

PERSPECTIVA CIENTÍFICA Y REVISIÓN TRASLACIONAL

Diseño de dietas infantiles con minimización de plaguicidas desde la fase de materia prima

Un marco de control en origen para la seguridad alimentaria en las primeras etapas de la vida y el papel potencial de las tecnologías minerales de control de plagas basadas en bicarbonato ACARISIN™ y ECO-EFF™

José M. López, BSc, MD, PhD, LLD (C)

Dirección Técnica y de I+D, INTABIOTECH, España | ND Pharma & Biotech Co., Reino Unido

Tipo de artículo	Revisión narrativa, análisis regulatorio, perspectiva traslacional y marco de validación
Ámbitos principales	Nutrición infantil • toxicología alimentaria • entomología de productos almacenados • Derecho alimentario/fitosanitario de la UE • GIP • sostenibilidad
Estilo de referencias	APA 7.ª edición
Versión	Manuscrito de trabajo preparado para publicación • 30 de agosto de 2026

Tesis central. El valor científicamente defendible de ACARISIN™/ECO-EFF™ reside en la posibilidad de hacer innecesarias determinadas intervenciones convencionales con plaguicidas. Dado que las formulaciones mantienen una arquitectura mineral basada en bicarbonato y utilizan un procesado propietario para aumentar el rendimiento, en lugar de crear una nueva molécula plaguicida, el precedente regulatorio y toxicológico establecido en la UE para el hidrogenocarbonato de sodio es directamente pertinente para su evaluación, sujeto a la especificación del producto, el uso previsto y los requisitos de autorización aplicables.

Resumen

Los lactantes y los niños de corta edad están sujetos a una protección especialmente estricta frente a los residuos de plaguicidas, porque las primeras etapas de la vida combinan una elevada ingesta de alimentos en relación con el peso corporal, una diversidad dietética restringida y un desarrollo fisiológico todavía en curso. Esta arquitectura precautoria no debe presentarse erróneamente como prueba de que los alimentos infantiles modernos sean, en términos generales, inseguros: la vigilancia de la Unión Europea (UE) correspondiente a 2024 no encontró residuos cuantificados en el 83,4 % de 1.546 muestras de alimentos para lactantes y niños de corta edad y clasificó como no conformes el 0,9 % una vez considerada la incertidumbre de medida; por su parte, un estudio de cesta de mercado de la U.S. Food and Drug Administration de 2023–2025 no detectó plaguicidas en el 99 % de 312 muestras de preparados para

lactantes analizadas frente a 318 plaguicidas. Por tanto, la oportunidad de mejora no reside en el alarmismo, sino en prevenir aportaciones químicas evitables. Este artículo desarrolla un modelo de control en origen para cereales y otras materias primas duraderas utilizadas directa o indirectamente en las dietas infantiles. Los insectos y ácaros de productos almacenados siguen siendo causas importantes de pérdidas cuantitativas y cualitativas, y su control depende con frecuencia de fumigantes o insecticidas residuales. Las tecnologías minerales e inertes ofrecen un modo de acción alternativo o complementario ya establecido dentro de la gestión integrada de plagas (GIP), aunque su rendimiento depende de la formulación, la materia prima, la plaga y las condiciones ambientales. ACARISIN™ y ECO-EFF™ se consideran aquí sistemas minerales propietarios basados en bicarbonato, en los que se conserva la estructura mineral subyacente mientras el procesado está destinado a reforzar el rendimiento funcional. Esta distinción es materialmente relevante en la UE, porque el hidrogenocarbonato de sodio (CAS 144-55-8) está aprobado tanto como sustancia básica como en calidad de sustancia activa de bajo riesgo conforme al Reglamento (CE) n.º 1107/2009 y está expresamente permitido para la protección fitosanitaria en producción ecológica con arreglo a las normas de ejecución vigentes. El artículo propone tres constructos traslacionales —Diseño de Materias Primas Seguras para la Alimentación Infantil (ISRMD, por sus siglas en inglés), Presupuesto de Exposición a Plaguicidas (PEB, por sus siglas en inglés) e Índice de Tratamientos con Plaguicidas Evitados (APTI, por sus siglas en inglés)—, así como un programa multicéntrico de validación de no inferioridad y desplazamiento de tratamientos con plaguicidas. La hipótesis central es falsable: cuando un sistema mineral basado en bicarbonato proporciona un control de plagas no inferior y sustituye una intervención convencional con plaguicidas, la aportación de plaguicida derivada de ese tratamiento y el potencial de residuos asociado se previenen por diseño. Esta proposición requiere validación analítica, de eficacia, de seguridad laboral, tecnológica y regulatoria específica del producto, pero ofrece una vía rigurosa para evolucionar desde el cumplimiento de los límites de residuos hacia la prevención de la exposición.

Palabras clave: nutrición infantil; residuos de plaguicidas; hidrogenocarbonato de sodio; bicarbonato; ACARISIN; ECO-EFF; gestión integrada de plagas; insectos de productos almacenados; seguridad de las materias primas; sustancia activa de bajo riesgo; producción ecológica; desplazamiento de plaguicidas; prevención de la exposición.

Aspectos destacados

- La vigilancia de la UE en 2024 muestra un elevado cumplimiento en los alimentos para lactantes y niños de corta edad; la justificación de una reducción adicional de plaguicidas es la mejora continua, no la afirmación de un peligro generalizado.
- El hidrogenocarbonato de sodio cuenta con un precedente regulatorio inusualmente sólido en la UE: reconocimiento de su carácter alimentario y como sustancia básica (2015), aprobación como sustancia activa de bajo riesgo (2020) e inclusión expresa para protección fitosanitaria ecológica (2023).
- Dado que ACARISIN™/ECO-EFF™ preservan la identidad mineral basada en bicarbonato mientras el procesado propietario mejora su rendimiento, ese precedente regulatorio y toxicológico es directamente pertinente; la autorización del producto y del uso concreto sigue siendo una cuestión jurídica diferenciada.
- La afirmación de producto más sólida es «intervención con plaguicidas evitada»: el control en origen debe medirse frente a un programa convencional de almacenamiento.
- El artículo propone ISRMD, PEB y APTI como herramientas verificables para el aprovisionamiento, la formulación y el diseño del control poscosecha de plagas en alimentos infantiles.

1. Introducción: del cumplimiento de los límites de residuos a la prevención de la exposición

Los plaguicidas son herramientas biológicamente activas que protegen los cultivos y los alimentos almacenados frente a organismos capaces de provocar pérdidas sustanciales, deterioro de la calidad y problemas de seguridad alimentaria. Por ello, la cuestión científica pertinente no es si todo uso de plaguicidas es intrínsecamente indeseable, sino si cada intervención aporta un beneficio neto y si una alternativa de menor peligrosidad o no convencional puede proporcionar una protección equivalente. La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2022) reconoce expresamente ambas vertientes de este equilibrio: los plaguicidas desempeñan un papel importante en la producción de alimentos, pero su actividad biológica intrínseca exige una regulación, un control y una vigilancia de residuos rigurosos.

Esta distinción es especialmente importante en nutrición infantil. Los límites máximos de residuos (LMR) son límites de control establecidos tras la evaluación toxicológica, la evaluación de la exposición dietética y la consideración de las buenas prácticas agrícolas; detectar una sustancia por debajo de un LMR no equivale a demostrar toxicidad. Del mismo modo, el cumplimiento regulatorio no excluye la optimización tecnológica. Cuando un tratamiento químico puede evitarse de forma segura y fiable, la ausencia de esa intervención elimina una fuente potencial de residuos, exposición laboral, presión selectiva para resistencias y carga ambiental.

El presente trabajo reformula, por tanto, la pregunta. En lugar de limitarse a determinar si el alimento infantil final cumple un límite de residuos, plantea si la cadena de materias primas puede diseñarse de modo que determinadas intervenciones evitables con plaguicidas no lleguen a producirse. Se trata de un enfoque prospectivo, orientado a la ingeniería de la seguridad química de los alimentos: la prevención se desplaza aguas arriba, hacia el aprovisionamiento agrícola, el almacenamiento poscosecha y la manipulación de ingredientes, mientras que el análisis del producto final conserva su función como etapa de verificación y no como único mecanismo de control.

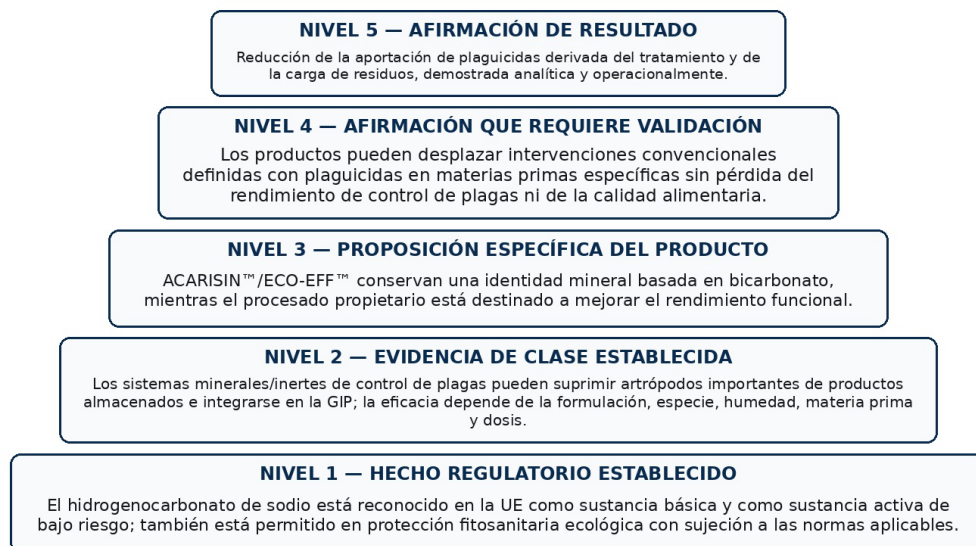
2. Alcance, terminología y disciplina de la evidencia

Este artículo es una revisión científica narrativa, un análisis regulatorio y un marco traslacional, no una revisión sistemática ni un metaanálisis. Integra fuentes primarias y autorizadas de EFSA, Comisión Europea, EPA, FDA, Codex Alimentarius y OMS con literatura revisada por pares sobre exposición temprana a plaguicidas, biomonitorización en dietas ecológicas, gestión de plagas de productos almacenados, resistencia a fosfina y tecnologías de control minerales/inertes.

Se separan deliberadamente cuatro niveles de evidencia. En primer lugar, existen hechos regulatorios consolidados relativos al hidrogenocarbonato de sodio. En segundo lugar, existe evidencia a nivel de clase para los sistemas minerales e inertes de control de plagas. En tercer lugar, existen hechos específicos de producto relativos a la arquitectura basada en bicarbonato y al procesamiento propietario de ACARISIN™/ECO-EFF™. En cuarto lugar, existen afirmaciones de resultado específicas del producto —como el desplazamiento de un programa convencional de insecticidas— que deben demostrarse experimentalmente. Confundir estos niveles debilitaría el artículo; mantenerlos separados genera una argumentación falsable y defendible desde el punto de vista regulatorio.

A lo largo del manuscrito, «minimización de plaguicidas» significa reducción de intervenciones evitables con plaguicidas y/o de residuos derivados del tratamiento sin comprometer el control de plagas, la seguridad microbiológica, la calidad nutricional, el rendimiento tecnológico, la asequibilidad o la seguridad del suministro alimentario. No significa la eliminación indiscriminada de todos los plaguicidas ni implica que los residuos traza que cumplen la normativa sean inseguros.

ESCALERA DE LA EVIDENCIA A LA AFIRMACIÓN



El manuscrito separa deliberadamente el precedente regulatorio, la evidencia de clase, los hechos específicos del producto y las afirmaciones que todavía requieren validación independiente.

Figura 1. Escalera de la evidencia a la afirmación utilizada en este artículo. El precedente regulatorio y la evidencia de clase sustentan la plausibilidad; el desplazamiento específico del producto y los resultados sobre residuos requieren validación específica.

3. Por qué la exposición dietética en las primeras etapas de la vida merece una atención especial

3.1 Fisiología del desarrollo y patrones de exposición

Los lactantes no son simplemente adultos pequeños. La función gastrointestinal, el aclaramiento renal, los sistemas enzimáticos hepáticos, la composición corporal, la regulación inmunitaria y el desarrollo neurológico cambian rápidamente durante los primeros meses y años de vida. La sensibilidad es específica de cada plaguicida, no universal; aun así, la combinación de ventanas de desarrollo y patrones de exposición particulares justifica una evaluación específica. El dictamen científico de EFSA sobre plaguicidas en alimentos para lactantes y niños de corta edad concluyó que el enfoque toxicológico convencional exige una atención especial en lactantes menores de 16 semanas y evaluó la adecuación de los valores de referencia basados en la salud para este grupo etario (EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues [PPR Panel], 2018).

La ingesta de alimentos por kilogramo de peso corporal también es elevada en las primeras etapas de la vida. EFSA utilizó en su evaluación un consumo elevado de preparado para lactantes de aproximadamente 260 g/kg de peso corporal/día. Una concentración de 0,01 mg/kg en un alimento consumido a razón de 0,260 kg/kg de peso corporal/día corresponde aritméticamente a 0,0026 mg/kg de peso corporal/día. Este cálculo sencillo ilustra por qué límites de residuos que parecen extremadamente bajos cuando se expresan como concentración en el alimento siguen requiriendo una interpretación toxicológica cuidadosa cuando el consumidor tiene un peso corporal muy reducido y una ingesta por kilogramo elevada.

La diversidad dietética restringida constituye otro elemento relevante. Durante la alimentación complementaria, los cereales, los productos lácteos, las frutas y las verduras pueden representar una proporción sustancial de la ingesta total. Por ello, una exposición repetida procedente de un conjunto limitado de ingredientes puede adquirir mayor relevancia que en una dieta adulta diversificada, aunque el

riesgo deba seguir evaluándose sustancia por sustancia y frente a los valores de referencia basados en la salud que correspondan.

3.2 Toxicología del desarrollo sin alarmismo

La literatura epidemiológica ha descrito asociaciones entre determinadas exposiciones prenatales o infantiles a plaguicidas y resultados del neurodesarrollo. Una revisión sistemática de la exposición a organofosforados identificó señales consistentes en varios dominios neuroconductuales, pero también una heterogeneidad considerable en la medición de la exposición y en la evaluación de los resultados (Muñoz-Quezada et al., 2013). Una revisión sistemática más reciente sobre exposición posnatal a plaguicidas de uso actual encontró igualmente asociaciones heterogéneas y subrayó la necesidad de estudios longitudinales, capaces de considerar mezclas y con una caracterización de la exposición más robusta (Viglietti et al., 2026).

Estos estudios no demuestran que los residuos traza por debajo de los límites legales en alimentos infantiles conformes causen enfermedad del neurodesarrollo. La inferencia correcta es más limitada: las ventanas del desarrollo pueden ser toxicológicamente importantes y reducir exposiciones evitables constituye un objetivo legítimo de optimización del riesgo. El manuscrito rechaza, por tanto, tanto la complacencia como la quimiofobia.

4. Qué muestra realmente la vigilancia contemporánea

4.1 Unión Europea: datos de 2024 sobre alimentos para lactantes y niños de corta edad

El informe integral más reciente de EFSA ofrece resultados tranquilizadores. En 2024, los países declarantes analizaron 1.546 muestras de alimentos para lactantes y niños de corta edad. De ellas, 1.290 muestras (83,4 %) no contenían ningún residuo cuantificado; 227 (14,7 %) contenían residuos en concentraciones iguales o superiores al límite analítico de cuantificación (LOQ), pero iguales o inferiores al LMR aplicable; 29 (1,9 %) superaron un LMR; y 14 muestras (0,9 %) fueron finalmente clasificadas como no conformes tras considerar la incertidumbre de medida (EFSA et al., 2026).

Resultado 2024 en alimentos UE para lactantes/niños de corta edad	Muestras	Proporción
Sin residuos cuantificados	1.290	83,4 %
Cuantificados ≥ LOQ pero ≤ LMR	227	14,7 %
Superación de LMR	29	1,9 %
No conformes tras considerar la incertidumbre de medida	14	0,9 %

Tabla 1. Resultados de EFSA correspondientes a 2024 para 1.546 muestras de alimentos destinados a lactantes y niños de corta edad (EFSA et al., 2026).

La tasa de cuantificación del 14,7 % no debe interpretarse como una contaminación del 14,7 % por plaguicidas convencionales. EFSA señaló que el incremento estuvo impulsado en gran medida por el cobre; también fueron relevantes los residuos relacionados con fosetil/fosfonatos y el clorato. El cobre tiene usos nutricionales y agrícolas, mientras que el clorato puede originarse en procesos de higienización. El glifosato se analizó en 429 muestras de alimentos para lactantes y niños de corta edad y todos los resultados se situaron por debajo del LOQ (EFSA et al., 2026).

En el conjunto más amplio del programa de vigilancia de la UE, EFSA concluyó que el riesgo dietético agudo y crónico estimado se mantuvo bajo para la mayoría de las sustancias y grupos de población evaluados. Por tanto, una estrategia de minimización de plaguicidas debe entenderse como una propuesta de mejora de calidad superpuesta a un sistema regulatorio ya protector, y no como evidencia de que dicho sistema haya fracasado.

4.2 Estados Unidos: análisis recientes de preparados para lactantes

El estudio de cesta de mercado de la FDA de 2023–2025 analizó 312 muestras de preparados para lactantes, correspondientes a 16 marcas y varios lotes, frente a 318 plaguicidas. No se detectó ningún plaguicida en 309 muestras (99 %); no se detectaron glifosato ni glufosinato en ninguna muestra. Solo tres muestras contenían sustancias relacionadas con plaguicidas en concentraciones detectables, todas ellas muy bajas (U.S. Food and Drug Administration [FDA], 2026).

Este conjunto de datos estadounidense refuerza aún más la premisa central: la justificación científica de ACARISIN™/ECO-EFF™ no debe depender de presentar los preparados para lactantes como un problema importante de residuos de plaguicidas. La oportunidad se encuentra aguas arriba, especialmente en las materias primas destinadas a alimentos complementarios y en la incorporación progresiva a la dieta familiar, donde los productos convencionales pasan a dominar crecientemente la exposición.

5. Arquitectura regulatoria: Unión Europea, Estados Unidos y Codex

Sistema	Arquitectura regulatoria	Principio para lactantes/niños	Implicación para el control en origen
Unión Europea	Normas específicas de residuos para alimentos infantiles más legislación general sobre LMR	LMR por defecto de 0,01 mg/kg por sustancia activa para preparados para lactantes/preparados de continuación y alimentos infantiles elaborados a base de cereales, con disposiciones más estrictas para determinadas sustancias	La cualificación de materias primas y el historial de tratamientos son esenciales porque los alimentos terminados deben cumplir especificaciones de residuos excepcionalmente bajas.
Estados Unidos	Tolerancias EPA por plaguicida/cultivo conforme a la FFCA modificada por la FQPA	«Certeza razonable de ausencia de daño»; se consideran expresamente la exposición agregada y los riesgos especiales para lactantes/niños; factor adicional 10× salvo que los datos justifiquen otro	No existe un único LMR universal para alimentos infantiles; la prevención complementa la tolerancia específica de cada plaguicida y la evaluación de riesgos.
Codex Alimentarius	Norma internacional respaldada por la evaluación de riesgos de JMPR	Los preparados para lactantes deben elaborarse de modo que los residuos de plaguicidas necesarios durante la producción, almacenamiento o procesamiento no permanezcan o se reduzcan al máximo técnicamente posible	Apoyo conceptual directo para minimizar aportaciones de plaguicidas derivadas del almacenamiento cuando sea técnicamente viable.

Tabla 2. Comparación de las principales lógicas regulatorias relevantes para los residuos de plaguicidas en alimentos infantiles.

5.1 LMR de la Unión Europea para alimentos infantiles

El Reglamento Delegado (UE) 2016/127 de la Comisión establece que los preparados para lactantes y los preparados de continuación no deberán contener residuos de plaguicidas individuales superiores a 0,01 mg/kg, sin perjuicio de excepciones específicas y de disposiciones más restrictivas para determinadas sustancias activas. La Directiva 2006/125/CE aplica el mismo criterio general de 0,01 mg/kg a los alimentos elaborados a base de cereales y a los alimentos infantiles. La legislación está expresamente configurada en torno a niveles de residuos muy bajos y convierte la selección de materias primas en un punto de control esencial (European Commission, 2006, 2016).

Estos límites no equivalen a los LMR genéricos de muchos alimentos destinados a adultos y no deben interpretarse como si 0,011 mg/kg fuera intrínsecamente tóxico mientras que 0,009 mg/kg fuera seguro. Se trata de límites regulatorios deliberadamente conservadores y específicos para productos destinados a una población vulnerable.

5.2 Estados Unidos: FQPA y el estándar de «certeza razonable de ausencia de daño»

Con arreglo a la sección 408 de la Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, la EPA establece tolerancias para los residuos de plaguicidas y debe determinar que la exposición agregada ofrece una «certeza razonable de ausencia de daño» (“reasonable certainty of no harm”). La evaluación considera expresamente la toxicidad, las vías de exposición dietéticas y no dietéticas y los riesgos especiales para lactantes y niños (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2026a).

La FQPA introdujo asimismo un factor adicional de seguridad de diez veces para lactantes y niños, salvo que evidencia fiable justifique un factor diferente (EPA, 2026b). Este marco es específico para cada plaguicida y no se basa en un LMR universal para alimentos infantiles, pero su principio subyacente es análogo: la exposición en las primeras etapas de la vida merece una consideración explícita y conservadora.

5.3 Codex: la importancia del almacenamiento y el procesado

La norma Codex CXS 72-1981 es especialmente pertinente para la tesis de este artículo porque extiende el principio de control de residuos de plaguicidas más allá de la producción en campo. La norma exige que los preparados para lactantes se elaboren con especial cuidado y conforme a buenas prácticas de fabricación, de manera que los residuos de plaguicidas necesarios durante la producción, el almacenamiento o el procesado de las materias primas o ingredientes terminados no permanezcan o, cuando sean técnicamente inevitables, se reduzcan al máximo posible (Codex Alimentarius Commission, 1981/2024). En términos conceptuales, esto constituye ya un mandato de control en origen.

6. La exposición dietética a plaguicidas es modificable

Los estudios controlados de intervención dietética aportan evidencia mecanística útil de que las elecciones alimentarias pueden modificar de forma material la exposición interna a plaguicidas. Lu et al. (2006) sustituyeron durante cinco días la mayoría de los alimentos convencionales de 23 niños por alternativas ecológicas y observaron descensos rápidos de metabolitos urinarios asociados a malatión y clorpirifos, con recuperación de las concentraciones al reintroducir los alimentos convencionales. Bradman et al. (2015) también comunicaron reducciones de varios biomarcadores de plaguicidas durante una fase de dieta ecológica en niños pequeños. Hyland et al. (2019) extendieron estas observaciones a varias clases de plaguicidas en niños y adultos y describieron reducciones significativas de múltiples metabolitos urinarios o compuestos parentales tras una intervención con dieta ecológica.

Estos estudios no demuestran que las dietas ecológicas mejoren los resultados clínicos ni que toda exposición a plaguicidas convencionales sea perjudicial. Su relevancia en este contexto es más acotada y robusta: la exposición dietética a plaguicidas es modificable. Una estrategia de control en origen simplemente desplaza esa modificación más arriba en la cadena, desde la decisión de compra del consumidor hasta el diseño de la producción agrícola y del proceso poscosecha.

7. Las materias primas almacenadas como punto crítico de control

Los cereales, legumbres, semillas, harinas, materiales derivados del cacao, frutos secos, frutas deshidratadas y otros ingredientes duraderos pueden permanecer almacenados durante meses. Los insectos y ácaros de productos almacenados pueden provocar pérdidas directas de masa, daños en los granos, contaminación por fragmentos y excretas, calentamiento, redistribución de humedad, pérdida de

calidad tecnológica y facilitación del deterioro fúngico. Entre las plagas relevantes se encuentran *Sitophilus* spp., *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium* spp., *Oryzaephilus* spp., *Cryptolestes* spp., *Trogoderma* spp., *Plodia interpunctella* y ácaros de almacenamiento como *Tyrophagus putrescentiae*.

El objetivo legítimo, por tanto, no es «no controlar las plagas». Es proporcionar una protección equivalente o superior con la menor carga global toxicológica, laboral, ambiental y de resistencia. Este es el ámbito clásico de la gestión integrada de plagas (GIP): saneamiento, exclusión física, monitorización, gestión de temperatura y humedad, control físico, tecnologías minerales/inertes, atmósferas controladas, herramientas biológicas y —cuando resulte necesario— plaguicidas convencionales o fumigantes autorizados.

8. Por qué son importantes las alternativas a los insecticidas convencionales de productos almacenados

La fosfina sigue siendo uno de los fumigantes más importantes del mundo para productos almacenados por su bajo coste, amplio espectro de eficacia, capacidad de penetración y compatibilidad con numerosos sistemas de almacenamiento. No debe descartarse como una tecnología obsoleta. Sin embargo, la resistencia se ha convertido en una limitación global de primer orden. Nayak et al. (2020) revisaron el aumento de la prevalencia y gravedad de la resistencia a fosfina, mientras que un metaanálisis global posterior confirmó una resistencia extensa en las principales especies de plagas de productos almacenados (Machuca-Mesa et al., 2024).

La diversificación de los mecanismos de control constituye, por tanto, un objetivo de gestión de resistencias además de un objetivo de minimización de residuos. Las tecnologías físicas y fisicoquímicas ejercen presiones de selección distintas de las de los insecticidas convencionales dirigidos a dianas específicas y pueden reducir la dependencia de un conjunto limitado de modos de acción químicos.

9. Tecnologías minerales e inertes de control de plagas: base científica

La base científica de los materiales minerales e inertes para la protección de productos almacenados está bien establecida como clase tecnológica. Las tierras de diatomeas y otros materiales minerales relacionados pueden actuar mediante adsorción de los lípidos epicuticulares, alteración de la cutícula, abrasión y aumento de la pérdida transcuticular de agua, dando lugar a desecación y supresión poblacional. Su actividad es predominantemente física/fisicoquímica y no corresponde a la neurotoxicidad clásica (Guru et al., 2022; Athanassiou et al., 2025).

Los ensayos semicampo han demostrado una supresión prolongada de varias especies importantes de insectos de productos almacenados. Rigopoulou et al. (2023) mostraron que la tierra de diatomeas aplicada a trigo duro suprimía durante cuatro meses tanto insectos introducidos artificialmente como poblaciones naturales, bajo condiciones ambientales fluctuantes, aunque se observó un efecto sobre la densidad aparente del grano. Mortazavi et al. (2025) comunicaron una intensa supresión a largo plazo de *Sitophilus granarius*, *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium confusum* en trigo tratado con un producto comercial de tierra de diatomeas durante periodos de hasta un año en las condiciones evaluadas.

Esta evidencia de clase es relevante, pero no puede utilizarse como demostración directa para ACARISIN™/ECO-EFF™. Las formulaciones minerales difieren en composición química, características de superficie, distribución granulométrica, dosis, sistema portador y comportamiento ambiental. La humedad, la temperatura, la materia prima y la especie de plaga pueden modificar de forma material el rendimiento (Athanassiou et al., 2025).

10. ACARISIN™ y ECO-EFF™: de «nuevo plaguicida» a sistema mineral tecnológicamente reforzado

La documentación técnica pública describe ACARISIN™ como una formulación sometida a procesamiento tecnológico, basada en ingredientes minerales autorizados de grado alimentario, cuya tecnología propietaria Single Grain Fusion Technology constituye una característica central del proceso de fabricación (ND Pharma & Biotech, 2025a). La documentación técnica histórica identifica una composición basada en hidrogenocarbonato de sodio junto con componentes minerales y una fracción antiapelmazante, y describe etapas de purificación, cristalización y procesamiento propietario (ND Pharma & Biotech, 2014). ECO-EFF™ se presenta como una formulación relacionada y reforzada, destinada a ofrecer mayor persistencia y rendimiento funcional bajo condiciones ambientales más exigentes (ND Pharma & Biotech, 2025b).

La aclaración científica clave aportada para este trabajo es que el proceso propietario no pretende crear una nueva molécula plaguicida: se mantiene la estructura mineral subyacente basada en bicarbonato y el proceso refuerza su rendimiento funcional. Esta distinción es importante porque la cuestión regulatoria pasa a ser la continuidad de la identidad/especificación de la sustancia activa y la autorización del producto/uso, y no su clasificación automática como una sustancia activa químicamente no relacionada.

Por ello, este artículo utiliza el término «sistema mineral basado en bicarbonato» en lugar de sugerir una nueva química plaguicida sintética. La proposición mecanística más sólida es que el procesamiento propietario modifica el rendimiento de una plataforma mineral reconocida —potencialmente mediante características de partícula, superficie, matriz, dispersión, persistencia o interacción— al tiempo que preserva la identidad mineral subyacente. Cualquier afirmación mecanística más específica puede sustentarse mediante datos analíticos y fisicoquímicos, y las características específicas del producto formulado están descritas en la información pública difundida por el productor.

11. Posición regulatoria del hidrogenocarbonato de sodio en la UE y por qué es directamente relevante

11.1 Reconocimiento como sustancia básica

El Reglamento de Ejecución (UE) 2015/2069 de la Comisión aprobó el hidrogenocarbonato de sodio (CAS 144-55-8) como sustancia básica en virtud del Reglamento (CE) n.º 1107/2009. La Comisión señaló expresamente que la sustancia cumple los criterios de un alimento conforme al Reglamento (CE) n.º 178/2002, que no se utiliza predominantemente con fines de protección fitosanitaria y que, no obstante, resulta útil en protección fitosanitaria (European Commission, 2015). Este precedente es especialmente importante porque concilia formalmente el carácter alimentario con la funcionalidad fitosanitaria.

11.2 Aprobación como sustancia activa de bajo riesgo

El Reglamento de Ejecución (UE) 2020/1263 de la Comisión aprobó posteriormente el hidrogenocarbonato de sodio como sustancia activa de bajo riesgo. La Comisión indicó que no es una sustancia preocupante y que cumple los criterios de bajo riesgo del anexo II del Reglamento (CE) n.º 1107/2009 (European Commission, 2020). Esto proporciona una segunda vía regulatoria diferenciada, en la que la sustancia no solo se reconoce como sustancia básica, sino también como sustancia activa de bajo riesgo aprobada para protección fitosanitaria.

11.3 Producción ecológica

La relevancia se extiende a la producción ecológica. El Reglamento de Ejecución (UE) 2023/2229 de la Comisión señaló que el hidrogenocarbonato de sodio ya figuraba como sustancia básica utilizable en

producción ecológica y añadió que, dado que también es una sustancia de bajo riesgo conforme al Reglamento (CE) n.º 1107/2009, debía autorizarse igualmente como sustancia de bajo riesgo para la protección fitosanitaria en producción ecológica (European Commission, 2023). El anexo consolidado del Reglamento de Ejecución (UE) 2021/1165 incluye el hidrogenocarbonato de sodio (CAS 144-55-8) entre las sustancias activas de bajo riesgo permitidas para protección fitosanitaria ecológica, con sujeción a las condiciones aplicables.

11.4 Continuidad de identidad tras un proceso de fabricación propietario

La existencia de un procesado propietario no significa, por sí misma, que la sustancia activa se convierta en una nueva entidad química. El artículo 29.1.b) del Reglamento (CE) n.º 1107/2009 contempla expresamente una sustancia activa producida por una fuente distinta o por la misma fuente con un cambio en el proceso y/o en el lugar de fabricación. Entre las cuestiones relevantes se encuentran si la especificación resultante se desvía significativamente de la especificación aprobada y si las impurezas generadas por el proceso modificado producen efectos perjudiciales adicionales (European Parliament & Council, 2009).

Esta disposición es altamente relevante para ACARISIN™/ECO-EFF™ en la medida en que la caracterización analítica confirma que el proceso propietario preserva la identidad del hidrogenocarbonato de sodio y la pureza/especificación pertinente al tiempo que mejora propiedades funcionales. Bajo esa premisa fáctica, la historia regulatoria y toxicológica del hidrogenocarbonato de sodio no es meramente análoga: pasa a ser directamente pertinente para la evaluación de la base mineral activa.

Subsiste, no obstante, una cuestión jurídica separada: la aprobación de una sustancia activa no equivale a la autorización de todo producto fitosanitario formulado, de cualquier alegación, organismo diana, pauta de aplicación o uso jurisdiccional. El artículo distingue, por ello, entre (a) la continuidad de la identidad de la sustancia activa y la transferibilidad del precedente científico existente como sustancia básica/de bajo riesgo, y (b) la vía jurídica específica requerida para el producto propietario y el uso previsto. Esta distinción no debilita el argumento regulatorio; es precisamente lo que le confiere solidez jurídica.

Hecho regulatorio	Significado jurídico para la evaluación de ACARISIN™/ECO-EFF™ basados en bicarbonato	Qué requiere verificación
2015: hidrogenocarbonato de sodio aprobado como sustancia básica en la UE	Reconocimiento formal de que un alimento puede desempeñar una función fitosanitaria.	Si el uso propuesto se encuadra en la vía de sustancia básica y en sus condiciones.
2020: aprobado como sustancia activa de bajo riesgo	Precedente toxicológico/regulatorio sólido para el propio mineral activo.	Especificación del producto, impurezas, formulación y autorización del producto cuando proceda.
2023: autorizado expresamente como sustancia de bajo riesgo para protección fitosanitaria ecológica	Respalda la compatibilidad del mineral activo con las normas de producción ecológica bajo condiciones jurídicas específicas.	Certificación/autorización del producto y uso concretos; cumplimiento de las normas ecológicas y de la aplicación nacional.
El art. 29 del Reg. 1107/2009 reconoce cambios en los procesos de fabricación	Un proceso propietario no implica necesariamente una nueva sustancia activa si se demuestran continuidad de especificación y seguridad del perfil de impurezas.	Prueba analítica de que el proceso modificado preserva la identidad/especificación pertinente y no introduce un perfil adicional de impurezas perjudiciales.

Tabla 3. Argumento de continuidad regulatoria para un sistema mineral propietario basado en hidrogenocarbonato de sodio.

12. Condición de grado alimentario, seguridad oral y límites de la extrapolación

La condición de grado alimentario tiene un valor científico claro, pero no debe extrapolarse en exceso. La seguridad oral de un ingrediente no determina automáticamente la seguridad laboral por inhalación, el comportamiento ambiental o la clasificación jurídica cuando ese mismo material se utiliza intencionadamente para el control de plagas. La distribución granulométrica, la pulverulencia, las impurezas, el método de aplicación y la vía de exposición son factores relevantes.

Cuando estén presentes dióxido de silicio (E551) u otros componentes minerales de grado alimentario, sus especificaciones pertinentes deben considerarse de manera individual. La reevaluación de EFSA de 2024 sobre dióxido de silicio concluyó que los usos autorizados como aditivo alimentario no planteaban problemas de seguridad a los niveles de uso notificados, incluido el contexto infantil evaluado, al tiempo que recomendó un control más estricto de determinadas impurezas y abordó incertidumbres persistentes relativas a las fracciones nanométricas (EFSA Panel on Food Additives and Flavourings [FAF Panel], 2024). La enseñanza es metodológica: el carácter «grado alimentario» respalda la evaluación de seguridad, pero la especificación exacta y la exposición siguen siendo esenciales.

Para una publicación centrada en materias primas destinadas a alimentos infantiles, el expediente del producto debería incluir, como mínimo, el ensayo y la identidad del mineral activo, la distribución granulométrica, la caracterización de sílice cristalina cuando proceda, arsénico, plomo, cadmio, mercurio y otras impurezas pertinentes, criterios microbiológicos, pulverulencia y evidencia de que el procesamiento propietario no genera nuevos productos de reacción con relevancia toxicológica.

13. Qué puede afirmarse legítimamente que hacen ACARISIN™/ECO-EFF™

Categoría de afirmación	Formulación científicamente defendible	Estado
Composición/tecnología	Sistemas minerales basados en bicarbonato cuya estructura mineral subyacente se mantiene mientras el procesado propietario está destinado a mejorar el rendimiento funcional.	Hecho específico del producto que debe documentarse analíticamente.
Relevancia regulatoria	El precedente de la UE para el hidrogenocarbonato de sodio como sustancia básica y sustancia activa de bajo riesgo es directamente pertinente cuando se demuestra continuidad de identidad/especificación.	Argumento científico-regulatorio sólido.
Reducción de plaguicidas	Puede reducir o sustituir determinadas intervenciones convencionales con plaguicidas cuando se demuestre un control de plagas equivalente.	Afirmación específica del producto verificable experimentalmente.
Prevención de residuos	Un tratamiento convencional con plaguicidas que ha sido desplazado no puede generar el residuo derivado de ese tratamiento.	Consecuencia lógica.
Eliminación de plaguicidas	Elimina residuos de plaguicidas ya presentes en la materia prima.	No sustentado salvo que estudios específicos de degradación/adsorción lo demuestren.
Producto terminado «libre de plaguicidas»	Garantiza la ausencia de todos los residuos de plaguicidas bajo determinadas condiciones de producción y control.	Solo defendible si la ausencia de plaguicidas se demuestra a lo largo de todo el proceso de producción, teniendo en cuenta posibles residuos de origen previo, deriva, transporte o contaminación cruzada.

Categoría de afirmación	Formulación científicamente defendible	Estado
Estatus ecológico universal	Autorizado automáticamente para todos los usos ecológicos en cualquier país.	No defendible; siguen siendo relevantes las reglas específicas del producto/uso y de cada jurisdicción.

Tabla 4. Disciplina de alegaciones para publicación científica y comunicación B2B.

14. Proposición mecanística central: evitar plaguicidas, no eliminar residuos ya presentes

La ventaja conceptual decisiva de una estrategia de sustitución mineral es su simplicidad causal. Si una aplicación de insecticida o fumigante convencional no se produce porque un programa alternativo proporciona un control adecuado, los residuos atribuibles a ese tratamiento no se introducen. Esto no exige afirmar que el producto alternativo detoxifique o elimine residuos procedentes de tratamientos agrícolas previos.

Esta distinción también protege el artículo frente a una carga de prueba innecesaria. Demostrar la eliminación de cientos de posibles moléculas plaguicidas sería química y analíticamente complejo. Demostrar el desplazamiento de un tratamiento de almacenamiento definido es operacionalmente abordable: basta comparar los registros de tratamiento, la sustancia activa utilizada por tonelada, los resultados de control de plagas y los perfiles finales de residuos entre el programa de referencia y los programas mineral/GIP.

15. Marco propuesto I: Diseño de Materias Primas Seguras para la Alimentación Infantil (ISRMD)

Se propone el Diseño de Materias Primas Seguras para la Alimentación Infantil (ISRMD, por sus siglas en inglés) como una arquitectura de cadena de suministro en seis capas, en la que la prevención de contaminantes se integra en el diseño de las materias primas en lugar de dejarse exclusivamente al análisis del producto terminado. El marco no sustituye el APPCC, la garantía de proveedores ni la vigilancia legal de residuos; conecta esos sistemas en torno a un objetivo explícito de prevención de la exposición.

Capa 1 — Diseño agrícola: priorizar prácticas agronómicas y proveedores que minimicen el uso innecesario de plaguicidas preservando al mismo tiempo la seguridad del cultivo y el rendimiento.

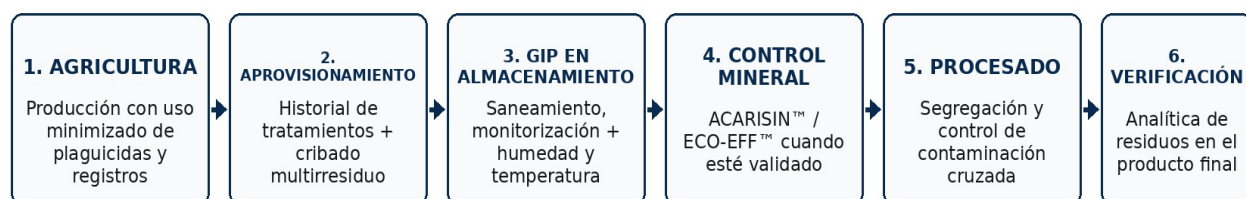
Capa 2 — Cualificación del historial de tratamientos: obtener historiales documentados de sustancias activas, fumigaciones y tratamientos de almacenamiento.

Capa 3 — Cualificación analítica de entrada: aplicar especificaciones multirresiduo y análisis dirigidos adecuados para alimentos infantiles.

Capa 4 — Prevención de la exposición poscosecha: desplegar saneamiento, control ambiental, monitorización y tecnologías minerales/físicas validadas antes de recurrir a un tratamiento químico correctivo.

Capa 5 — Logística segregada: prevenir la contaminación cruzada procedente de materias primas tratadas, transporte, molinos y almacenes.

Capa 6 — Verificación del producto final: confirmar que las medidas de control en origen se traducen en el perfil de residuos y contaminantes previsto.



DISEÑO DE MATERIAS PRIMAS SEGURAS PARA LA ALIMENTACIÓN INFANTIL (ISRMD)

Desplazar el punto de control aguas arriba: evitar → sustituir → monitorizar → verificar

Resultado: menor aportación evitable de plaguicidas sin comprometer el control de plagas, la seguridad alimentaria, la calidad ni la resiliencia de la cadena de suministro

El marco se propone como modelo de investigación y aprovisionamiento; no sustituye el cumplimiento legal de los LMR ni la autorización del producto.

Figura 2. Diseño de Materias Primas Seguras para la Alimentación Infantil (ISRMD): arquitectura propuesta de control en origen para cadenas de suministro de alimentos infantiles con minimización de plaguicidas.

16. Marco propuesto II: Presupuesto de Exposición a Plaguicidas (PEB)

Para la optimización interna de formulación y aprovisionamiento, un Presupuesto de Exposición a Plaguicidas (PEB, por sus siglas en inglés) puede complementar —pero nunca sustituir— los LMR legales y la evaluación del riesgo dietético. Para el plaguicida j a través de n ingredientes:

$$PEB_j = \sum_i (C_{ij} \times IR_i) / BW$$

donde C_{ij} es la concentración del plaguicida j en el ingrediente i , IR_i es la ingesta diaria esperada del ingrediente i y BW es el peso corporal. Cuando exista un valor de referencia basado en la salud (HBGV) apropiado, la exposición estimada puede normalizarse como porcentaje de dicho HBGV. El valor del constructo es práctico: permite a los equipos de compras distinguir entre dos lotes de ingredientes legalmente conformes que contribuyen de forma muy diferente al perfil global de residuos/exposición de una formulación.

El PEB debe ser conservador, transparente y específico de cada sustancia. No debe implicar aditividad toxicológica entre plaguicidas no relacionados, salvo que un grupo de evaluación acumulativa validado o un mecanismo común justifique dicha agregación.

17. Marco propuesto III: Índice de Tratamientos con Plaguicidas Evitados (APTÍ)

El análisis del producto terminado no captura los tratamientos que se evitaron con éxito. Se propone el Índice de Tratamientos con Plaguicidas Evitados (APTÍ, por sus siglas en inglés) para cuantificar el desplazamiento de intervenciones químicas frente a un programa convencional de referencia definido:

$$APTÍ = [(T_{ref} - T_{alt}) / T_{ref}] \times 100$$

donde Tref es el número de eventos de tratamiento convencional con plaguicidas en el programa de referencia validado y Talt es el número requerido tras implantar el programa alternativo. Una versión ponderada puede incorporar gramos de sustancia activa por tonelada y, tras su validación metodológica, una ponderación de peligro o riesgo. Hasta que tal ponderación se valide, los criterios principales más transparentes son el número de tratamientos evitados y los gramos de sustancia activa convencional evitados por tonelada protegida satisfactoriamente.

18. Programa propuesto de validación industrial

18.1 Objetivo e hipótesis del estudio

El estudio decisivo debe ser un ensayo de desplazamiento de tratamientos con plaguicidas y no únicamente un ensayo de mortalidad de insectos. La hipótesis primaria es que un programa de almacenamiento que incorpore ACARISIN™/ECO-EFF™ puede lograr un control no inferior de plagas predefinidas de productos almacenados y, simultáneamente, reducir de forma significativa la intervención convencional con plaguicidas. La hipótesis nula debe establecer que el programa alternativo o bien no alcanza la no inferioridad en el control de plagas, o bien no reduce de forma material el uso de plaguicidas convencionales.

18.2 Diseño

Estudio prospectivo, controlado, replicado y, preferentemente, multicéntrico, de escala industrial o semiindustrial.

Materias primas prioritarias: trigo, avena, arroz y maíz, por su relevancia en la alimentación complementaria infantil y su riesgo de plagas durante el almacenamiento en seco.

Aleatorización a nivel de celda, silo, palé, lote o unidad de almacenamiento cuando sea operacionalmente factible.

Margen de no inferioridad predefinido y basado en umbrales comerciales de daño por plagas, no en conveniencias estadísticas definidas a posteriori.

Seguimiento suficiente para cubrir una duración realista de almacenamiento y al menos un ciclo generacional completo de la plaga bajo las condiciones ambientales esperadas.

18.3 Brazos experimentales

Brazo	Programa	Finalidad
A	Control sin tratamiento/solo monitorización cuando sea ética y operacionalmente aceptable	Define la dinámica natural de infestación y los cambios de calidad de fondo.
B	Programa convencional validado de la instalación	Referencia para control de plagas, aportación de sustancia activa y coste.
C	ACARISIN™/ECO-EFF™ + saneamiento/monitorización estándar	Estima la contribución del producto bajo gestión rutinaria.
D	GIP reforzada: tecnología mineral + monitorización intensificada + control ambiental + tratamiento correctivo activado por umbral	Evalúa el sistema completo de minimización de plaguicidas y no solo el rendimiento del producto.

Tabla 5. Brazos experimentales propuestos para un ensayo de validación de desplazamiento de tratamientos con plaguicidas.

18.4 Organismos diana y covariables ambientales

Un panel básico debe incluir plagas primarias y secundarias representativas, como *Sitophilus oryzae*/S. granarius, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* y *Cryptolestes* spp.; *Tyrophagus putrescentiae* debe incluirse cuando los ácaros sean comercialmente relevantes. La temperatura de la materia prima, la humedad del grano, la actividad de agua, la humedad relativa, la duración del almacenamiento, la infestación inicial, la aireación y el historial de tratamientos deben registrarse de forma continua o periódica e incorporarse a los modelos estadísticos.

18.5 Variables de resultado primarias y secundarias

Dominio	Variables de resultado primarias	Por qué importa
Control de plagas	Insectos vivos/kg; progenie F1; capturas en trampas; granos dañados; tiempo hasta fallo del control	Demuestra una protección no inferior y no únicamente mortalidad a corto plazo.
Desplazamiento químico	Eventos de tratamiento convencional; fumigaciones; g de sustancia activa/t; APTI	Evalúa directamente la afirmación central de minimización de plaguicidas.
Residuos	Perfil multiresiduo por GC-MS/MS + LC-MS/MS en T0–T5	Verifica si el desplazamiento operacional se traduce en prevención de residuos.
Tecnología alimentaria	Densidad aparente; fluidez; rendimiento de molienda; color; hidratación; viscosidad; variables sensoriales/de reconstitución	Evita que una ganancia en control de plagas se convierta en una pérdida de calidad alimentaria.
Contaminantes	Metales pesados, impurezas minerales relevantes, sílice cristalina cuando proceda, microbiología y micotoxinas	Garantiza que no se intercambie un riesgo por otro.
Seguridad laboral	Pulverulencia, fracción respirable, exposición del operario, EPI/controles de ingeniería	Separa la seguridad oral alimentaria de la exposición por inhalación.
Economía	Coste total/t protegida satisfactoriamente; coste por tratamiento convencional evitado	Determina la escalabilidad comercial.

Tabla 6. Conjunto mínimo de variables de resultado para un programa creíble de validación industrial.

18.6 Arquitectura de muestreo de residuos

T0 — materia prima de entrada antes del tratamiento de almacenamiento.

T1 — inmediatamente después de aplicar la estrategia de almacenamiento asignada.

T2 — fase intermedia de almacenamiento.

T3 — final del almacenamiento.

T4 — después de la molienda/procesado.

T5 — prototipo de alimento infantil terminado o matriz final representativa.

Este diseño longitudinal es importante porque un resultado terminal aislado no permite distinguir los residuos que ya estaban presentes al entrar en almacenamiento de aquellos introducidos durante el propio almacenamiento. Los datos del historial de tratamientos y el análisis temporalmente resuelto permiten establecer una atribución causal.

18.7 Plan estadístico

La eficacia del control de plagas debe analizarse como un problema de no inferioridad. Los modelos de efectos mixtos pueden incorporar tratamiento, materia prima, tiempo, temperatura, humedad e infestación inicial como efectos fijos, y la instalación/unidad de almacenamiento como efectos aleatorios. El tiempo hasta el fallo del control de plagas puede analizarse mediante métodos de supervivencia. Los datos de recuento pueden requerir modelos binomiales negativos o modelos con inflación de ceros.

Los conjuntos de datos de residuos contendrán numerosos valores por debajo del LOQ y, por tanto, deben analizarse mediante métodos apropiados para datos censurados, en lugar de asignar ceros arbitrarios o valores equivalentes a la mitad del LOQ sin análisis de sensibilidad. Las variables de desplazamiento de tratamientos deben analizarse tanto como número de eventos como en términos de masa de sustancia activa por tonelada. Los planes de análisis estadístico definidos a priori y el uso de laboratorios analíticos cegados reforzarían de forma material la credibilidad de la publicación.

19. Caracterización del producto requerida antes de su posicionamiento en alimentación infantil

Identidad y ensayo confirmados del hidrogenocarbonato de sodio y de los demás componentes minerales declarados.

Comparación de la especificación posterior al proceso con las especificaciones aprobadas/de grado alimentario pertinentes.

Perfil de impurezas, incluidos arsénico, plomo, cadmio, mercurio y otros contaminantes inorgánicos relevantes.

Distribución granulométrica y caracterización de la fracción nanométrica cuando resulte científicamente pertinente.

Caracterización de sílice cristalina cuando proceda.

Pulverulencia y perfil de exposición laboral por inhalación.

Especificaciones microbiológicas.

Estabilidad y reproducibilidad entre lotes.

Evidencia fisicoquímica de que el proceso propietario mejora el rendimiento preservando la identidad mineral subyacente.

Nivel de uso específico para cada materia prima y compatibilidad tecnológica.

Esta caracterización no constituye una carga regulatoria innecesaria. Es la evidencia que convierte la premisa fáctica clave —«la estructura mineral se mantiene, pero se refuerza mediante el proceso»— en una proposición científica publicable.

20. La oportunidad en producción ecológica

La posición explícita del hidrogenocarbonato de sodio en el marco de producción ecológica de la UE refuerza materialmente la relevancia estratégica de una plataforma mineral basada en bicarbonato. Demuestra que el ordenamiento de la UE no trata la sustancia únicamente como un compuesto alimentario

ordinario, sino que reconoce una función fitosanitaria compatible con la producción ecológica bajo las condiciones aplicables (European Commission, 2023).

Para ACARISIN™/ECO-EFF™, sin embargo, la formulación científicamente más sólida no es «ecológico automáticamente en cualquier lugar». Es que la base mineral activa dispone de una vía establecida compatible con la protección fitosanitaria ecológica y que una formulación propietaria que preserve esa identidad puede evaluarse dentro de ese contexto regulatorio favorable. La certificación, la autorización del producto y el uso concreto previsto deben seguir verificándose en cada jurisdicción.

Además, el productor (ND Pharma–INTABIOTECH) ha desarrollado una formulación específica etiquetada como ACARISIN™/ECO-EFF™ Organic EU, concebida para adaptarse al marco regulatorio europeo aplicable a producción ecológica mediante la selección de componentes compatibles con dicho ámbito normativo. Su utilización y comunicación comercial deben mantenerse vinculadas a las condiciones de certificación, autorización y uso que resulten aplicables.

21. Riesgo laboral y ambiental: evitar una afirmación de seguridad unidimensional

Un artículo robusto debe resistir la tentación de describir un polvo mineral simplemente como «no tóxico». Esta expresión puede utilizarse de forma coloquial para comunicar una baja peligrosidad en determinadas condiciones de uso, pero la toxicidad depende de la dosis, la vía de exposición y la forma fisicoquímica. Los operarios que manipulan polvos pueden experimentar exposiciones por inhalación que no son comparables con la exposición oral del consumidor a través del alimento terminado. Por ello, la reducción de polvo, los sistemas de dosificación cerrada, la extracción localizada y los equipos de protección individual (EPI) adecuados deben integrarse en la gestión responsable del producto. En consecuencia, cualquier referencia a «no toxicidad» debe circunscribirse al contexto de exposición que la evidencia sustente y no extrapolarse sin más a intermediarios u operarios potencialmente expuestos durante el uso industrial.

La superioridad ambiental debe demostrarse igualmente a nivel de sistema. La extracción de minerales, el procesado, el transporte y la aplicación generan cargas ambientales. La comparación adecuada es la carga de ciclo de vida por tonelada de alimento utilizable protegida con éxito, incorporando las pérdidas de alimento evitadas, el tratamiento químico desplazado, el consumo energético, el envasado, el transporte y los residuos. Una tecnología de minimización de plaguicidas debe resultar preferible porque el sistema completo sea mejor, no porque el término «mineral» se equipare retóricamente a «inocuo».

22. Micotoxinas y seguridad microbiológica: los beneficios secundarios deben demostrarse por separado

Los insectos de productos almacenados pueden contribuir indirectamente al deterioro fúngico al dañar los granos, redistribuir esporas y alterar localmente la humedad y la temperatura. Por tanto, una supresión eficaz de insectos puede reducir algunas condiciones que favorecen el desarrollo de mohos. Esto no significa que una tecnología de control de insectos prevenga automáticamente aflatoxinas, ocratoxina A, deoxinivalenol, fumonisinas u otras micotoxinas.

Cualquier alegación de ACARISIN™/ECO-EFF™ relativa a un moho o una micotoxina concretos debe sustentarse mediante estudios de desafío controlados que midan el crecimiento fúngico y la concentración de toxina bajo condiciones predefinidas de actividad de agua, temperatura, inóculo y almacenamiento. Los ensayos históricos o externos específicos del producto pueden citarse como evidencia generadora de hipótesis, pero el posicionamiento en alimentación infantil exige datos replicados y revisados por pares.

Determinados estudios realizados por distintas instituciones, incluidos terceros independientes, han confirmado algunos de estos efectos con diferentes grados de éxito. Por ello, cualquier afirmación concreta debe remitirse al estudio o comparación correspondiente y formularse dentro del alcance exacto de la evidencia disponible.

23. Gestión de resistencias

Una ventaja estratégica de un modo de acción mineral/físico es su menor dependencia de una única diana bioquímica. Esto puede diversificar la presión de selección dentro de los programas de GIP y contribuir a preservar la eficacia de la fosfina y de otras herramientas convencionales al reducir la frecuencia de tratamiento. Esta cuestión es especialmente importante a la vista del problema global de resistencia documentado para la fosfina (Machuca-Mesa et al., 2024; Nayak et al., 2020).

El artículo debe evitar, no obstante, la afirmación absoluta de que las plagas «no pueden desarrollar resistencia». Los sistemas biológicos pueden adaptarse conductual, fisiológica o ecológicamente. La posición defendible es que un control físico/fisicoquímico multifactorial depende menos de la susceptibilidad clásica de una diana molecular y puede, por ello, contribuir a diversificar la gestión de resistencias.

24. Economía: coste por tonelada protegida satisfactoriamente

Una tecnología que reduzca la aportación química pero incremente las pérdidas de alimento, el tiempo de inactividad o los costes por encima de la viabilidad comercial tendrá un impacto limitado en salud pública. El denominador correcto no es €/kg de producto de tratamiento, sino el coste total por tonelada de materia prima protegida satisfactoriamente conforme a especificación.

Elementos de coste del programa convencional	Elementos de coste del programa mineral/GIP
Compra de plaguicida/fumigante	Compra de tecnología mineral
Mano de obra/equipos de aplicación	Mano de obra/equipos de aplicación
EPI, controles de seguridad y tiempo de inactividad	Monitorización y control ambiental
Ventilación/reentrada cuando proceda	Medidas de control de polvo cuando proceda
Costes de retratamiento y gestión de resistencias	Tratamiento correctivo activado por umbral si fuera necesario
Análisis de residuos y lotes rechazados	Verificación de residuos/contaminantes
Pérdida de materia prima y deterioro de calidad	Pérdida de materia prima y deterioro de calidad

Tabla 7. Estructura de costes para la comparación económica del sistema completo.

Una métrica de gestión especialmente útil es el coste por tratamiento convencional con plaguicidas evitado, acompañado del coste por tonelada protegida y de los resultados de cumplimiento de residuos. Esto hace que la sostenibilidad resulte cuantificable para los equipos de compras y finanzas, en lugar de dejarla como una alegación cualitativa de marketing.

25. Lenguaje de alegaciones para uso científico, regulatorio y comercial

Redacción científica preferida: «tecnología mineral de control de plagas basada en bicarbonato, diseñada para reducir la dependencia de determinadas intervenciones convencionales con plaguicidas».

Redacción B2B preferida una vez validada: «En el escenario de uso validado, el programa logró un control de plagas no inferior al tiempo que redujo un X % los eventos de tratamiento convencional con plaguicidas y Y g de sustancia activa por tonelada».

Redacción preferida sobre residuos: «No se introdujo ningún residuo adicional atribuible al tratamiento de almacenamiento desplazado», únicamente cuando se haya demostrado analítica y operacionalmente.

Evitar: «libre de químicos», porque todos los ingredientes minerales son sustancias químicas.

Evitar: «libre de plaguicidas», salvo que exista una definición analítica, un alcance y una base jurídica adecuadamente validados.

Evitar: «totalmente no tóxico» o «resistencia imposible», porque son afirmaciones innecesariamente absolutas y científicamente vulnerables.

26. Implicaciones para los fabricantes de alimentos infantiles

Para los fabricantes de alimentos infantiles, el beneficio principal no es una alegación de salud dirigida al consumidor, sino un sistema más sólido de aseguramiento de materias primas. Un programa validado de sustitución poscosecha puede aumentar el margen entre los residuos observados y los límites aplicables a alimentos infantiles, reducir la dependencia de sustancias activas que podrían ser restringidas en el futuro, apoyar estrategias de aprovisionamiento ecológico o de bajo uso de insumos y aportar evidencia auditable del historial de tratamientos.

El enfoque también encaja de forma natural con los acuerdos de calidad de proveedores. En lugar de exigir únicamente un certificado de análisis, los fabricantes pueden solicitar un Historial de Intervenciones Químicas que documente tratamientos del cultivo, fumigaciones, insecticidas de almacén, fechas, dosis, intervenciones alternativas y los análisis de residuos asociados. De este modo, el control en origen se convierte en una especificación de aprovisionamiento.

27. Nueva categoría de aprovisionamiento propuesta: materia prima con minimización de plaguicidas

Una categoría B2B útil es «materia prima con minimización de plaguicidas», definida no por una promesa irreal de cero absoluto, sino por un sistema de gestión documentado: intervención convencional con plaguicidas minimizada mediante GIP; todos los tratamientos trazables; aplicaciones poscosecha de plaguicidas evitadas cuando existan alternativas validadas; residuos verificados analíticamente; y tratamiento químico correctivo permitido cuando la protección del alimento lo requiera realmente. Esta definición es suficientemente rigurosa para ser auditada y suficientemente flexible para proteger la seguridad del suministro alimentario.

28. Limitaciones y lagunas de investigación

La literatura revisada por pares que respalda las tecnologías minerales/inertes de control de plagas como clase es sustancialmente más amplia que la literatura revisada por pares de acceso público específica de ACARISIN™/ECO-EFF™.

La evidencia de clase no puede establecer la dosis, la eficacia, la persistencia o la compatibilidad tecnológica de una formulación propietaria en una materia prima concreta.

La relevancia regulatoria del hidrogenocarbonato de sodio es sólida, pero la autorización del producto/uso sigue dependiendo de la clasificación jurídica exacta, la alegación, el organismo diana, la vía de aplicación y la jurisdicción.

La reducción de intervenciones con plaguicidas es una variable de proceso y de exposición; no debe transformarse en una alegación de beneficio clínico para la salud sin evidencia epidemiológica o de intervención.

La humedad elevada y las características de la materia prima pueden reducir o modificar el rendimiento de los sistemas minerales/inertes; la robustez ambiental debe cuantificarse.

La inhalación ocupacional y la manipulación de polvo requieren una evaluación independiente de la seguridad oral alimentaria.

ISRMD, PEB y APTI son constructos propuestos y requieren validación prospectiva antes de poder considerarse estándares consolidados de la industria.

29. Discusión

La tensión científica central en este campo es productiva, no contradictoria. Los alimentos infantiles modernos comercializados en mercados regulados muestran un grado muy elevado de cumplimiento de los requisitos sobre residuos de plaguicidas, mientras los reguladores aplican una precaución especial a las primeras etapas de la vida. La respuesta adecuada no es ni la complacencia ni el miedo. Es la mejora continua: identificar puntos de intervención en los que pueda eliminarse una aportación evitable de plaguicidas sin debilitar la protección de los alimentos.

El almacenamiento poscosecha constituye un punto de intervención especialmente atractivo porque el operador controla directamente la elección del tratamiento y porque las materias primas afectadas —en especial los cereales— se incorporan a múltiples productos. Una alternativa eficaz en el nivel de almacenamiento puede, por tanto, prevenir una aportación de plaguicidas antes de que la molienda, la mezcla y la fabricación final del alimento infantil multipliquen el valor acumulado en la materia prima.

La posición regulatoria del hidrogenocarbonato de sodio proporciona a ACARISIN™/ECO-EFF™ un punto de partida científico inusualmente favorable. La UE ya ha reconocido la sustancia como alimento útil para protección fitosanitaria, la ha aprobado como sustancia activa de bajo riesgo y la ha autorizado en protección fitosanitaria ecológica conforme a las normas de ejecución pertinentes. Si el proceso propietario preserva esa identidad mineral y la relevancia de la especificación aprobada al tiempo que refuerza el rendimiento, la narrativa científica no es «un nuevo plaguicida que busca una imagen más segura». Es «una sustancia mineral activa de bajo riesgo ya reconocida, cuyo rendimiento tecnológico ha sido modificado mediante ingeniería de proceso para ampliar su utilidad práctica».

Esa proposición debe someterse a prueba y no limitarse a afirmarse. El estudio futuro más sólido sería un ensayo industrial multicéntrico de no inferioridad en el que ACARISIN™/ECO-EFF™ redujera el número o la masa de intervenciones convencionales con plaguicidas por tonelada, manteniendo el control de plagas, la calidad del grano y el cumplimiento de residuos. Un estudio de esta naturaleza produciría un resultado simultáneamente entomológico, toxicológico, regulatorio, operacional y económico.

Los constructos ISRMD, PEB y APTI propuestos convierten esta filosofía en herramientas de gestión. ISRMD desplaza la prevención aguas arriba. PEB ayuda a los equipos de formulación y compras a comparar lotes legalmente conformes desde una perspectiva de optimización de la exposición. APTI mide intervenciones químicas que nunca llegaron a producirse. En conjunto, proporcionan un lenguaje para evolucionar de «bajo residuo» a «baja aportación química evitable» sin confundir ambos conceptos.

30. Conclusión

La seguridad frente a plaguicidas en nutrición infantil debe fundamentarse en la evidencia y no en el miedo. Los datos de vigilancia más recientes de la UE y de Estados Unidos muestran que los alimentos específicamente diseñados para lactantes se caracterizan, en general, por cargas muy bajas de residuos de plaguicidas y un elevado cumplimiento regulatorio. Ese éxito no elimina la posibilidad de mejora; define el punto de partida desde el que debe avanzar. La siguiente frontera tecnológica no consiste simplemente en detectar mejor después de tratar, sino en prevenir tratamientos que puedan hacerse innecesarios. ACARISIN™ y ECO-EFF™ son especialmente pertinentes para este objetivo porque se describen como sistemas minerales basados en bicarbonato cuya identidad mineral subyacente se mantiene mientras el procesado propietario refuerza el rendimiento funcional. El hidrogenocarbonato de sodio ya posee una historia regulatoria singular en la UE como sustancia básica, sustancia activa de bajo riesgo y sustancia de bajo riesgo permitida para protección fitosanitaria en producción ecológica. Cuando la caracterización analítica confirme la continuidad de identidad/especificación, ese precedente regulatorio y toxicológico es directamente pertinente para la base mineral activa de la tecnología propietaria. La evidencia decisiva, sin embargo, debe seguir siendo específica del producto y del uso. La afirmación científicamente más sólida no es que los productos eliminen plaguicidas ya presentes, sino que pueden —cuando se valide— hacer innecesarias intervenciones convencionales definidas con plaguicidas. Si un ensayo multicéntrico de desplazamiento demuestra control de plagas no inferior, menor aportación de sustancia activa convencional, calidad alimentaria equivalente o mejorada, seguridad laboral aceptable y economía favorable, la conclusión resultante sería inusualmente robusta: la prevención de residuos de plaguicidas puede diseñarse dentro de la cadena de materias primas en lugar de limitarse a verificarse al final. Para los alimentos infantiles, donde tanto los márgenes regulatorios como las expectativas sociales son especialmente elevados, esta transición desde el cumplimiento de residuos hacia la prevención de la exposición constituye una dirección de innovación técnicamente coherente, jurídicamente relevante y ambientalmente significativa.

Declaraciones

Contribuciones del autor

La conceptualización, la interpretación regulatoria, el marco traslacional, el desarrollo del manuscrito y la arquitectura de validación propuesta corresponden al trabajo del autor, José M. López.

Conflicto de intereses

ACARISIN™ y ECO-EFF™ son tecnologías propietarias asociadas a ND Pharma & Biotech y comercializadas principalmente a través de INTABIOTECH. Esta relación constituye un interés comercial y de propiedad intelectual y debe declararse de forma transparente. La evidencia relativa a tierras de diatomeas, polvos inertes, hidrogenocarbonato de sodio y otras tecnologías minerales se utiliza para establecer el contexto científico y regulatorio.

Financiación

No se declara financiación externa para este manuscrito de trabajo.

Disponibilidad de datos

Esta revisión narrativa no presenta un conjunto de datos experimentales original. Los datos citados procedentes de vigilancia regulatoria y de estudios revisados por pares están disponibles en las fuentes públicas referenciadas. Los datos técnicos específicos del producto deberían archivarse y ponerse a

disposición de revisores o autoridades competentes, sujetos a las legítimas protecciones de confidencialidad y propiedad intelectual.

Declaración ética

No aplicable a la presente revisión narrativa. Cualquier futura componente de biomonitorización humana, exposición laboral o investigación clínica requeriría la correspondiente revisión ética y consentimiento informado.

Declaración sobre las afirmaciones científicas

Este manuscrito no afirma que los residuos de plaguicidas legalmente conformes en alimentos infantiles sean intrínsecamente inseguros; que ACARISIN™/ECO-EFF™ eliminen residuos de plaguicidas ya presentes en los alimentos; que una composición de grado alimentario autorice automáticamente cualquier uso de control de plagas; ni que un modo de acción mineral pueda sustituir todos los plaguicidas convencionales en cualquier condición. La hipótesis central es más limitada: cuando el sistema mineral basado en bicarbonato proporciona una protección frente a plagas equivalente y validada y desplaza una intervención convencional con plaguicidas, previene la aportación de plaguicida derivada del tratamiento que, de otro modo, se habría producido.

Referencias

- Athanassiou, C. G., Rumbos, C. I., Agrafioti, P., & Sakka, M. K. (2025). The utilization of inert materials for the control of stored-product mites—A mini review. *Insects*, 16(1), 78. <https://doi.org/10.3390/insects16010078>
- Bradman, A., Quirós-Alcalá, L., Castorina, R., Aguilar Schall, R., Camacho, J., Holland, N. T., Barr, D. B., & Eskenazi, B. (2015). Effect of organic diet intervention on pesticide exposures in young children living in low-income urban and agricultural communities. *Environmental Health Perspectives*, 123(10), 1086–1093. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408660>
- Codex Alimentarius Commission. (2024). Standard for infant formula and formulas for special medical purposes intended for infants (CXS 72-1981, amended version). Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/>
- European Commission. (2006). Commission Directive 2006/125/EC of 5 December 2006 on processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children. *Official Journal of the European Union*, L 339, 16–35. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006L0125>
- European Commission. (2015). Commission Implementing Regulation (EU) 2015/2069 of 17 November 2015 approving the basic substance sodium hydrogen carbonate in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009. *Official Journal of the European Union*, L 301, 42–44. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015R2069>
- European Commission. (2016). Commission Delegated Regulation (EU) 2016/127 of 25 September 2015 supplementing Regulation (EU) No 609/2013 as regards specific compositional and information requirements for infant formula and follow-on formula. *Official Journal of the European Union*, L 25, 1–29. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2016/127/oj
- European Commission. (2020). Commission Implementing Regulation (EU) 2020/1263 of 10 September 2020 approving the active substance sodium hydrogen carbonate as a low-risk substance in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009. *Official Journal of the European Union*, L 297, 1–4. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/1263/oj
- European Commission. (2021). Commission Implementing Regulation (EU) 2021/1165 of 15 July 2021 authorising certain products and substances for use in organic production and establishing their lists. *Official Journal of the European Union*, L 253, 13–48. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/1165/oj
- European Commission. (2023). Commission Implementing Regulation (EU) 2023/2229 of 25 October 2023 amending and correcting Implementing Regulation (EU) 2021/1165 authorising certain products and substances for use in organic production and establishing their lists. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/2229/oj
- European Food Safety Authority, Medina Pastor, P., Carrasco Cabrera, L., Di Piazza, G., & González Ciria, C. (2026). The 2024 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 24(5), e10054. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2026.10054>
- EFSA Panel on Food Additives and Flavourings. (2024). Re-evaluation of silicon dioxide (E 551) as a food additive in foods for infants below 16 weeks of age and follow-up of its re-evaluation as a food additive for uses in foods for all population groups. *EFSA Journal*, 22(10), e8880. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8880>
- EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues. (2018). Scientific opinion on pesticides in foods for infants and young children. *EFSA Journal*, 16(6), 5286. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5286>

- European Parliament & Council of the European Union. (2005). Regulation (EC) No 396/2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin. *Official Journal of the European Union*, L 70, 1–16. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2005/396/oj>
- European Parliament & Council of the European Union. (2009). Regulation (EC) No 1107/2009 concerning the placing of plant protection products on the market. *Official Journal of the European Union*, L 309, 1–50. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/1107/oj>
- European Parliament & Council of the European Union. (2018). Regulation (EU) 2018/848 on organic production and labelling of organic products. *Official Journal of the European Union*, L 150, 1–92. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj>
- Guru, P. N., Mridula, D., Dukare, A. S., Ghodki, B. M., Paschapur, A. U., Samal, I., Nikhil Raj, M., Padala, V. K., Rajashekhar, M., & Subbanna, A. R. N. S. (2022). A comprehensive review on advances in storage pest management: Current scenario and future prospects. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 993341. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.993341>
- Hyland, C., Bradman, A., Gerona, R., Patton, S., Zakharevich, I., Gunier, R. B., & Klein, K. (2019). Organic diet intervention significantly reduces urinary pesticide levels in U.S. children and adults. *Environmental Research*, 171, 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.024>
- Lu, C., Toepel, K., Irish, R., Fenske, R. A., Barr, D. B., & Bravo, R. (2006). Organic diets significantly lower children's dietary exposure to organophosphorus pesticides. *Environmental Health Perspectives*, 114(2), 260–263. <https://doi.org/10.1289/ehp.8418>
- Machuca-Mesa, L. M., Turchen, L. M., & Guedes, R. N. C. (2024). Phosphine resistance among stored product insect pests: A global meta-analysis-based perspective. *Journal of Pest Science*, 97(3), 1485–1498. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01713-6>
- Mortazavi, H., Ferizli, A. G., Toprak, U., Tütüncü, Ş., Emekci, M., & Ormanoğlu, N. (2025). Long-term efficacy of diatomaceous earth, SilicoSec®, against three major stored grain insect pests. *Journal of Stored Products Research*, 111, 102531. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102531>
- Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B. A., Barr, D. B., Steenland, K., Levy, K., Ryan, P. B., Iglesias, V., Alvarado, S., Concha, C., Rojas, E., & Vega, C. (2013). Neurodevelopmental effects in children associated with exposure to organophosphate pesticides: A systematic review. *NeuroToxicology*, 39, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2013.09.003>
- Nayak, M. K., Daglish, G. J., Phillips, T. W., & Ebert, P. R. (2020). Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. *Annual Review of Entomology*, 65, 333–350. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025047>
- ND Pharma & Biotech. (2014). ACARISIN™ technical information: Mineral food technology for protection of stored food and raw materials [Technical document]. <https://www.acarisin.info/>
- ND Pharma & Biotech. (2025a). ACARISIN™: Product and technology information [Corporate technical webpage]. <https://www.acarisin.info/producto/>
- ND Pharma & Biotech. (2025b). ECO-EFF™: Reinforced ACARISIN™ technology for demanding environmental conditions [Corporate technical webpage]. <https://www.acarisin.info/eco-eff/>
- Rigopoulou, M., Baliota, G. V., & Athanassiou, C. G. (2023). Persistence and efficacy of diatomaceous earth against stored product insects in semi-field trials. *Crop Protection*, 174, 106416. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106416>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2026a). Summary of the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-federal-food-drug-and-cosmetic-act>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2026b). Summary of the Food Quality Protection Act. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-food-quality-protection-act>
- U.S. Food and Drug Administration. (2026). FDA's infant formula product testing results: 2023–2025 market basket survey. <https://www.fda.gov/food/infant-formula-homepage/fdas-infant-formula-product-testing-results>
- Viglietti, P. G., Goldberg, A., Rousseau, K.-L., Fuhrmann, S., Rösli, M., Malcolm-Smith, S., & Dalvie, M. A. (2026). Postnatal exposure to current use pesticides and neurodevelopmental outcomes in children and adolescents: A systematic review. *NeuroToxicology*, 116, 103542. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2026.103542>
- World Health Organization. (2022, September 15). Pesticide residues in food. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
- World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Pesticide residues in food: Report 2024—Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240113954>