman S. Vitamin B12 in health and disease. *Nutrients*. 2018;10(3):299.
4. Green R, Datta Mitra A. Megaloblastic anemias: nutritional and other causes. *Med Clin North Am*. 2017;101(2):297-317.
5. Smith AD, Refsum H. Homocysteine, B vitamins, and cognitive impairment. *Annu Rev Nutr*. 2016;36:211-39.
6. Allen LH, de Benoist B, Dary O, Hurrell R. *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*. Updated review. Geneva: World Health Organization; 2018.
7. Hurrell R, Egli I. Iron bioavailability and dietary reference values. *Am J Clin Nutr*. 2017;106(Suppl 6):1601S-1606S.
8. Allen LH, Rosenberg IH, Oakley GP, Omenn GS. Considering the case for vitamin B12 fortification of flour. *Food Nutr Bull*. 2018;39(4):558-69.
9. Ball GFM. *Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability*. 2nd ed. CRC Press; 2017.
10. McClements DJ. Nanoencapsulation technologies for delivering vitamins in foods. *Food Hydrocolloids*. 2020;108:105-122.
11. Ottaway PB. Stability of vitamins during food processing and storage. *Food Chem*. 2018;257:39-47.
12. Gupta C, Prakash D. Nutritional and technological importance of vitamin B complex in foods. *J Food Sci Technol*. 2017;54(12):3645-3658.
13. Peanparkdee M, Iwamoto S. Encapsulation for improving stability and bioavailability of vitamins. *Foods*. 2021;10(7):1601.
14. Bailey LB, Stover PJ, McNulty H, Fenech MF, Gregory JF, Mills JL, et al. Biomarkers of nutrition for development—folate review. *J Nutr*. 2015;145(7):1636S-1680S.

15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71.
16. Falagas ME, Pitsouni EI, Malietzis GA, Pappas G. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. *FASEB J*. 2018;22(2):338–342.
17. Snyder H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *J Bus Res*. 2019;104:333–339.
18. Bramer WM, Rethlefsen ML, Kleijnen J, Franco OH. Optimal database combinations for literature searches in systematic reviews. *Syst Rev*. 2017;6(1):245.
19. Damodaran S, Parkin KL. Fennema's Food Chemistry. 5th ed. CRC Press; 2017.
20. Hurrell R. Bioavailability of micronutrients in fortified foods. *Nutr Rev*. 2017;75(8):610–620.
21. Augustin MA, Sanguansri L. Nanostructured materials in food fortification. *Trends Food Sci Technol*. 2017;60:96–105.
22. Codex Alimentarius Commission. Guidelines on food fortification with vitamins and minerals. Rome: FAO/WHO; 2019.
23. Combs GF, McClung JP. The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health. 5th ed. London: Academic Press; 2017.
24. Ottaway PB. Stability of vitamins during food processing and storage. *Food Chem*. 2018;257:21–29.
25. Allen LH, de Benoist B, Dary O, Hurrell R. Guidelines on food fortification with micronutrients. World Health Organization; 2016.
26. Kerns JC, Arundel C, Chawla LS. Micronutrient metabolism and the role of vitamins in human health. *Nutrients*. 2017;9(7):675.
27. Gregory JF. Bioavailability of B vitamins in food systems. *Nutr Rev*. 2019;77(6):345–356.
28. Ball GFM. Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2017.
29. Hurrell R, Egli I. Iron and micronutrient fortification: technological and nutritional considerations. *Int J Vitam Nutr Res*. 2017;87(3–4):127–138.

30. McClements DJ, Xiao H. Potential biological fate of ingested nanoemulsions and nanoparticles. *Trends Food Sci Technol.* 2018;71:1–11.
31. Donsì F, Ferrari G. Nanoencapsulation techniques for food bioactive compounds. *Trends Food Sci Technol.* 2016;47:1–15.
32. Bailey RL, West KP, Black RE. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Ann Nutr Metab.* 2015;66(Suppl 2):22–33.
33. Del Valle HB, Yamada M, Ito Y. Vitamin stability in fortified foods and beverages. *Food Res Int.* 2020;137:109543.
34. Rios-Covián D, Ruas-Madiedo P, Margolles A. Food science and nutrition: interdisciplinary approaches to micronutrient fortification. *Nutrients.* 2021;13(6):1958.

CAPÍTULO V

5.0 CONCLUSIONES

1. Integrar la información científica revisada permitió establecer que las vitaminas del complejo B desempeñaron funciones esenciales en el metabolismo energético, la función neurológica y los procesos hematológicos, lo que justificó su importancia en la alimentación humana.
2. Analizar las fuentes alimentarias evidenció que el contenido natural de vitaminas del complejo B presentó variaciones significativas, las cuales se vieron influenciadas por el origen del alimento y por los tratamientos tecnológicos aplicados.
3. Determinar que los procesos de elaboración, cocción y almacenamiento de los alimentos afectaron de manera directa la estabilidad de las vitaminas del complejo B, reduciendo su contenido disponible para el consumo.
4. Confirmar que la fortificación de alimentos constituyó una estrategia efectiva para mejorar el aporte de vitaminas del complejo B en productos de consumo habitual y contribuir a la prevención de deficiencias nutricionales en la población.
5. Establecer que la biodisponibilidad de las vitaminas del complejo B dependió tanto de la forma química utilizada como de la interacción con la matriz alimentaria, lo que condicionó su aprovechamiento nutricional.
6. Identificar que las tecnologías emergentes aplicadas a la incorporación de vitaminas del complejo B ofrecieron alternativas para mejorar su estabilidad y reducir las pérdidas durante el procesamiento de los alimentos.
7. Reconocer que el análisis químico de alimentos resultó fundamental para cuantificar el contenido de vitaminas del complejo B, evaluar la calidad nutricional y verificar el cumplimiento de los niveles establecidos por la normativa vigente.
8. Verificar que la legislación alimentaria vigente estableció valores específicos y criterios técnicos para la adición de vitaminas del complejo B en alimentos para consumo humano, contribuyendo a la protección de la salud del consumidor.
9. Determinar que la armonización entre los aspectos nutricionales, tecnológicos y regulatorios favoreció un uso más seguro y eficiente de las vitaminas del complejo B en los alimentos fortificados.

10. Concluir que la revisión integral de la literatura permitió obtener una visión actualizada y fundamentada sobre el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos para consumo humano, destacando su relevancia dentro del análisis químico y la nutrición.

CAPÍTULO VI

6.0 RECOMENDACIONES

1. A las autoridades de salud pública y empresa privada, fortalecer la investigación y difusión de información científica relacionada con el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos, con el fin de ampliar el conocimiento sobre su importancia nutricional y su impacto en la salud humana.
2. A los organismos reguladores y laboratorios de análisis de alimentos, impulsar el uso de métodos de análisis químico que sean confiables y estandarizados para la cuantificación de vitamina B en alimentos, con el propósito de garantizar la calidad nutricional y el cumplimiento de los niveles establecidos por la normativa vigente.
3. A la autoridad regulatoria, incentivar la revisión periódica y actualización de la legislación relacionada con la fortificación de alimentos con vitamina B, a fin de asegurar su adecuación a los avances científicos y a las necesidades de la población.
4. A la autoridad regulatoria y la industria de alimentos, promover el cumplimiento de los requisitos de etiquetado nutricional en alimentos fortificados con vitaminas del complejo B, con el objetivo de brindar información clara y veraz al consumidor y facilitar decisiones de consumo informadas.
5. A la Universidad de El Salvador, estimular la realización de estudios de revisión científica como herramienta fundamental para integrar, profundizar y actualizar el conocimiento sobre el uso de las vitaminas del complejo B en alimentos, contribuyendo al avance de la ciencia de los alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd ed. Rome: Food and Agriculture Organization; 2018.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. Human vitamin and mineral requirements. Geneva: World Health Organization; 2018.
3. Allen LH, et al. Global micronutrient deficiencies. *Nutr Rev.* 2018;76(5):299-313.
4. McCormick DB. Vitamins. In: Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR, editors. *Fennema's Food Chemistry*. 5th ed. Boca Raton (FL): CRC Press; 2017.
5. Combs GF. *The vitamins: fundamental aspects in nutrition and health*. 5th ed. London: Academic Press; 2017.
6. Said HM. Intestinal absorption of water-soluble vitamins. *Annu Rev Physiol.* 2017;79:215-236.
7. Allen LH. Causes of vitamin B deficiencies. *J Nutr.* 2016;146(2):290S-295S.
8. Said HM. Cellular uptake of vitamin B. *Biochim Biophys Acta.* 2017;1861:1104-1111.
9. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific opinion on dietary reference values for thiamin. *EFSA J.* 2016;14(12):4653.
10. EFSA Panel on Dietetic Products. Dietary reference values for riboflavin. *EFSA J.* 2017;15(8):4919.
11. EFSA Panel on Dietetic Products. Dietary reference values for vitamin B6. *EFSA J.* 2016;14(6):4485.
12. Ortega RM. Importance of B vitamins in diet. *Nutr Hosp.* 2018;35:15-22.
13. Kennedy DO. B vitamins and brain health. *Nutrients.* 2016;8(2):68.
14. O'Leary F, Samman S. Vitamin B12 in health and disease. *Nutrients.* 2017;9(3):289.
15. Grosso G, et al. B vitamins and health outcomes. *Nutrients.* 2020;12(5):1324.
16. Bailey RL, et al. Trends in B-vitamin intake. *Nutrients.* 2017;9(6).
17. Van der Beek EJ. Vitamins and food matrices. *Food Funct.* 2017;8:246-255.
18. Lešková E, et al. Vitamin losses during food processing. *Food Chem.* 2016;92:17-22.
19. Campos FM, et al. Effect of processing on vitamins. *J Food Comp Anal.* 2016;48:62-68.
20. Ndaw S, et al. Vitamins in processed foods. *Food Chem.* 2017;211:701-708.

21. Codex Alimentarius Commission. General principles for the addition of essential nutrients to foods. FAO/WHO; 2019.
22. WHO. Guideline: fortification of staple foods. Geneva: World Health Organization; 2016.
23. FDA. Food fortification policy. Silver Spring: U.S. Food and Drug Administration; 2016.
24. Health Canada. Food fortification regulations. Ottawa: Health Canada; 2019.
25. Gomes F, et al. Food fortification with vitamins: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2019;59(3):456-470.
26. Santos LM, et al. Vitamin fortification strategies. *Trends Food Sci Technol*. 2018;75:1-10.
27. De Brouwer V, et al. Folate stability in foods. *Food Chem*. 2018;268:225-231.
28. López-Nicolás R, et al. Stability of vitamins during storage. *Food Res Int*. 2017;100:514-521.
29. Silva P, et al. Vitamin degradation kinetics. *J Food Eng*. 2019;246:1-8.
30. Holick MF. Stability of vitamins in food systems. *Food Chem*. 2018;250:15-22.
31. Al-Baali A, et al. Thermal degradation of vitamins. *J Food Sci*. 2017;82(5):1154-1161.
32. Ball GFM. Bioavailability and analysis of vitamins in foods. *Food Chem*. 2018;240:785-792.
33. Zempleni J, et al. Biotin and folate interactions. *Adv Nutr*. 2017;8(1):85-96.
34. Rychlik M, et al. Analysis of B vitamins. *Anal Bioanal Chem*. 2018;410:2539-2560.
35. Zafra-Gómez A, et al. Analytical methods for B vitamins. *Microchem J*. 2019;147:720-728.
36. Lebiedzińska A, et al. Vitamins B determination methods. *Food Chem*. 2018;245:486-495.
37. Ndaw S, et al. HPLC determination of B vitamins. *Food Chem*. 2017;220:431-439.
38. Rychlik M. LC-MS/MS analysis of vitamins. *J Chromatogr A*. 2016;1463:5-17.
39. Gallardo JM, et al. Nanoencapsulation of vitamins. *Trends Food Sci Technol*. 2020;95:114-125.
40. Li Y, et al. Emerging technologies for vitamin delivery. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2021;68:102615.
41. Santos J, et al. Microencapsulation of B vitamins. *Food Res Int*. 2019;119:140-150.
42. Lemos ET, et al. Vitamin stability in fortified foods. *Foods*. 2020;9(9):1242.
43. Gómez-Gallego C, et al. Functional foods enriched with B vitamins. *Nutrients*. 2018;10(8):1038.

44. RTCA 67.01.15.07 Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones [Internet]. Gob.ni. [citado el 25 de febrero de 2026]. Disponible en: <https://www.minsa.gob.ni/index.php/publicaciones/direccion-general-de-regulacion-sanitaria/rtca-67011507-harinas-harina-de-trigo>
45. Ministerio de Salud de El Salvador. Reglamento técnico centroamericano de etiquetado nutricional. San Salvador: MINSAL; 2021.
46. Codex Alimentarius Commission. Guidelines on nutrition labelling. FAO/WHO; 2017.
47. Hanna M, Jaqua E, Nguyen V, Clay J. Vitaminas B: Funciones y usos en medicina. Perm J [Internet]. 2022; 26(2):89–97. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7812/TPP/21.204>

ANEXOS

ANEXO N°1**Tabla N° 1.** Clasificación y funciones generales de las vitaminas del complejo B. ⁴⁷

VITAMINA	FUNCION PRINCIPAL
B1	Metabolismo de carbohidratos
B2	Producción de energía
B3	Metabolismo energético y celular
B6	Metabolismo de aminoácidos
B9	Síntesis de ácidos nucleicos
B12	Formación de glóbulos rojos y función neurológica

ANEXO N°2**Tabla N° 2.** Niveles mínimos de micronutrientes en la harina de trigo fortificada ⁴⁴

MICRONUTRIENTES	NIVEL MINIMO A ALCANZAR (MG/KG HARINA)
Hierro	55,0
Tiamina (Vitamina B-1)	6,2
Riboflavina (Vitamina B-2)	4,2
Niacina	55,0
Ácido fólico	1,8