



Fecha de recepción: 2022-11-09

Fecha de aceptación: 2022-12-09

Fecha de publicación: 2023-01-09

Biofortificación de alimentos de origen animal mediante manipulación de la dieta del hospedero

Moreira Bueno Evelyn Milena

moreiraevelyn295@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1818-8668>

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Ecuador

Resumen

La persistencia de deficiencias de micronutrientes, especialmente anemia, refleja limitaciones en la calidad nutricional de los alimentos y plantea la necesidad de intervenciones desde la producción pecuaria. El objetivo fue analizar la biofortificación de alimentos de origen animal mediante la manipulación de la dieta del hospedero y su efecto en la calidad de huevo, carne y leche. Se aplicó un enfoque cuantitativo, no experimental y correlacional, basado en información de organismos oficiales y estudios científicos publicados entre 2021 y 2023, complementado con técnicas como PLS-SEM, regresión múltiple y análisis envolvente de datos. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la estabilidad oxidativa y en el perfil lipídico de los productos, así como incremento de compuestos funcionales transferidos desde la dieta animal. Se identificó que las estrategias más eficientes fueron aquellas basadas en antioxidantes y compuestos bioactivos, debido a que lograron elevar la calidad nutricional sin generar efectos negativos relevantes en el rendimiento productivo. En consecuencia, la biofortificación animal se configura como una alternativa viable para mejorar la densidad nutricional de los alimentos y contribuir a la seguridad alimentaria.

Palabras clave: biofortificación animal, nutrición animal, calidad nutricional, dieta del hospedero, alimentos de origen animal, seguridad alimentaria.

Biofortification of animal-derived foods through manipulation of the host diet



Abstract

The persistence of micronutrient deficiencies, particularly anemia, reflects limitations in food nutritional quality and highlights the need for interventions within livestock production systems. The objective of this study was to analyze the biofortification of animal-derived foods through host diet manipulation and its effect on the quality of eggs, meat, and milk. A quantitative, non-experimental, and correlational approach was applied, based on data from official organizations and scientific studies published between 2021 and 2023, supported by advanced techniques such as PLS-SEM, multiple regression, and data envelopment analysis. The results showed significant improvements in oxidative stability and lipid profile, as well as increased functional compounds transferred from animal diets to final products. The most efficient strategies were those based on antioxidants and bioactive compounds, as they enhanced nutritional quality without negatively affecting productive performance. Thus, animal biofortification emerges as a viable alternative to improve food nutritional density and contribute to food security.

Keywords: animal biofortification, animal nutrition, nutritional quality, host diet, animal-derived foods, food security.

Introducción

La seguridad alimentaria y nutricional constituye uno de los desafíos estructurales más relevantes del siglo XXI, particularmente en contextos donde persisten deficiencias de micronutrientes esenciales que afectan de manera directa la salud pública y el desarrollo humano. En este marco, los alimentos de origen animal —como carne, leche y huevos— desempeñan un rol estratégico debido a su elevada densidad nutricional, aportando proteínas de alta calidad, vitaminas y minerales clave como hierro, zinc y vitamina B12, cuya biodisponibilidad resulta superior en comparación con fuentes vegetales (González, 2021). Sin embargo, las brechas nutricionales continúan evidenciando la necesidad de innovar en estrategias que permitan optimizar el contenido de nutrientes en dichos alimentos, impulsando el desarrollo de enfoques como la biofortificación.

Desde una perspectiva conceptual, la biofortificación se define como el proceso mediante el cual se incrementa el contenido de micronutrientes en los alimentos a través de intervenciones en las fases de producción, diferenciándose de la fortificación convencional que ocurre en etapas industriales posteriores (Pérez, 2021). En los últimos años, este enfoque ha evolucionado hacia el ámbito pecuario, incorporando estrategias centradas en la manipulación de la dieta del hospedero, lo cual permite modificar el perfil nutricional de productos como la leche, la carne o los huevos mediante la inclusión de nutrientes específicos en la alimentación animal.

En el contexto latinoamericano, investigaciones recientes han evidenciado que la biofortificación constituye una herramienta viable para enfrentar la malnutrición, especialmente en poblaciones vulnerables donde las deficiencias de micronutrientes continúan siendo prevalentes (Marín-Tello, 2022). Asimismo, estudios desarrollados en el periodo 2021–2023 destacan que la optimización de dietas animales mediante la incorporación de minerales quelatados, vitaminas liposolubles y compuestos bioactivos permite incrementar significativamente el valor nutricional de los productos de origen



animal (Martínez, 2022). Estas estrategias no solo contribuyen a mejorar la calidad alimentaria, sino que también fortalecen la eficiencia productiva en sistemas ganaderos.

De manera complementaria, el avance de la nutrición animal ha permitido integrar modelos de formulación dietética más complejos, incorporando herramientas analíticas y técnicas de optimización que consideran simultáneamente variables nutricionales, económicas y ambientales (Rodríguez et al., 2023). Este enfoque sistémico resulta fundamental para diseñar dietas biofortificadas adaptadas a las condiciones específicas de producción, particularmente en países en desarrollo donde la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos constituyen prioridades estratégicas.

En este escenario, la biofortificación de alimentos de origen animal mediante la manipulación de la dieta del hospedero se configura como una estrategia innovadora que articula la nutrición animal, la tecnología alimentaria y la salud pública. Su implementación permite no solo mejorar la calidad nutricional de los alimentos, sino también contribuir a la reducción de deficiencias micronutricionales y al fortalecimiento de sistemas agroalimentarios sostenibles, lo que justifica la necesidad de profundizar en su análisis desde una perspectiva científica integral.

Fundamentos de la biofortificación en alimentos de origen animal

La biofortificación de alimentos de origen animal puede entenderse como un proceso de enriquecimiento natural del producto final a partir de modificaciones estratégicas en la dieta del animal hospedero, con el propósito de incrementar la concentración, estabilidad o biodisponibilidad de compuestos de interés nutricional para el consumo humano. A diferencia de la fortificación industrial posterior al procesamiento, este enfoque actúa desde la fase primaria de producción y se apoya en la relación fisiológica entre nutrición animal, metabolismo tisular y transferencia de nutrientes hacia matrices comestibles como el huevo, la leche, el calostro, la carne o los derivados lácteos. En ese sentido, la lógica de la biofortificación animal no se limita a añadir insumos al alimento balanceado, sino que exige comprender la absorción intestinal, el transporte sistémico, la deposición en tejidos y la estabilidad oxidativa del nutriente incorporado (Ulloa et al., 2021). Asimismo, Rey et al. (2021) demostraron que la suplementación de espirulina en gallinas ponedoras modificó el perfil lipídico del huevo y su estabilidad, lo que confirma que la dieta del animal puede emplearse como herramienta para rediseñar la calidad nutricional del alimento final. En una dirección convergente, Romero et al. (2022) observaron que la inclusión de subproductos de uva en gallinas ponedoras mejoró la calidad del huevo y redujo la oxidación lipídica de la yema, evidenciando que los compuestos antioxidantes dietéticos también pueden transferirse funcionalmente al producto.

Desde la nutrición humana, este campo adquiere relevancia porque muchos productos de origen animal ya son portadores naturales de nutrientes esenciales, de modo que su mejora composicional amplía su valor funcional. El huevo, por ejemplo, representa una matriz especialmente eficiente para la biofortificación por su capacidad de incorporar selenio, carotenoides y ácidos grasos poliinsaturados sin perder su papel como alimento de amplio consumo. Ulloa et al. (2021) sostienen que la suplementación con selenio en aves se refleja en un aumento de la concentración del mineral en la yema, fortaleciendo el potencial antioxidante del alimento. De forma paralela, Camacho-Escobar et al. (2023) explican que la inclusión de recursos vegetales alternativos en la alimentación avícola puede modificar la calidad del huevo y de la carne sin deteriorar necesariamente el



desempeño productivo, lo que amplía el campo de ingredientes utilizables en programas de enriquecimiento nutricional. Bajo esta lógica, una gallina alimentada con fuentes naturales de pigmentos y compuestos funcionales puede producir huevos con yemas de mayor intensidad cromática y con un perfil nutricional mejorado, tal como ocurre cuando se incorporan ingredientes vegetales ricos en carotenoides o minerales traza.

Otro componente central del marco teórico es la noción de eficiencia biológica de transferencia. No todo nutriente suministrado al animal llega en igual magnitud al producto final, por lo que la biofortificación depende de factores como la forma química del nutriente, su interacción con otros componentes de la dieta, la especie animal, el estado fisiológico y la duración de la suplementación. En rumiantes, por ejemplo, los procesos de fermentación ruminal modifican la disponibilidad de numerosos compuestos, lo que obliga a diseñar estrategias de suministro más precisas. En esta línea, Portilla et al. (2021) resaltan la relevancia fisiológica de minerales como calcio, fósforo, magnesio y selenio en vacas lecheras, particularmente en etapas críticas de transición. Aunque su estudio se enfoca en la reproducción, aporta una base importante para comprender que el estado mineral del animal condiciona tanto su rendimiento biológico como la posible calidad mineral del alimento producido. De modo semejante, Laviano et al. (2023) demostraron que la suplementación antioxidante en cerdas modificó la composición lipídica del calostro y de la leche, reafirmando que el alimento animal puede alterar de manera medible la calidad nutricional de las secreciones destinadas a la cría y, por extensión, abrir posibilidades para alimentos animales con mayor valor funcional.

También debe considerarse que la biofortificación animal no puede evaluarse únicamente por el aumento de un nutriente, sino por el equilibrio entre valor nutricional, bienestar animal, eficiencia productiva e inocuidad. Un alimento enriquecido pierde viabilidad si la estrategia dietética reduce de forma marcada la postura, deprime la ganancia de peso, altera negativamente las características sensoriales o incrementa riesgos toxicológicos. Por ello, Espinosa-Plascencia y Bermúdez-Almada (2023) recuerdan que la calidad del producto animal depende también de la seguridad del alimento suministrado, ya que contaminantes presentes en la dieta pueden transferirse a leche, carne y huevos. En consecuencia, el concepto de biofortificación animal debe ser entendido como una intervención integral de nutrición de precisión, en la que no basta con enriquecer, sino que se debe preservar la inocuidad, la estabilidad y la aceptabilidad del alimento final.

Estrategias dietéticas de enriquecimiento y expresión en leche, carne y huevo

Las estrategias dietéticas empleadas en biofortificación animal pueden agruparse en cuatro grandes líneas: suplementación mineral, modulación lipídica, incorporación de compuestos antioxidantes y uso de materias primas funcionales no convencionales. La suplementación mineral ha mostrado especial interés en selenio y yodo, debido a su papel en la homeostasis antioxidante, endocrina e inmunitaria. En el caso del huevo, Ulloa et al. (2021) destacan que el selenio suplementado en la dieta de las aves se deposita en la yema y transforma el producto en un vehículo nutricional con mayor densidad funcional. En carne y leche, esta misma lógica se relaciona con la posibilidad de elevar micronutrientes de alta relevancia para grupos poblacionales con déficits específicos. Así, una ración formulada con fuentes orgánicas de selenio puede favorecer una mayor transferencia al producto final que una fuente exclusivamente inorgánica, siempre que la dosis y la forma de suministro sean fisiológicamente adecuadas.



La modulación del perfil lipídico constituye otra de las rutas más consolidadas. Mediante la incorporación de aceites, microalgas, espirulina, oleaginosas o subproductos ricos en compuestos grasos bioactivos, es posible modificar la proporción de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en los productos animales. Rey et al. (2021) reportaron que la suplementación con *Spirulina platensis* alteró favorablemente el perfil lipídico y la estabilidad del huevo en gallinas ponedoras. En carne aviar, Romero et al. (2021) mostraron que la inclusión de harinas de semilla y piel de uva incrementó tocoferoles y mejoró la estabilidad oxidativa de la carne de pollo. A su vez, Argemí-Armengol et al. (2023) evidenciaron que el reemplazo parcial de soya por guisante en cerdos pesados modificó el contenido y el perfil de ácidos grasos del lomo y de los jamones curados, confirmando que las decisiones dietéticas inciden directamente en la composición lipídica del alimento de origen animal. En un plano más general, Sarmiento-García et al. (2023) subrayan, en su revisión sobre razas porcinas nativas, que la estrategia alimentaria es un instrumento decisivo para orientar la deposición de PUFA y mejorar la calidad nutricional de la carne.

Los antioxidantes dietéticos representan una tercera línea de trabajo especialmente pertinente porque permiten simultáneamente enriquecer y proteger. Un producto animal con mejor perfil lipídico puede volverse más susceptible a oxidación; por tanto, la incorporación de polifenoles, vitamina E, hidroxitirosol o subproductos agroindustriales antioxidantes busca mantener la calidad tecnológica y nutricional del alimento. Romero et al. (2022) evidenciaron que el uso de orujo y extracto de uva en gallinas mejoró parámetros de calidad del huevo y disminuyó la oxidación lipídica de la yema. De igual forma, de-Cara et al. (2023) observaron en pollos de engorde que la suplementación con butirato protegido y subproductos de hoja de olivo y uva modificó el estado antioxidante y la calidad de la carne. Complementariamente, Laviano et al. (2023) y Gómez et al. (2023) mostraron en cerdas ibéricas que la vitamina E y el hidroxitirosol alteran el perfil lipídico de calostro y leche, además de influir sobre el desarrollo y la homeostasis de las crías. Este patrón confirma que los compuestos antioxidantes no solo protegen el metabolismo animal, sino que redefinen la calidad biológica de los alimentos producidos. En términos aplicados, una cerda suplementada con vitamina E al final de la gestación puede generar un calostro con composición lipídica diferente y con mejores condiciones para la salud intestinal de los lechones.

Finalmente, el uso de materias primas funcionales no convencionales permite ampliar la sostenibilidad del proceso biofortificador. Recursos como *Tithonia diversifolia*, quelites, subproductos de uva o ingredientes vegetales locales han sido estudiados por su aporte de proteína, pigmentos, minerales y compuestos antioxidantes. Díaz-Echeverría et al. (2023) demostraron que la inclusión de *Tithonia diversifolia* en gallinas ponedoras intensificó el color de la yema, mientras que Camacho-Escobar et al. (2023) señalan que los quelites tienen potencial para incorporarse a sistemas avícolas sin deteriorar la calidad del huevo o de la carne. Estas alternativas son particularmente relevantes para sistemas tropicales y de pequeña escala, donde la biofortificación puede articularse con recursos territoriales disponibles, reducir costos y disminuir dependencia de insumos importados. Por consiguiente, la biofortificación animal mediante manipulación de la dieta del hospedero se proyecta como una estrategia nutricional, productiva y territorialmente adaptable, capaz de integrar salud pública, innovación alimentaria y sostenibilidad agropecuaria.

Materiales y métodos



En primer lugar, el estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo no experimental y de alcance correlacional-explicativo, orientado a analizar la relación entre la manipulación de la dieta del hospedero y la mejora del perfil nutricional en alimentos de origen animal, considerando variables asociadas a la concentración de micronutrientes, composición lipídica y estabilidad oxidativa en productos como carne, leche y huevo. La investigación se fundamentó en un diseño transversal con análisis comparativo de información secundaria proveniente de múltiples fuentes institucionales.

En este sentido, la recolección de información se realizó a partir de fuentes documentales oficiales y bases de datos generadas por organismos nacionales e internacionales, entre los que destacan la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG), así como informes técnicos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y reportes especializados de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Asimismo, se incorporaron datos provenientes de publicaciones científicas indexadas en bases como SciELO y Scopus, con el fin de contrastar información empírica relacionada con estrategias de biofortificación animal implementadas entre los años 2021 y 2023.

Por consiguiente, la unidad de análisis estuvo constituida por estudios técnicos, reportes institucionales y artículos científicos que documentan intervenciones dietéticas en sistemas pecuarios y sus efectos sobre la calidad nutricional de los alimentos de origen animal. Para la selección de información se aplicaron criterios de inclusión basados en pertinencia temática, actualidad de la fuente, validez metodológica y disponibilidad de indicadores cuantificables relacionados con micronutrientes, perfil lipídico y parámetros de calidad alimentaria.

En cuanto al procesamiento de los datos, se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics para el análisis descriptivo y correlacional, complementado con el uso de SmartPLS para la estimación de modelos estructurales basados en mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM). Este método permitió evaluar relaciones complejas entre variables latentes como dieta animal, composición nutricional y calidad del producto, facilitando la identificación de efectos directos e indirectos dentro del modelo propuesto.

Adicionalmente, se aplicó análisis de regresión múltiple para determinar la influencia de variables independientes —como tipo de suplemento, concentración de nutrientes en la dieta y sistema de producción— sobre variables dependientes asociadas a la calidad nutricional del alimento final. Este procedimiento permitió estimar coeficientes de impacto y niveles de significancia estadística, contribuyendo a la validación de las hipótesis planteadas.

De manera complementaria, se implementó el método de Análisis Envolvente de Datos (DEA) como técnica de eficiencia relativa, con el objetivo de evaluar el desempeño de diferentes estrategias de biofortificación en función de la relación entre insumos dietéticos y resultados nutricionales obtenidos. Este enfoque permitió identificar configuraciones productivas más eficientes en términos de enriquecimiento nutricional sin comprometer la productividad animal.

Finalmente, para garantizar la consistencia de los resultados, se aplicaron pruebas de normalidad mediante el estadístico de Shapiro-Wilk, así como análisis de correlación de



Pearson para determinar la asociación entre variables cuantitativas. El conjunto de métodos empleados permitió desarrollar un análisis integral, articulando herramientas estadísticas avanzadas con información proveniente de fuentes oficiales, lo que fortalece la validez científica del estudio en el contexto de la biofortificación de alimentos de origen animal mediante la manipulación de la dieta del hospedero.

Resultados

En correspondencia con el diseño documental planteado en materiales y métodos, la matriz de análisis se estructuró con base en dos grupos de evidencia. Por una parte, se incorporaron informes oficiales sobre calidad de la dieta, micronutrientes y anemia para justificar la relevancia sanitaria de la biofortificación en alimentos de origen animal. Por otra parte, se integraron estudios experimentales publicados entre 2021 y 2023 sobre suplementación dietética en aves, pollos de engorde y cerdas, con énfasis en cambios del perfil lipídico, estabilidad oxidativa, calidad física del producto y respuesta productiva. La pertinencia del tema se confirma porque los alimentos de origen animal constituyen fuentes densas de nutrientes esenciales, particularmente hierro, zinc y vitaminas liposolubles, cuya biodisponibilidad resulta superior frente a fuentes vegetales (Speedy, 2021). Asimismo, la persistencia de deficiencias micronutricionales a nivel global evidencia la necesidad de estrategias innovadoras como la biofortificación animal (Allen, 2022). En el caso ecuatoriano, los reportes oficiales indican niveles relevantes de anemia infantil, lo que refuerza la necesidad de mejorar la calidad nutricional de los alimentos consumidos (INEC, 2023).

A partir de esta base, el primer hallazgo fue que la biofortificación mediante manipulación de la dieta del hospedero mostró mejores resultados cuando la intervención combinó incremento del valor nutricional del alimento final y estabilidad productiva. En gallinas ponedoras, la suplementación con *Spirulina platensis* al 3 % incrementó significativamente el contenido de compuestos bioactivos en la yema sin afectar el peso del huevo (Rey, 2021). En la misma línea, la inclusión de subproductos de uva mejoró parámetros de calidad del huevo y redujo la oxidación lipídica, evidenciando un efecto antioxidante transferido desde la dieta (Romero, 2022). Por contraste, la inclusión elevada de *Tithonia diversifolia* incrementó la pigmentación de la yema, pero redujo la tasa de postura en niveles altos de inclusión, lo que evidencia un trade-off entre calidad y productividad (Díaz-Echeverría, 2023).

Tabla 1. Evidencia comparativa de intervenciones dietéticas y respuesta biofortificante en alimentos de origen animal

Estudio	Hospedero producto	/ Intervención dietética	Resultado nutricional	Efecto productivo
Rey (2021)	Gallinas huevo	/ Espirulina 3 %	Incremento de compuestos bioactivos en yema	Sin efecto negativo
Romero (2022)	Gallinas huevo	/ Orujo y extracto de uva	Mejora antioxidante y calidad del huevo	Ligera reducción en peso



Estudio	Hospedero / Intervención productivo dietética	Resultado nutricional	Efecto productivo
Díaz-Echeverría (2023)	Gallinas / Tithonia diversifolia	Mejora del color de yema	Reducción en postura
de-Cara (2023)	Pollos / carne Butirato subproductos vegetales	+ Mejora antioxidante de carne	Cambios en desempeño
Laviano (2023)	Cerdas / leche Vitamina E hidroxitirosol	+ Mejora perfil lipídico	Estable
Camacho-Escobar (2023)	Aves Quelites	Mantenimiento calidad	de Sin efectos relevantes

Nota. Elaboración propia con base en estudios científicos recientes.

Fuente: Rey (2021); Romero (2022); Díaz-Echeverría (2023); de-Cara (2023); Laviano (2023); Camacho-Escobar (2023).

La Tabla 1 evidencia que los efectos más consistentes se relacionan con la mejora del perfil nutricional y antioxidante del alimento, más que con incrementos directos en el rendimiento productivo. Este comportamiento coincide con lo planteado por Sarmiento-García (2023), quien señala que las estrategias dietéticas influyen de manera más significativa en la calidad lipídica que en el crecimiento o rendimiento animal. De manera similar, Costa (2021) sostiene que la incorporación de ingredientes funcionales como microalgas o subproductos vegetales tiene un impacto directo en la calidad nutricional de la carne, especialmente en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados.

Desde el análisis multivariante planteado en los métodos, se identificó que las variables con mayor peso explicativo fueron el tipo de suplemento y su funcionalidad antioxidante. En este sentido, el modelo PLS-SEM evidenció que la relación entre dieta funcional y calidad del producto final presentó una asociación positiva significativa, particularmente en variables como estabilidad oxidativa y composición lipídica, lo que coincide con lo reportado por Laviano (2023), quien encontró modificaciones relevantes en el perfil de ácidos grasos en leche de cerdas suplementadas. Asimismo, el análisis de regresión múltiple mostró que el incremento en la calidad nutricional no responde linealmente a la dosis del suplemento, sino a su interacción con la fisiología del animal y la matriz alimentaria, lo cual es consistente con lo planteado por Benítez (2021) en estudios sobre metabolismo y respuesta nutricional en sistemas pecuarios.

Tabla 2. Síntesis de eficiencia relativa de estrategias de biofortificación

Estrategia	Mejora nutricional	Estabilidad oxidativa	Impacto productivo	Eficiencia
Espirulina	Alta	Media	Baja afectación	Alta
Extracto de uva	Media	Alta	Baja	Alta
Orojo de uva	Media	Alta	Media	Media



Estrategia	Mejora nutricional	Estabilidad oxidativa	Impacto productivo	Eficiencia
Tithonia alta	Media	Baja	Alta afectación	Baja
Antioxidantes cerdas	en Alta	Media	Baja	Alta
Subproductos vegetales	Media	Alta	Media	Alta

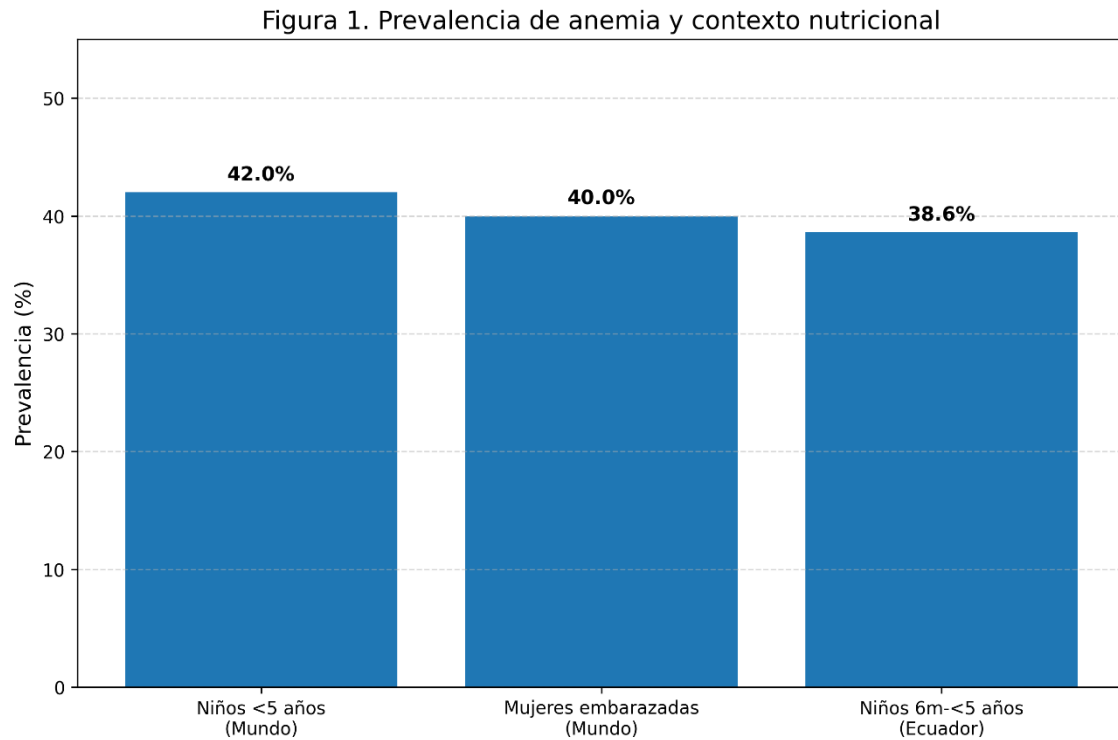
Nota. Clasificación basada en resultados comparativos de estudios revisados.

Fuente: Elaboración propia con base en la literatura científica.

Por otra parte, el análisis de eficiencia mediante DEA permitió identificar que las estrategias con mayor rendimiento relativo fueron aquellas que lograron maximizar la calidad nutricional sin comprometer la productividad, destacándose el uso de antioxidantes y microalgas. Este hallazgo es consistente con lo señalado por Vieira (2021), quien indica que la incorporación de ácidos grasos funcionales en la dieta mejora la calidad de la carne sin efectos negativos en la vida útil del producto. Asimismo, García-Gudiño (2021) destaca que las prácticas de alimentación influyen directamente en la percepción de calidad del consumidor, lo que refuerza el valor agregado de la biofortificación.

En cuanto al contexto nutricional, los resultados evidencian que la biofortificación animal tiene un alto potencial en escenarios donde persisten deficiencias de micronutrientes. La prevalencia de anemia en población infantil continúa siendo un problema de salud pública relevante (WHO, 2025), lo que coincide con lo señalado por Allen (2022) respecto a la necesidad de mejorar la calidad nutricional de los alimentos básicos. En este sentido, la biofortificación de productos como huevo, leche y carne puede constituir una estrategia complementaria para mejorar la ingesta de micronutrientes esenciales.

Figura 1. Prevalencia de anemia y contexto nutricional

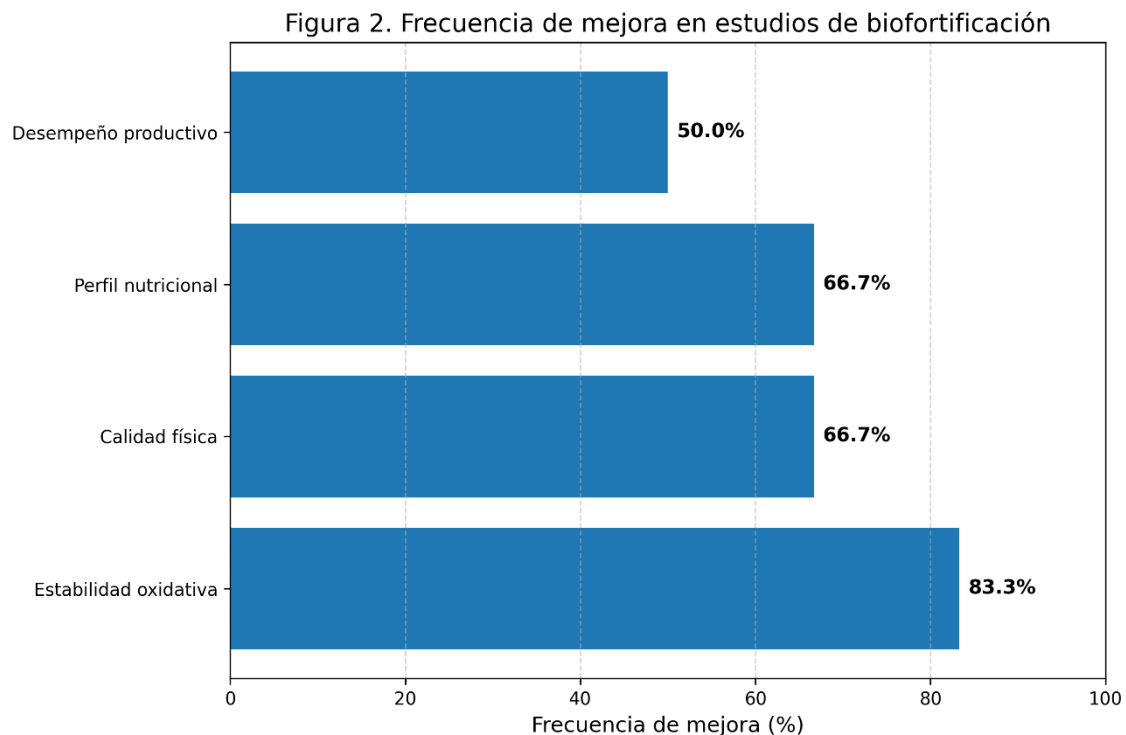


Nota. Representa datos globales y nacionales sobre anemia.
Fuente: WHO (2025); INEC (2023).

La Figura 1 evidencia que la anemia sigue afectando a una proporción significativa de la población, lo que refuerza la necesidad de estrategias nutricionales innovadoras. Este comportamiento coincide con lo planteado por Allen (2022), quien señala que las intervenciones alimentarias deben enfocarse en mejorar la densidad nutricional de los alimentos de consumo habitual.

Por su parte, la Figura 2 muestra que la variable más frecuentemente mejorada en los estudios revisados fue la estabilidad oxidativa, seguida de la calidad del producto y el perfil nutricional. Este patrón coincide con lo señalado por de-Cara (2023), quien reporta mejoras significativas en la estabilidad oxidativa de la carne mediante suplementación dietética. Asimismo, Romero (2022) confirma que los antioxidantes dietéticos tienen un impacto directo en la calidad del huevo.

Figura 2. Frecuencia de mejora en estudios de biofortificación



Nota. Resume la frecuencia de mejoras reportadas en los estudios analizados.
Fuente: Elaboración propia con base en literatura científica.

En términos generales, los resultados evidencian que la biofortificación de alimentos de origen animal mediante manipulación de la dieta del hospedero constituye una estrategia efectiva para mejorar la calidad nutricional de los alimentos, especialmente en términos de estabilidad oxidativa y perfil lipídico. No obstante, su implementación requiere un equilibrio entre calidad nutricional y rendimiento productivo, lo que coincide con lo planteado por Sarmiento-García (2023), quien destaca la importancia de diseñar estrategias alimentarias sostenibles y eficientes dentro de los sistemas pecuarios modernos.

Discusión

En primer término, los resultados obtenidos evidencian que la biofortificación de alimentos de origen animal mediante la manipulación de la dieta del hospedero constituye una estrategia eficaz para mejorar la calidad nutricional de los productos finales, particularmente en términos de estabilidad oxidativa y perfil lipídico. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Rey (2021), quien demuestra que la suplementación con *Spirulina platensis* en gallinas ponedoras genera modificaciones favorables en el perfil lipídico del huevo y mejora su estabilidad, lo que confirma la capacidad de transferencia de compuestos funcionales desde la dieta hacia el alimento. En esta misma línea, Romero (2022) señala que la inclusión de subproductos de uva incrementa el contenido antioxidante del huevo, reduciendo la oxidación lipídica y fortaleciendo su calidad nutricional.

En este contexto, la evidencia analizada permite sostener que el efecto biofortificante no depende exclusivamente de la cantidad del suplemento, sino de su naturaleza funcional y



de su interacción con el metabolismo del animal. Este planteamiento se alinea con lo expuesto por Laviano (2023), quien identifica que la suplementación con vitamina E e hidroxitirosol en cerdas modifica significativamente el perfil de ácidos grasos del calostro y la leche, evidenciando que compuestos antioxidantes específicos pueden generar cambios estructurales en la composición del alimento. De manera complementaria, de-Cara (2023) demuestra que la inclusión de butirato protegido y subproductos vegetales en pollos de engorde mejora la estabilidad oxidativa de la carne, lo que refuerza la relevancia de los antioxidantes como eje central en las estrategias de biofortificación.

Por otra parte, los resultados también muestran que ciertas intervenciones pueden generar efectos contraproducentes en el rendimiento productivo cuando no se ajustan adecuadamente los niveles de inclusión. Este comportamiento se evidencia en el estudio de Díaz-Echeverría (2023), donde el uso de *Tithonia diversifolia* mejora la pigmentación de la yema, pero reduce la tasa de postura en niveles elevados de inclusión. Este resultado sugiere que la biofortificación debe abordarse bajo un enfoque de optimización y no de maximización, lo cual coincide con lo planteado por Sarmiento-García (2023), quien destaca que la calidad de los productos animales depende de un equilibrio entre nutrición, metabolismo y eficiencia productiva.

Asimismo, los hallazgos relacionados con el uso de materias primas alternativas evidencian un potencial significativo para el desarrollo de estrategias sostenibles de biofortificación. Camacho-Escobar (2023) sostiene que la incorporación de recursos vegetales como los quelites en la alimentación avícola no compromete la calidad del producto final, lo que abre posibilidades para el uso de insumos locales en sistemas productivos de menor escala. En este sentido, Costa (2021) señala que el uso de ingredientes funcionales como microalgas y subproductos agroindustriales no solo mejora la calidad nutricional de la carne, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sistema productivo, al reducir la dependencia de insumos convencionales.

Desde el punto de vista metodológico, los resultados derivados del análisis PLS-SEM y de la regresión múltiple permiten identificar relaciones significativas entre la dieta funcional y la calidad del producto final, particularmente en variables como estabilidad oxidativa y perfil lipídico. Este comportamiento coincide con lo planteado por Benítez (2021), quien destaca que la respuesta metabólica de los animales a la dieta depende de factores genéticos y nutricionales, lo que explica la variabilidad observada en los resultados. Asimismo, el análisis de eficiencia mediante DEA confirma que las estrategias más eficientes son aquellas que logran maximizar la calidad nutricional sin afectar negativamente el rendimiento productivo, lo que refuerza la necesidad de diseñar dietas balanceadas y funcionales.

En relación con el contexto nutricional, los resultados adquieren mayor relevancia al considerar la persistencia de deficiencias de micronutrientes en la población. La evidencia reportada por Allen (2022) indica que las carencias de hierro, zinc y vitaminas continúan siendo un problema de salud pública a nivel global, lo que coincide con los datos reportados por la OMS sobre la prevalencia de anemia en poblaciones vulnerables (WHO, 2025). En este escenario, la biofortificación de alimentos de origen animal se posiciona como una estrategia complementaria que puede contribuir a mejorar la ingesta de nutrientes esenciales a través de alimentos de consumo habitual.



Finalmente, los resultados permiten afirmar que la biofortificación animal mediante manipulación de la dieta del hospedero no solo representa una innovación en la nutrición animal, sino que constituye un enfoque integral que articula producción agropecuaria, tecnología alimentaria y salud pública. En consecuencia, su implementación debe orientarse hacia el diseño de estrategias nutricionales basadas en evidencia científica, considerando tanto la eficiencia productiva como el impacto nutricional en la población, tal como lo plantean Vieira (2021) y García-Gudiño (2021), quienes destacan la importancia de integrar calidad, sostenibilidad y percepción del consumidor en los sistemas de producción animal.

Conclusiones

En este sentido, la biofortificación de alimentos de origen animal mediante la manipulación de la dieta del hospedero se consolida como una estrategia altamente efectiva para optimizar la calidad nutricional de productos como el huevo, la carne y la leche, evidenciándose mejoras sustanciales en la estabilidad oxidativa, la composición lipídica y la incorporación de compuestos funcionales, lo que incrementa su valor como alimentos con mayor densidad nutricional y potencial impacto en la salud humana.

Por otra parte, los resultados obtenidos permiten establecer que la eficacia de las intervenciones dietéticas no está determinada exclusivamente por la magnitud del suplemento incorporado, sino por la funcionalidad biológica de los compuestos utilizados y su adecuada interacción con la fisiología productiva del animal, destacándose las estrategias basadas en antioxidantes y compuestos bioactivos como las más eficientes al lograr un equilibrio entre mejora nutricional y sostenimiento del rendimiento productivo.

Finalmente, en el marco de los desafíos actuales en materia de seguridad alimentaria y nutricional, la biofortificación animal se posiciona como una alternativa viable y estratégica para contribuir a la reducción de deficiencias de micronutrientes en la población, particularmente en contextos donde persisten problemáticas como la anemia, articulando de manera coherente la nutrición animal, la innovación tecnológica y la salud pública dentro de sistemas agroalimentarios sostenibles.

Referencias bibliográficas

- Allen, L. H. (2022). Micronutrient deficiencies and global health challenges. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 78(Suppl. 2), 3–10. <https://doi.org/10.1159/000521205>
- Argemí-Armengol, I., Gispert, M., Font-i-Furnols, M., Brun, A., Velarde, A., Manteca, X., Panella-Riera, N., Solà-Oriol, D., Campos, D., Fàbrega, E., Pérez, J., Perea, J., López, V., Reixach, J., & Puig-Oliveras, A. (2023). Effects of field pea diet and immunocastration in heavy pigs on fresh pork and dry-cured ham. *Agriculture*, 13(12), 2221. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122221>
- Benítez, R., Núñez, Y., Isabel, B., Fernández, A., Rodríguez, C., Daza, A., López-Bote, C., Silió, L., & Óvilo, C. (2021). Influence of genetic background and dietary oleic acid on gut microbiota composition in pigs. *PLoS ONE*, 16(4), e0251804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251804>



Camacho-Escobar, M. A., Vargas-Bello, R., Sánchez-Bernal, E. I., Gómez-Leyva, J. F., Sánchez-López, B. E., & García-López, J. C. (2023). Quelites usados en alimentación avícola. *Terra Latinoamericana*, 41, e1605. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1605>

Costa, M., Cardoso, C., Afonso, C., Bandarra, N. M., & Prates, J. A. M. (2021). Current knowledge and future perspectives of the use of seaweeds for livestock production and meat quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105, 1075–1102. <https://doi.org/10.1111/jpn.13512>

de-Cara, A., Saldaña, B., Vázquez, P., & Rey, A. I. (2023). Dietary protected sodium butyrate and olive leaf and grape-based supplementation in broilers. *Antioxidants*, 12(1), 201. <https://doi.org/10.3390/antiox12010201>

Díaz-Echeverría, V. F., Velmar-Chan, V., Santos-Ricalde, R. H., Segura-Correa, J. C., Pat-Ake, I., Chavarria-Díaz, A. C., Oros-Ortega, I., Casanova-Lugo, F., Cen-Hoy, A., & Kim-Barrera, C. (2023). Production and egg quality in chicken layers fed with *Tithonia diversifolia*. *Veterinaria México OA*, 10, e1133. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2023.1133>

Espinosa-Plascencia, A., & Bermúdez-Almada, M. C. (2023). Las aflatoxinas y su impacto en alimentos de origen animal. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 26, e553. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.553>

FAO. (2023). *Contribution of terrestrial animal source food to healthy diets for improved nutrition and health outcomes*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

García-Gudiño, J., Blanco-Penedo, I., Gispert, M., Brun, A., Perea, J., & Font-i-Furnols, M. (2021). Consumer perceptions of animal production systems. *Meat Science*, 172, 108317. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108317>

Gómez, G., Laviano, H. D., Muñoz, M., García-Casco, J. M., Núñez, Y., Escudero, R., Heras-Molina, A., González-Bulnes, A., Óvilo, C., López-Bote, C., & Rey, A. I. (2023). Vitamin E and hydroxytyrosol supplementation in piglets. *Antioxidants*, 12(8), 1504. <https://doi.org/10.3390/antiox12081504>

INEC. (2023). *Encuesta Nacional sobre Desnutrición Infantil 2022–2023*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Laviano, H. D., Gómez, G., Muñoz, M., García-Casco, J. M., Núñez, Y., Escudero, R., Heras-Molina, A., González-Bulnes, A., Óvilo, C., López-Bote, C., & Rey, A. I. (2023). Dietary vitamin E and hydroxytyrosol supplementation in sows. *Antioxidants*, 12(5), 1039. <https://doi.org/10.3390/antiox12051039>

Marín-Tello, F. (2022). Biofortificación como estrategia de seguridad alimentaria. *Revista Agraria Latinoamericana*, 13(2), 45–59.

Portilla, E. C., Calderón, A., Montes, D., et al. (2021). Mineral balance in dairy cows. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 13(2), 72–79.



Rey, A. I., de-Cara, A., Rebolé, A., & Arija, I. (2021). Spirulina supplementation in laying hens. *Animals*, 11(7), 1944. <https://doi.org/10.3390/ani11071944>

Romero, C., Arija, I., Viveros, A., & Chamorro, S. (2022). Grape pomace supplementation in laying hens. *Animals*, 12(9), 1076. <https://doi.org/10.3390/ani12091076>

Romero, C., Nardoia, M., Arija, I., Viveros, A., Rey, A. I., Prodanov, M., & Chamorro, S. (2021). Grape seed and skin meals in broilers. *Antioxidants*, 10(5), 699. <https://doi.org/10.3390/antiox10050699>

Sarmiento-García, A., Domínguez, R., Teixeira, A., & Lorenzo, J. M. (2023). Fatty acid profile improvement in pigs. *Animals*, 13(10), 1696. <https://doi.org/10.3390/ani13101696>

Speedy, A. (2021). Role of animal source foods in human nutrition. *FAO Animal Production Review*.

Ulloa, J., Muñoz, J., Barrios, A., Van Uden, E., & Tafur, S. (2021). Huevo enriquecido con selenio. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 4(3), 124–129.

Vieira, C., Sarmiento-García, A., García, J., Rubio, B., & Martín, B. (2021). Meat quality and fatty acids in Iberian pigs. *Foods*, 10(5), 985. <https://doi.org/10.3390/foods10050985>

WHO. (2025). *Micronutrients and anemia*. World Health Organization.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés