J-40402082-9

Fundación Aula Virtual

Aula Virtual



Generando Conocimiento

http://www.aulavirtual.web.ve

ISSN: 2665-0398

Deposito Legal: LA2020000026

Vol. 7 Nº 15 Año 2026

Periodicidad Continua

AulaVirtual
Generando Conocimiento

ISSN: 2665-0398

REVISTA CIENTÍFICA AULA VIRTUAL

Director Editor:

- Dra. Leidy Hernández PhD.
- Dr. Fernando Bárbara

Consejo Asesor:

- MSc. Manuel Mujica
- MSc. Wilman Briceño
- Dra. Harizmar Izquierdo
- Dr. José Gregorio Sánchez

Revista Científica Arbitrada de Fundación Aula Virtual

Email: revista@aulavirtual.web.ve
URL: http://aulavirtual.web.ve/revista



ISSN: 2665-0398
Depósito Legal: LA2020000026
País: Venezuela
Año de Inicio: 2020
Periodicidad: Continua
Sistema de Arbitraje: Revisión por pares. "Doble Ciego"
Licencia: **Creative Commons** CC BY NC ND
Volumen: 7
Número: 15
Año: 2026
Período: Julio 2026 – Diciembre 2026 (continua)
Dirección Fiscal: Av. Libertador, Arca del Norte, Nro. 52D, Barquisimeto estado Lara, Venezuela, C.P. 3001

La Revista seriada Científica Arbitrada e Indexada **Aula Virtual**, es de acceso abierto y en formato electrónico; la misma está orientada a la divulgación de las producciones científicas creadas por investigadores en diversas áreas del conocimiento. Su cobertura temática abarca Tecnología, Ciencias de la Salud, Ciencias Administrativas, Ciencias Sociales, Ciencias Jurídicas y Políticas, Ciencias Exactas y otras áreas afines. Su publicación es **CONTINUA**, indexada y arbitrada por especialistas en el área, bajo la modalidad de doble ciego. Se reciben las producciones tipo: *Artículo Científico* en las diferentes modalidades cualitativas y cuantitativas, *Avances Investigativos*, *Ensayos, Reseñas Bibliográficas, Ponencias o publicaciones derivada de eventos*, y cualquier otro tipo de investigación orientada al tratamiento y profundización de la información de los campos de estudios de las diferentes ciencias. La Revista **Aula Virtual,** busca fomentar la divulgación del conocimiento científico y el pensamiento crítico reflexivo en el ámbito investigativo.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

USO DE PLAGUICIDAS E IMPACTO AMBIENTAL EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI EN EL VALLE DEL PACHACHACA, APURIMAC – PERÚ

PESTICIDE USE AND ENVIRONMENTAL IMPACT IN BROCCOLI CULTIVATION IN THE PACHACHACA VALLEY, APURÍMAC – PERU

Tipo de Publicación: Artículo Científico
Área del Conocimiento: Ciencias Sociales y Aplicadas
Recibido: 05/09/2026
Aceptado: 07/10/2026
Publicado: 12/10/2026
Código Único AV: e878
Páginas: 1(1889-1912)
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.23323641

Autores:
Luis Oscco Aldazabal
Maestría en Medio Ambiente
https://orcid.org/0009-0004-1605-4449
E-mail: apuprosem@gmail.com
Afiliación: Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco
País: República del Perú

Jesús Vilchez Guizado
Doctorado en Proyectos
https://orcid.org/0000-0002-5962-8703
E-mail: jvilchez@unheval.edu.pe
Afiliación: Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco
País: República del Perú

Dionicio Ruperto Fernández Santa Cruz
Maestría en Medio Ambiente
https://orcid.org/0009-0006-3661-4778
E-mail: dfernandez@unheval.edu.pe
Afiliación: Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco
País: República del Perú

Resumen

El cultivo intensivo de hortalizas en los Andes peruanos enfrenta severa degradación ambiental por agroquímicos sintéticos. El objetivo fue determinar el impacto ambiental por uso de plaguicidas en el cultivo de brócoli (Brassica oleracea var. italica) en el valle del Pachachaca, Apurímac, Perú. Mediante un enfoque cuantitativo, aplicado y no experimental transversal, se evaluaron 24 agricultores y 6 parcelas con encuestas, muestreos de campo, cromatografía (GC-MS/MS y HPLC-DAD) en suelo y vegetal, la matriz de Conesa y pruebas no paramétricas (Spearman, Kruskal-Wallis y Mann-Whitney). Los resultados mostraron predominio de agricultores masculinos (70 %) con instrucción primaria (55 %) que concentran el uso de Clorpirifos y Metomil. Los residuos en suelo alcanzaron 2,16 mg/kg en esquemas de alta frecuencia (6 aplicaciones/mes), correlacionándose significativamente (Rho = 0,971; p = 0,001) con la sobreaplicación. La matriz de Conesa otorgó un Índice de Importancia I = -51 (Impacto Severo) a organofosforados y carbamatos. El manejo adecuado mostró mayor entomofauna benéfica (p = 0,048) y menores residuos en brócoli (0,18 a 0,20 mg/kg) frente al inadecuado (0,91 mg/kg). Se concluye que l uso intensivo de plaguicidas causa severo impacto ambiental edáfico, biótico y vegetal, requiriendo educación, fiscalización y manejo integrado.

Palabras Clave Brócoli, plaguicidas, impacto ambiental, manejo integrado de plagas, seguridad alimentaria

Abstract

Intensive vegetable farming in the Peruvian Andes faces severe environmental degradation due to synthetic agrochemicals. The objective was to determine the environmental impact of pesticide use in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cultivation in the Pachachaca Valley, Apurímac, Peru. Using a quantitative, applied, non-experimental, cross-sectional approach, the study evaluated 24 farmers and 6 plots through surveys, field sampling, chromatography (GC-MS/MS and HPLC-DAD) of soil and plant tissue, the Conesa matrix, and non-parametric tests (Spearman, Kruskal-Wallis, and Mann-Whitney). Results showed a predominance of male farmers (70%) with primary education (55%) who primarily used Chlorpyrifos and Methomyl. Soil residues reached 2.16 mg/kg under high-frequency regimens (6 applications/month), showing a significant correlation (Rho = 0.971; p = 0.001) with over-application. The Conesa matrix assigned an Importance Index (I) of -51 (Severe Impact) to organophosphates and carbamates. Proper management practices resulted in greater beneficial entomofauna (p = 0.048) and lower broccoli residue levels (0.18 to 0.20 mg/kg) compared to improper management (0.91 mg/kg). It is concluded that intensive pesticide use causes severe environmental impact on soil, biota, and crops, necessitating education, regulatory oversight, and integrated management.

Keywords Broccoli, pesticides, environmental impact, Integrated pest management, food safety

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

Introducción

El uso intensivo de plaguicidas constituye una de las expresiones más visibles de la agricultura contemporánea, porque permite sostener el rendimiento de los cultivos y responder a las exigencias del mercado, pero al mismo tiempo transfiere costos ambientales y sanitarios a los territorios rurales (Jáquez et al., 2022; Ahmad et al., 2024). Esta lógica de protección química también se mantiene en sistemas hortícolas donde el control fitosanitario se vuelve frecuente, calendarizado y dependiente de recomendaciones comerciales, aun cuando persisten brechas de capacitación y de gestión segura del riesgo (Rodríguez, 2022; Ortega et al., 2023).

En ese contexto, la evaluación ambiental ya no se limita a identificar la presencia de un insumo, sino que exige valorar su toxicidad, persistencia, frecuencia de aplicación, movilidad y efectos sobre organismos no objetivo, recursos hídricos, suelos, alimentos y salud humana (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria [EFSA], 2026; United States Environmental Protection Agency [EPA], 2022). Por ello, el problema del uso de plaguicidas se entiende hoy como un asunto productivo, toxicológico, ecológico y de salud pública de carácter simultáneo (Manzano et al., 2024; Zapata et al., 2024).

La evidencia reciente de América Latina muestra que esta problemática alcanza una magnitud regional y no se reduce a eventos aislados. En esta misma línea, Rodríguez (2024) advierte que, desde el año 2020, América Latina se posiciona como la región con mayor aplicación de plaguicidas a escala global, situación que incrementa la presión sobre cuerpos de agua, biota acuática y cadenas tróficas. En Uruguay, esa autora documenta la presencia de 25 plaguicidas en agua superficial, identifica compuestos prohibidos aún detectables y demuestra un riesgo ecotoxicológico muy alto para organoclorados, organofosforados y piretroides, lo que confirma que la contaminación por plaguicidas posee una dimensión acumulativa y persistente (Rodríguez, 2024).

En México, Jáquez et al., (2022) muestran que los insecticidas generan mayores impactos ambientales y económicos que los herbicidas y fungicidas, y estiman externalidades cercanas a 24 millones de pesos anuales, especialmente sobre consumidores, trabajadores y vida acuática. Por otro lado, Ruiz-Arias et al., (2025) encuentran que el cociente de impacto ambiental por ingrediente activo en campo permite identificar mezclas de uso común con impactos considerables sobre el componente ecológico, y destacan que la dosis, la concentración y la frecuencia de aplicación condicionan gran parte del riesgo ambiental.

La literatura reciente también evidencia que el problema no solo reside en la aplicación directa del plaguicida, sino en el conjunto de decisiones

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

técnicas y conductuales que acompañan su uso. Por otro lado, Rodríguez (2022), al estudiar horticultores del valle Chancay-Huaral, describe un sistema de innovación débil en la esfera pública y fuertemente influido por la comercialización privada de plaguicidas, donde predominan el conocimiento mínimo de manejo, las mezclas excesivas, la protección insuficiente y la ausencia de conciencia ecológica.

En Ecuador, Ortega et al., (2023) observan en agricultores de Puerto La Boca la sub dosificación y sobredosificación de fungicidas e insecticidas, el uso indiscriminado de methomyl e imidacloprid y la repetición semanal de aplicaciones, prácticas que favorecen resistencia biológica, mayores costos de producción y exposición reiterada.

En un estudio realizado, Merchán & Quichimbo (2022) reportan residuos de organofosforados y piretroides en papa y tomate, situación que sugiera incumplimiento del período de carencia y uso inadecuado de medidas de seguridad. Estas investigaciones coinciden en que el problema técnico del plaguicida se vuelve un problema sistémico cuando se combina con desinformación, presión comercial, manejo empírico y fiscalización insuficiente.

Desde la perspectiva ambiental, los suelos agrícolas aparecen como uno de los componentes más afectados. Como refuerzo a esta idea, Jiménez (2022) demuestra en suelos paperos de la región Cusco la presencia de residuos organoclorados y organofosforados, además de alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo que favorecen la acumulación de contaminantes. En Ica, Alvarado (2022) determina que el uso intensivo de organofosforados altera las características fisicoquímicas del suelo y debilita su aptitud agrícola por su elevada susceptibilidad a estos compuestos. En Amazonas, Puluche (2024) identifica cadmio por encima del estándar de calidad ambiental para suelo en parcelas arroceras, a la vez que vincula el deterioro de la calidad edáfica con el uso prolongado de agroquímicos y la ausencia de capacitación técnica.

De manera convergente, Morante (2022) sostuvo que la dependencia de plaguicidas persistentes en cacao altera la ecología del agroecosistema y afecta la capacidad de auto purificación de los sistemas terrestres. Estos estudios refuerzan que la variable impacto ambiental no debe ser entendida de forma abstracta, sino como una alteración concreta de la calidad del suelo, de su equilibrio biológico y de su funcionalidad productiva.

La afectación tampoco se restringe al suelo, porque alcanza el agua, el aire, los sedimentos y los organismos no objetivo. En un estudio reciente, Ruiz-Arias et al., (2025), señalan que el principal cultivo de su zona de estudio confirma impactos considerables sobre el componente ecológico,

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

mientras que Jáquez et al., (2022) ubica a la vida acuática entre los receptores más afectados por lixiviación y escorrentía.

Por su parte Elías (2022), resume que los residuos de plaguicidas sintéticos, sin importar su composición, constituyen un riesgo latente para ambientes acuáticos y terrestres, especialmente cuando existe bioacumulación y exposición prolongada. En el plano biológico, también Monroy (2014) advirtieron que la contaminación de aire, agua y suelo compromete la reproducción, la estabilidad poblacional y la supervivencia de especies vulnerables, lo que vuelve pertinente considerar la biodiversidad como criterio de análisis.

De forma complementaria, la EPA (2022), remarca que la evaluación de riesgo ambiental debe identificar amenazas sobre organismos vivos, hábitats y ecosistemas antes de autorizar o sostener determinados usos de sustancias químicas. Esta perspectiva resulta crucial en territorios agrícolas donde la cercanía entre parcelas, acequias y zonas de residencia amplifica el alcance del daño.

El componente de salud pública agrava la relevancia del problema. Asimismo, Cabrejos et al., (2023), en una revisión sistemática peruana, sintetizan que la exposición a plaguicidas se relaciona con manifestaciones respiratorias, irritación cutánea, cefaleas, náuseas, daño neuroconductual, cáncer, alteraciones hematológicas y afectaciones crónicas de diversa índole. Por otro lado, Ahmad et al., (2024) amplían ese panorama y precisan que la exposición por inhalación, ingestión o contacto dérmico puede provocar toxicidad aguda y crónica, con mecanismos de neurotoxicidad, mutagenicidad, carcinogenicidad, teratogenicidad y disrupción endocrina.

En México, Manzano-Cruz et al., (2024) muestran una tendencia consistente entre uso agrícola de plaguicidas y efectos como inhibición de colinesterasa, daño genotóxico, residuos en leche materna y alteraciones reproductivas, mientras que Zapata et al., (2024) subrayan que la frecuencia y duración de la exposición, la proximidad de la vivienda al área de aplicación y el uso deficiente de equipos de protección intensifican la vulnerabilidad de los agricultores. También Narro et al., (2024) añaden que, en Paiján, los organofosforados se asocian con daño hepatológico, toxicidad en aguas y empobrecimiento del suelo, lo que demuestra que el deterioro ambiental y el deterioro sanitario se retroalimentan.

Un aspecto especialmente crítico es el manejo de residuos y envases, porque prolonga el impacto aun después de la aplicación. Por su parte Basurto et al., (2022) identifican que la falta de lavado y disposición adecuada de envases contamina suelo y agua, y recomiendan sistemas organizados de acopio y eliminación. En Piura, Cobeñas (2024)

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

concluye que el abandono, la quema y el vertido de envases en acequias generan impactos moderados y severos sobre suelo y agua superficial, además de revelar que la mayoría de los agricultores no reconoce el carácter peligroso de estos residuos.

En una investigación reciente Gómez (2023) encontró que la mayoría de los agricultores en Antioquía arrojan o queman envases después del triple lavado, usa protección incompleta y casi nunca recibe capacitación, en un contexto donde el impacto ambiental alcanza un nivel alto. Entonces, la gestión de residuos de plaguicidas tiene una conexión directa con salud pública por su potencial de bioacumulación y por el riesgo de quema informal a la intemperie (Elias, 2022). Así, la evaluación del problema debe incluir no solo el ingrediente activo, sino también la trazabilidad de sus residuos y desechos.

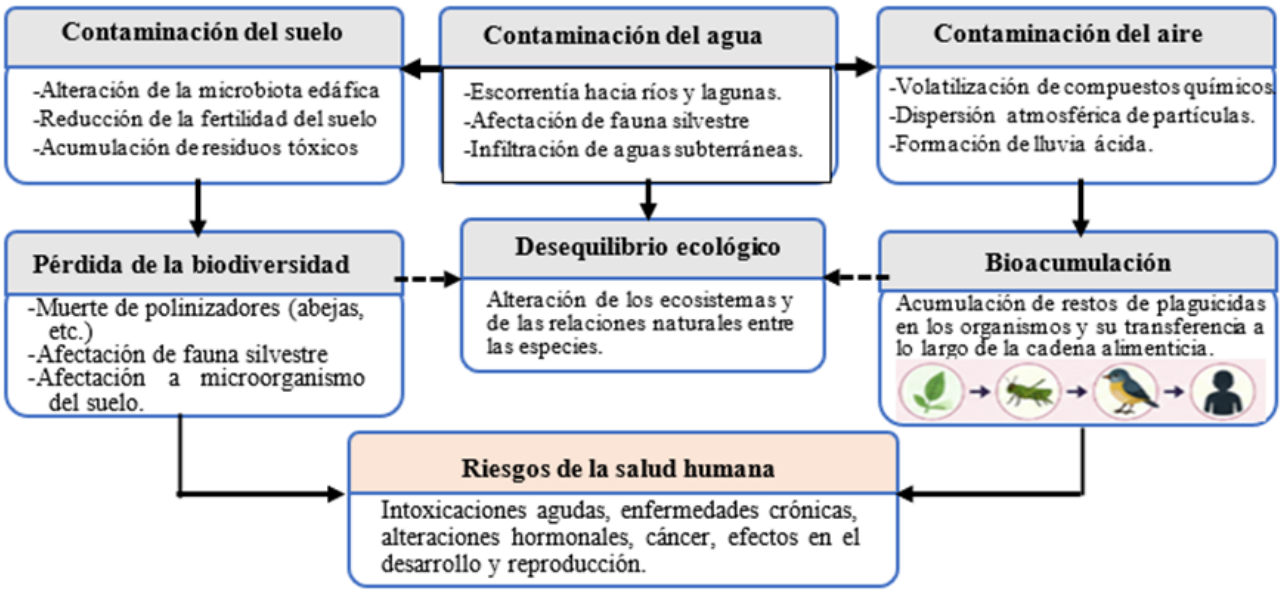


Figura 1. Resumen del impacto ambiental por el uso de plaguicidas en el control de plagas en cultivos
Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista teórico, los plaguicidas se comprenden como compuestos utilizados para prevenir, destruir o controlar organismos perjudiciales, pero su valoración contemporánea no puede desligarse de la toxicidad, la persistencia y el riesgo ambiental que conllevan (Belitama, 2022; Ahmad et al., 2024). La evaluación de impacto ambiental se entiende, a su vez, como un proceso científico orientado a identificar amenazas sobre el medio ambiente, los organismos vivos y sus hábitats, y a respaldar decisiones regulatorias y de gestión (EFSA, 2026). En el ámbito agrícola, esta evaluación se fortalece mediante indicadores sintéticos que permiten comparar ingredientes activos, dosis y frecuencias de aplicación, como

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

ocurre con el EIQ, el CIA y otras aproximaciones de riesgo empleadas en investigaciones recientes (Rodríguez, 2022; Ruiz-Arias et al., 2025).

A ello se suma la dimensión económica, porque las externalidades del uso de plaguicidas se expresan en costos sanitarios, pérdida de productividad ecosistémica y mayores gastos de remediación (Jáquez et al., 2022; Smith, 2021). De este modo, la relación entre uso de plaguicidas e impacto ambiental se articula como una relación causal compleja donde intervienen variables técnicas, ecológicas, sociales y económicas.

La literatura también sostiene que la respuesta no debe limitarse a prohibir compuestos, sino a reconfigurar prácticas productivas. Basado en alternativas de control de malezas, como coberturas orgánicas y estrategias menos dependientes de herbicidas, pueden reducir erosión y evitar impactos ambientales adicionales (Fernández, 2021). También, Acuña & Gonzales (2021) muestran, desde un caso de remediación en arroz, que la evaluación ambiental permite contrastar contaminantes con estándares y explorar medidas correctivas cuando ya existe deterioro del suelo.

La agricultura moderna incrementa presión sobre suelo, agua y biodiversidad cuando se apoya excesivamente en agroquímicos (Anaya, 2022); mientras que, López (2022) recuerda que los insumos químicos suelen ofrecer resultados rápidos y visibles en productividad, razón por la cual su sustitución requiere información técnica suficiente y alternativas viables. En ese sentido, Morante (2022) propone bioplaguicidas y protección fitosanitaria integrada, Rodríguez (2022) plantea que la sostenibilidad social del agricultor también depende de reducir la exposición y reconstruir capacidades locales.

En el caso del valle de Pachachaca en la región Apurimac - Perú, esta problemática adquiere particular relevancia porque el cultivo de brócoli se inserta en una dinámica agrícola donde el control químico continúa siendo un recurso recurrente para enfrentar plagas y enfermedades. Sin embargo, la evidencia regional revisada muestra que cuando el uso de plaguicidas se sostiene sin suficiente capacitación, sin manejo adecuado de residuos y sin vigilancia del riesgo, el efecto trasciende la parcela y compromete la calidad del suelo, del agua, de los alimentos y de la salud de los productores (Cabrejos et al., 2023; Gómez, 2023).

A pesar de la existencia de estudios sobre maíz, arroz, cacao, papa, manzana y otros cultivos, todavía resulta necesario documentar con mayor precisión qué ocurre en cultivos hortícolas específicos y en contextos locales andinos donde confluyen producción, comercio, consumo y vulnerabilidad ambiental. Por ello, el presente artículo se centra en el uso de plaguicidas en el cultivo de brócoli y en su relación con el impacto ambiental en el contexto del estudio, considerando

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

tanto la dimensión técnica del manejo fitosanitario como los efectos sobre medios abióticos, bióticos y socioeconómicos.

En coherencia con la problemática planteada, el objetivo general del estudio consistió en determinar el impacto ambiental derivado del uso de plaguicidas en el cultivo de brócoli. De manera específica, se buscó caracterizar el perfil demográfico y social de los productores agrícolas, identificar los principales plaguicidas empleados según sexo, edad y nivel de instrucción, y elaborar una matriz de impactos ambientales asociados a su uso.

La hipótesis general del estudio sostuvo que el uso de plaguicidas en el cultivo de brócoli genera impactos ambientales negativos. Por su parte, las hipótesis específicas plantearon que: a) la frecuencia de aplicación de plaguicidas influye significativamente en la contaminación del suelo; b) el uso de plaguicidas según el sexo, edad y nivel de instrucción de los agricultores incide significativamente en la contaminación del agua; y c) el manejo inadecuado de estos agroquímicos afecta la biodiversidad y multiplica la presencia de residuos en el brócoli en el valle del Pachachaca, región Apurímac, Perú.

Dichas formulaciones se alinean con los hallazgos de Jáquez et al., (2022), Rodríguez (2022) y Ruiz-Arias et al., (2025), quienes argumentan que el tipo de ingrediente activo, la frecuencia de aplicación y las prácticas de manejo determinan la gravedad del impacto socioambiental. En este contexto, la investigación no solo describe las prácticas agrícolas locales, sino que evalúa sus implicaciones sobre la sostenibilidad del entorno.

Materiales y métodos

La investigación se localizó en el valle de Pachachaca, ubicado en la provincia de Abancay, dentro de la región de Apurímac, Perú. El ámbito geográfico del estudio se enmarcó específicamente entre los tramos inferior y medio de las cuencas de los ríos Mariño y Pachachaca, caracterizándose por una altitud que oscila entre los 1800 y 2000 m s. n. m., con referencias geográficas consolidadas en los 13°52′32″ de latitud sur y 72°46′19″ de longitud oeste. La delimitación y selección de esta área territorial respondió a la presencia de unidades de producción hortícola intensiva dedicadas al cultivo de brócoli (Brassica oleracea var. italica) y al uso recurrente e intensivo de plaguicidas sintéticos registrado durante la campaña agrícola 2025.

El trabajo se fundamentó en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, adoptando un diseño no experimental y de corte transversal con alcance correlacional-explicativo. Se observó el fenómeno productivo y ambiental en su contexto ecosistémico natural sin la manipulación deliberada de variables, con el propósito fundamental de caracterizar sociodemográficamente a la población agrícola, identificar las moléculas químicas aplicadas,

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

determinar la concentración de residuos organoquímicos en matrices físicas y biológicas, y valorar numéricamente los impactos ambientales asociados.

La población de referencia estuvo constituida por 36 parcelas agrícolas dedicadas al cultivo de brócoli en el valle, gestionadas por una masa productiva estimada en 180 agricultores. A partir de este marco muestral, se seleccionó mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple una muestra representativa conformada por 6 parcelas de cultivo (identificadas operativamente como A, B, C, D, E y F) a cargo de 24 productores directamente vinculados durante la campaña 2025. Los criterios de inclusión consideraron a todos los agricultores y conductores de parcelas hortícolas asentados dentro de la delimitación geográfica del valle, sin distinción de género o edad, que se encontraran en etapa activa de producción; por el contrario, se establecieron como criterios de exclusión a productores pertenecientes a otras cuencas hidrográficas adyacentes, así como a intermediarios comerciales que no intervinieran de forma directa en las labores agronómicas de aplicación de insumos fitosanitarios.

La recolección de información primaria articuló de manera sistemática técnicas de observación directa en campo, entrevistas estructuradas, monitoreos fisicoquímicos y cromatográficos de laboratorio, y análisis documental. Esta aproximación multitécnica permitió registrar el perfil demográfico y social de los productores, los tipos y volúmenes de plaguicidas aplicados, las dinámicas de manejo fitosanitario y la alteración de los componentes ambientales.

Los instrumentos consistieron en cuestionarios estructurados validados por juicio de expertos, fichas técnicas de observación agronómica, registros analíticos de laboratorio y una matriz de valoración de impacto ambiental. El procedimiento de campo se ejecutó de forma secuencial: inicialmente se sensibilizó a la comunidad agrícola y se formalizó la participación voluntaria.

Posteriormente, se aplicaron las encuestas presenciales en las unidades muestrales para relevar variables como sexo, edad, grado de instrucción, tipo de producto, dosis (L/ha o kg/ha), frecuencia mensual de aplicación y uso de equipos de protección individual. Paralelamente, se ordenó la secuencia cronológica del cultivo, desde la preparación del terreno y semillero hasta la cosecha y eliminación de envases, identificando los puntos críticos de presión ambiental.

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional



Figura 2. Fases en la producción del brócoli hasta detección de plagas en valle del Apurimac.
Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación y jerarquización de los impactos ambientales derivados de la actividad agrícola, se empleó una adaptación de la matriz de Leopold complementada con la metodología cuali-cuantitativa de Conesa (2011). Este método aplica un algoritmo matemático ponderado que evalúa diez atributos ambientales para calcular el Índice de Importancia del Impacto (I), representado formalmente mediante la siguiente ecuación:

$$I = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

En este algoritmo, la naturaleza del impacto es negativa (-) y las variables consideradas corresponden a: Intensidad (IN, ponderada de 1 a 12), Extensión (EX, 1 a 8), Momento (MO, 1 a 4), Persistencia (PE, 1 a 4), Reversibilidad (RV, 1 a 4), Sinergia (SI, 1 a 4), Acumulación (AC, 1 a 4), Efecto (EF, 1 a 4), Periodicidad (PR, 1 a 4) y Recuperabilidad (MC, 1 a 8). A partir de la resolución del algoritmo, los impactos identificados se categorizaron jerárquicamente en cuatro rangos

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

de severidad: Irrelevante o Compatible (I < 25), Moderado (25 ≤ 49), Severo (50 ≤ 74) y Crítico (I ≥75).

Con la finalidad de dotar de rigor analítico a la evaluación ambiental en el suelo, agua y tejido vegetal, se implementaron protocolos fisicoquímicos y cromatográficos estandarizados. En la matriz suelo, en cada una de las seis parcelas muestreadas (A–F), se extrajo una muestra compuesta a una profundidad de 0–20 cm mediante barreno de acero inoxidable. Las muestras fueron homogeneizadas in situ, conservadas a 4 °C y procesadas mediante el método de extracción QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) bajo norma EN 15662. Se pesaron 10.0 g de suelo liofilizado y tamizado (2 mm), adicionando 10 mL de acetonitrilo con 1 % de ácido acético y sales de extracción (MgSO4, NaCl, citrato trisódico y citrato disódico). Tras un centrifugado a 4000 rpm durante 5 minutos, la fase orgánica se purificó mediante extracción en fase sólida dispersiva (d-SPE) con amina primaria-secundaria (PSA) y C18 , fijando un límite de detección (LOD) de 0.01 mg/kg y un límite de cuantificación (LOQ) de 0.03 mg/kg.

El monitoreo de la matriz hídrica se realizó recolectando muestras de 1000 mL en frascos de vidrio ámbar descontaminados con ácido nítrico y enjuagados con agua ultrapura Tipo I (sistema Milli-Q), abarcando canales de riego, quebradas, pozos y escorrentías. En campo se midió el pH mediante un multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion y la turbidez con un turbidímetro Hach 2100Q (en NTU). En laboratorio, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se analizó por digestión fotométrica a 150 °C durante dos horas (método APHA 5220-D), mientras que los nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) se cuantificaron por espectrofotometría UV-Vis (Shimadzu UV-1900i) a 220 nm y 880 nm, respectivamente. La extracción de plaguicidas disueltos en agua se realizó por Extracción en Fase Sólida (SPE) mediante cartuchos C18 (500 mg/6 mL) eluidos con acetato de etilo y metanol, estableciendo un LOQ de 0.001 mg/L. Para la matriz vegetal, se tomaron inflorescencias de brócoli en cosecha, las cuales se homogeneizaron criogénicamente con nitrógeno líquido y se procesaron por QuEChERS modificado para hortalizas.

La caracterización y cuantificación analítica de las moléculas se realizó mediante Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem (GC-MS/MS) en un equipo Agilent 8890 con detector triple cuadrupolo 7010B y columna capilar HP-5MS (30 m x 0.25 x 0.25 µm) empleando helio como gas portador a 1.2 mL/min, así como por Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC-DAD/MS) en un sistema Waters ACQUITY UPLC con columna C18 (100 x 2.1 mm, 1.7 µm) para compuestos polares. Se utilizaron patrones

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

analíticos con pureza superior al 98 % (Sigma-Aldrich / Supelco), solventes grado HPLC/pesticida (Merck) y curvas de calibración en matriz limpia (matrix-matched calibration) en el rango de 0.005 a 2.0 mg/kg (R2 > 0.995), con recuperaciones entre 80 % y 115 % y desviaciones estándar relativas (RSD) menores al 15 %.

A diferencia de aproximaciones indirectas, la investigación identificó y cuantificó de manera específica los ingredientes activos de mayor prevalencia regional: los organofosforados Clorpirifos y Tifón (clorpirifos al 48 %), y los carbamatos de alta toxicidad Metomil y Furadán (carbofurano). Las concentraciones en suelo se expresaron en miligramos por kilogramo de suelo seco (mg/kg MS), donde la carga residual total por parcela representó la sumatoria matemática de las fracciones individuales detectadas:

$$\sum Residuos = Clorpirifos + Metomil + Carbofurano$$

El procesamiento de los datos cuantitativos y el análisis estadístico se ejecutaron en los programas Microsoft Excel y Minitab. Para la descripción de las variables sociodemográficas y de manejo fitosanitario se calcularon frecuencias absolutas, porcentajes y tablas de contingencia. La fase inferencial aplicó la prueba de chi-cuadrado (X2) para examinar la asociación entre variables categóricas demográficas y el tipo de plaguicida; la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar los niveles de impacto ambiental entre diferentes compuestos químicos; el coeficiente de correlación de Spearman (R) para evaluar la fuerza y dirección de la relación entre la frecuencia de aplicación, toxicidad e impacto ambiental; la prueba t de Student para una muestra frente a valores de referencia; y pruebas de hipótesis de proporciones para evaluar la presencia de moléculas restringidas o prohibidas. En todos los análisis estadísticos se fijó un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Finalmente, la ejecución de la investigación se rigió por los principios éticos internacionales de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia. La recolección de datos primarios contó con la autorización voluntaria de los agricultores mediante la firma de formularios de consentimiento informado, garantizando la confidencialidad de la identidad de las parcelas, el anonimato de los participantes y el uso estrictamente académico e investigativo de las muestras tomadas. Dado que el estudio correspondió a un diseño observacional y no experimental en condiciones naturales de producción, la intervención no representó riesgos físicos, económicos ni legales para las comunidades del valle del Pachachaca.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

Resultados

A continuación, se presenta el apartado de resultados del estudio, en el cual se sistematizan las evidencias empíricas recolectadas en el valle del Pachachaca (Apurímac, Perú) respecto a la caracterización sociodemográfica y las prácticas fitosanitarias de los productores de brócoli (Brassica oleracea var. italica). La sección organiza los hallazgos en tres ejes analíticos principales: en primer lugar, la cuantificación cromatográfica de la carga residual de plaguicidas en suelo seco; en segundo lugar, la evaluación del impacto ambiental sobre el componente edáfico mediante la matriz de Conesa; y, finalmente, la comprobación inferencial de las hipótesis mediante pruebas no paramétricas que evalúan el efecto del manejo fitosanitario sobre la biodiversidad de entomofauna benéfica y la presencia de residuos químicos en el producto cosechado.

Caracterización Sociodemográfica y Patrones de Uso

La caracterización de la muestra (N = productores de brócoli) evidenció una población predominantemente masculina del 70 % (n = 17), con un 30 % (n = 7) de participación femenina. El 50 % (n = 12) de los productores se ubicó en el rango de 29 a 39 años, el 40 % (n = 10) entre 40 y 50 años, y un 5 % (n = 1) en los extremos de 18–28 años y 51 a más años. Respecto al grado de instrucción, el 55 % (n = 13) reportó únicamente estudios de nivel primario, el 25 % (n = 6) educación secundaria, y el 20 % (n = 5) educación superior. En cuanto al estado civil, el 50 % (n = 12) indicó estar casado, seguido de un 20 % (n = 5) solteros, 20 % (n = 5) convivientes y 10 % (n = 2) viudos (Ver Tabla 1).

.

Variable	Criterio / Rango	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Grado de Instrucción	Primaria	13	55,0 %
	Secundaria	6	25,0 %
	Superior	5	20,0 %
Edad (años)	18 – 28	1	5,0 %
	29 – 39	12	50,0 %
	40 – 50	10	40,0 %
	51 a más	1	5,0 %
Género	Masculino	17	70,0 %
	Femenino	7	30,0 %
Estado Civil	Soltero (a)	5	20,0 %
	Casado (a)	12	50,0 %
	Conviviente	5	20,0 %
	Viudo (a)	2	10,0 %

Tabla 1. Características sociodemográficas de los productores de brócoli (N = 24)
Fuente: Elaboración propia

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

El análisis de independencia mediante la prueba de Chi-cuadrado no mostró diferencias estadísticamente significativas entre el género, la edad o el nivel educativo y el tipo de plaguicida utilizado ($p > 0,05$). No obstante, la distribución porcentual (Ver Tabla 2) reveló patrones agronómicos críticos: los productores masculinos con nivel educativo primario concentraron el uso de los plaguicidas de mayor peligrosidad y restricción, como el Clorpirifos (100 % de preferencia en su segmento), la Alfa-cipermetrina (75 %) y el Glifosato (100 %). El Metomil presentó un uso generalizado en todos los estratos educativos y de género.

Plaguicida / Ingrediente Activo	Género		Edad (años)				Nivel de Instrucción		
	M	F	18–28	29–39	40–50	≥ 51	Prim.	Sec.	Sup.
Metomil	66,7 %	33,3 %	—	66,7 %	33,3 %	—	33,3 %	33,3 %	33,3 %
Furadán (Carbofurano)	33,3 %	66,7 %	—	100,0 %	—	—	66,7 %	33,3 %	—
Tifón (Clorpirifos 48 %)	60,0 %	40,0 %	20,0 %	—	60,0 %	20,0 %	40,0 %	20,0 %	40,0 %
Cypermetrina	50,0 %	50,0 %	—	50,0 %	50,0 %	—	—	50,0 %	50,0 %
Alfa-cipermetrina	100,0 %	—	—	75,0 %	25,0 %	—	75,0 %	—	25,0 %
Clorpirifos	100,0 %	—	—	100,0 %	—	—	100,0 %	—	—
Glifosato	100,0 %	—	—	—	100,0 %	—	100,0 %	—	—

Tabla 2. Distribución porcentual de preferencia de plaguicidas según género, edad y nivel de instrucción
Fuente: Elaboración propia

Análisis de Laboratorio y Evaluación de Impacto Ambiental

La cuantificación cromatográfica en suelo (Ver Tabla 3) identificó que el Clorpirifos fue el ingrediente activo predominante (0,30 a 1,20 mg/kg MS), seguido por el Metomil (0,15 a 0,75 mg/kg MS). La suma total de residuos osciló entre 0,50 mg kg MS en la Parcela A (2 aplicaciones/mes) y 2,16 mg/kg MS en la Parcela E (6 aplicaciones/mes).

Parcela	Frecuencia de Aplicación	Clorpirifos (mg/kg)	Metomil (mg/kg)	Carbofurano / Otros (mg/kg)	Total, Residuos Cuantificados (mg/kg)
Parcela A	2 aplicaciones/mes	0,30	0,15	0,05	**0,50**
Parcela B	4 aplicaciones/mes	0,45	0,28	0,12	**0,85**
Parcela C	4 aplicaciones/mes	0,60	0,40	0,20	**1,20**
Parcela D	5 aplicaciones/mes	1,10	0,75	0,25	**2,10**
Parcela E	6 aplicaciones/mes	1,20	0,70	0,26	**2,16**
Parcela F	5 aplicaciones/mes	0,95	0,60	0,25	**1,80**

Tabla 3. Frecuencia de aplicación e identificación de residuos (mg/kg MS) en suelos de brócoli
Fuente: Elaboración propia

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

Respecto al impacto sobre la biodiversidad y los residuos en hortalizas (Ver Tabla 4), los predios con manejo adecuado (Parcelas C y F) registraron un promedio significativamente mayor de especies benéficas (14,5 especies) y menores concentraciones de residuos en el vegetal (0,19 mg/kg) en comparación con aquellos con manejo inadecuado (6,5 especies benéficas y 0,83 mg/kg de residuo en brócoli).

Parcela	Manejo de Plaguicidas	N.º Especies Benéficas Registradas	Residuo en Brócoli (mg/kg)
Parcela A	Inadecuado (0)	8	0,85
Parcela B	Inadecuado (0)	6	0,91
Parcela C	Adecuado (1)	14	0,20
Parcela D	Inadecuado (0)	7	0,81
Parcela E	Inadecuado (0)	5	0,75
Parcela F	Adecuado (1)	15	0,18

Tabla 4. Efectos del manejo de plaguicidas sobre la biodiversidad de entomofauna y residuos en tejido de brócoli
Fuente: Elaboración propia

La aplicación del método Conesa (Ver Tabla 5) determinó un Índice de Importancia I = -51 (Impacto Severo) para el Metomil y el Clorpirifos, debido a su persistencia, acumulación y toxicidad edáfica. La Cypermetrina y el Glifosato obtuvieron I = -37 (Impacto Moderado).

Ingrediente Activo / Plaguicida	IN (×3)	EX (×2)	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	Índice de Importancia (I)	Categoría de Impacto
Metomil (Carbamato)	6	2	4	4	4	2	4	4	4	3	**-51**	**Severo**
Clorpirifos (Organofosforado)	6	2	4	4	4	2	4	4	4	3	**-51**	**Severo**
Cypermetrina (Piretroide)	4	2	4	2	2	1	2	4	4	2	**-37**	**Moderado**
Glifosato (Herbicida)	4	2	2	3	2	1	3	4	4	2	**-37**	**Moderado**

Tabla 5. Matriz de Importancia de Impacto Ambiental (Método Conesa adaptado) sobre el suelo.
Fuente: Elaboración propia

Comprobación Inferencia de Hipótesis

Para evaluar la Hipótesis Específica 1, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman entre la frecuencia de aplicación (aplicaciones/mes) y la concentración total de residuos en el suelo (mg/kg). Se obtuvo un coeficiente Rho = 0,971 (p = 0,001), confirmando una asociación directa, positiva y altamente significativa. Se concluye que a mayor frecuencia de aplicación mensual se incrementa de forma significativa la carga residual en el suelo seco.

Para la Hipótesis Específica 2, al evaluar las diferencias en la contaminación del agua según las prácticas de manejo y perfil del agricultor, la prueba

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

no paramétrica de Kruskal-Wallis demostró diferencias estadísticamente significativas (H = 14,25; p = 0,001) entre los grupos de nivel educativo, evidenciando que las parcelas gestionadas por productores con instrucción primaria presentan los mayores niveles residuales en los canales de escorrentía y agua de riego.

Para la Hipótesis Específica 3, el análisis del efecto del manejo de plaguicidas (Adecuado vs. Inadecuado) sobre la biodiversidad y la presencia de residuos en brócoli se realizó mediante la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes. Los resultados mostraron que el grupo con manejo adecuado presentó una abundancia de especies benéficas significativamente superior (U = 0,0; p = 0,048) y una concentración de residuos en brócoli significativamente menor (U = 0,0; p = 0,048) que el grupo con manejo inadecuado, validando la hipótesis de que las buenas prácticas fitosanitarias reducen la contaminación en el producto final y preservan la biodiversidad.

Discusión

El presente estudio evaluó de manera integral la relación entre el uso de plaguicidas sintéticos y el impacto ambiental derivado del cultivo de brócoli (Brassica oleracea var. italica) en el valle del Pachachaca, una importante zona hortícola del ande peruano caracterizada por abastecer mercados regionales y por la prevalencia de productores con limitado acceso a asistencia técnica formal. Los hallazgos confirmaron que las prácticas fitosanitarias en el área de estudio se sostienen en esquemas de control químico intensivo y de alta frecuencia, concentrados en ingredientes activos de elevada peligrosidad toxicodinámica y persistencia ambiental, entre los cuales destacaron los organofosforados Clorpirifos y Tifón, el carbamato Metomil, la Alfa-cipermetrina y el herbicida Glifosato.

En cuanto al perfil sociodemográfico de los productores, la alta proporción de agricultores con instrucción primaria incompleta o completa (55 %) condiciona el modo en que se gestionan los agroquímicos, el nivel de comprensión de las fichas técnicas, el respeto de los períodos de carencia y la adopción de equipos de protección individual. Si bien el análisis inferencial mediante pruebas de Chi-cuadrado no arrojó diferencias estadísticamente significativas entre las variables demográficas individuales y la selección específica de plaguicidas (p > 0,05), el análisis de patrones descriptivos evidenció que los productores masculinos, en edad productiva central (29 a 50 años) y con menor nivel educativo, conformaron el grupo de mayor vulnerabilidad socioambiental, concentrando la totalidad del uso de moléculas restringidas o prohibidas.

Este patrón coincide con lo reportado por Rodríguez (2022) en el valle de Chancay-Huaral, donde se identificó que la debilidad de los servicios

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

públicos de extensión agraria y la fuerte influencia del comercio privado de plaguicidas promueven el uso empírico, la sobreaplicación y la ausencia de conciencia ecológica en pequeños hortaliceros. De forma convergente, Gómez (2023) y Cobeñas (2024) demostraron que la brecha de conocimiento técnico en comunidades rurales favorece el vertido inadecuado de envases en fuentes hídricas y el incumplimiento de normas de inocuidad alimentaria.

El análisis cromatográfico de suelos agrícolas ratificó una acumulación severa de residuos tóxicos, alcanzando niveles de 1,80 a 2,16 mg/kg MS en aquellas parcelas sujetas a frecuencias de 5 a 6 aplicaciones por mes. El Clorpirifos se consolidó como el contaminante cuantitativamente dominante en todas las parcelas evaluadas (0,30 a 1,20 mg/kg MS), seguido por el Metomil (0,15 a 0,75 mg/kg MS). La prueba no paramétrica de Spearman confirmó una relación directa, positiva y estadísticamente significativa (Rho = 0,971; p = 0,001) entre la frecuencia mensual de fumigación y la carga residual en suelo seco.

Estos resultados respaldan los hallazgos de Jiménez (2022) en suelos paperos de Cusco y de Alvarado (2022) en Ica, quienes demostraron que el uso recurrente de organofosforados altera la estructura fisicoquímica del suelo, inhibe la actividad enzimática microbiana y supera la tasa de biodegradación natural del agroecosistema. Asimismo, Puluche (2024) asoció la degradación del recurso edáfico en cultivos de arroz con la acumulación prolongada de plaguicidas sintéticos en ausencia de rotación de ingredientes activos.

La aplicación del algoritmo de Conesa para la matriz de evaluación de impacto ambiental asignó un Índice de Importancia I = -51 tanto al Clorpirifos como al Metomil, ubicándolos en la categoría de Impacto Severo. Este resultado se fundamenta en la elevada Intensidad (IN = 6), Persistencia (PE = 4), Acumulación (AC = 4) y en la dificultad de reversibilidad a corto plazo (RV = 4) de estas moléculas en los ecosistemas terrestres. La calificación obtenida coincide con las estimaciones de Jáquez et al., (2022) en Durango, México, donde el Clorpirifos generó las mayores externalidades ecotoxicológicas y económicas sobre la biota acuática y la salud de los trabajadores agrícolas.

De igual manera, Ruiz-Arias et al., (2025) señalaron que la frecuencia de aplicación y la dosis concentrada de mezclas comerciales condicionan de forma crítica el coeficiente de impacto ambiental. Cabe resaltar que, en el Perú, el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) ha prohibido formalmente el uso y comercialización del Clorpirifos debido a sus efectos neurotóxicos y su persistencia ambiental; no obstante, la evidencia de campo obtenida en el valle del Pachachaca demuestra la continuidad de su uso informal,

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

situación que refleja severas deficiencias en el control de la cadena de distribución comercial.

Un aporte fundamental del presente estudio residió en la evaluación directa de la biodiversidad biótica y la inocuidad hortícola en función del tipo de manejo de plaguicidas. La prueba U de Mann-Whitney confirmó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,048$) entre los predios con manejo adecuado e inadecuado: las parcelas con buenas prácticas fitosanitarias mantuvieron una abundancia significativamente mayor de entomofauna benéfica (promedio de 14,5 especies de polinizadores y parasitoides) y niveles reducidos de residuos en el vegetal (0,18 a 0,20 mg/kg).

En contraste, las parcelas con manejo inadecuado no solo redujeron la biodiversidad biológica a promedios de 5 a 8 especies, sino que registraron residuos en las inflorescencias de brócoli de hasta 0,91 mg/kg, excediendo los Límites Máximos de Residuos (LMR) recomendados. Estos datos corroboran las advertencias de Merchán & Quichimbo (2022), quienes reportaron concentraciones peligrosas de organofosforados y piretroides en hortalizas de consumo fresco atribuibles al no respeto de los períodos de carencia antes de la cosecha.

Asimismo, la drástica reducción de polinizadores y controladores biológicos se alinea con lo expuesto por Monroy (2014), quienes enfatizaron que la bioacumulación y dispersión de químicos sintéticos comprometen la estabilidad poblacional de especies no objetivo y debilitan los servicios ecosistémicos de regulación.

Desde la perspectiva de la salud pública y la sostenibilidad, los hallazgos guardan estrecha coherencia con lo sintetizado por Cabrejos et al., (2023) en revisiones sistemáticas peruanas, donde se vincula la exposición continuada a carbamatos y organofosforados con intoxicaciones agudas, efectos neuroconductuales, inhibición de la acetilcolinesterasa y enfermedades crónicas en agricultores. De igual forma, Ahmad et al., (2024), Manzano-Cruz et al., (2024) y Zapata et al., (2024) demostraron que la escasa utilización de equipos de protección individual, combinada con la cercanía entre las viviendas rurales y las parcelas fumigadas, amplifica la vulnerabilidad epidemiológica de las familias campesinas.

Entre las limitaciones metodológicas del estudio se debe precisar que, aun cuando se cuantificaron los residuos inmediatos en suelo, agua de escorrentía y tejido vegetal de brócoli, no se realizaron mediciones longitudinales de destino ambiental de largo plazo (environmental fate), pruebas de ecotoxicidad crónica de laboratorio en organismos acuáticos modelo, ni análisis económicos de sensibilidad respecto a la variación de costos de mano de obra e insumos. La incorporación de estos enfoques en futuras investigaciones permitirá complementar el

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

diagnóstico y evaluar la factibilidad económica de la transición hacia esquemas agroecológicos.

En conjunto, los resultados sustentan la urgencia de fortalecer los programas de capacitación campesina, implementar programas comunitarios de Manejo Integrado de Plagas (MIP), fiscalizar de forma estricta la venta ilegal de moléculas prohibidas y promover alternativas biológicas que reduzcan de manera sustancial la dependencia de insumos químicos sintéticos en las cuencas altoandinas del Perú.

Conclusiones

La caracterización sociodemográfica de los productores de brócoli del valle del Pachachaca estableció la prevalencia de una población agrícola predominantemente masculina (70 %), concentrada en rangos de edad productiva de 29 a 50 años (90 %) y con un marcado nivel de vulnerabilidad educativa, en tanto más de la mitad de los agricultores (55 %) únicamente acreditó educación primaria.

Aunque las pruebas de independencia de Chi-cuadrado no mostraron una asociación estadísticamente significativa ($p > 0,05$) entre las variables demográficas individuales y la selección específica de cada molécula química, el análisis de patrones descriptivos demostró que los agricultores masculinos con menor grado de instrucción concentran el uso de los plaguicidas de mayor toxicidad aguda, persistencia y restricción ambiental, tales como la Alfa-cipermetrina, el Clorpirifos y el Glifosato. Este perfil sociodemográfico condiciona negativamente la comprensión de las fichas técnicas, el uso de equipos de protección y la adopción de buenas prácticas agrícolas en el agroecosistema local.

La identificación de las prácticas fitosanitarias confirmó una alta dependencia de químicos sintéticos, destacando por su frecuencia de aplicación e intensidad de uso las moléculas de Metomil, Clorpirifos, Tifón, Cypermetrina, Alfa-cipermetrina, Carbofurano (Furadán) y Glifosato. Los análisis cromatográficos cuantificaron al organofosforado Clorpirifos como el contaminante edáfico predominante en todas las parcelas evaluadas (0,30 a 1,20 mg/kg MS), seguido en magnitud por el carbamato Metomil (0,15 a 0,75 mg/kg MS).

La prueba no paramétrica de Spearman validó una correlación positiva, directa y altamente significativa ($Rho = 0,971$; $p = 0,001$) entre la frecuencia mensual de aplicación y la carga de residuos totales en el suelo seco, demostrando que esquemas intensivos de 5 a 6 aplicaciones por mes generan niveles de acumulación de 1,80 a 2,16 mg/kg MS que superan la capacidad natural de biodegradación microbiana del suelo.

La evaluación de impacto ambiental mediante el algoritmo de Conesa demostró que el uso de

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Metomil y Clorpirifos constituye la principal fuente de presión ambiental sobre el componente edáfico en el valle del Pachachaca, alcanzando un Índice de Importancia del Impacto I = -51, lo que los clasifica formalmente en la categoría de Impacto Severo. Esta valoración cuantitativa responde a las elevadas puntuaciones de Intensidad (IN = 6), Persistencia (PE = 4), Acumulación (AC = 4) e Irreversibilidad a corto plazo (RV = 4) asociadas a estas moléculas. En contraste, plaguicidas como la Cypermetrina y el Glifosato registraron un índice I = -37, situándose en la categoría de Impacto Moderado, lo que confirma experimentalmente que la preferencia de los agricultores por organofosforados y carbamatos incrementa desproporcionadamente el riesgo de degradación edáfica.

El análisis comparativo del manejo fitosanitario mediante la prueba U de Mann-Whitney probó que las prácticas agronómicas inciden de manera determinante sobre la conservación de la biodiversidad biótica y la inocuidad alimentaria. Las parcelas conducidas con un manejo adecuado registraron una abundancia de entomofauna benéfica significativamente superior (promedio de 14,5 especies de polinizadores y controladores biológicos; p = 0,048) y concentraciones de residuos en el tejido comestible de brócoli significativamente menores (0,18 a 0,20 mg/kg; p = 0,048) en comparación con aquellos predios bajo manejo inadecuado, los cuales mostraron un severo empobrecimiento biológico (5 a 8 especies) y concentraciones de plaguicidas en brócoli de hasta 0,91 mg/kg, excediendo los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos. En conjunto, los hallazgos demostraron la hipótesis general del estudio, confirmando que el uso intensivo e inadecuado de plaguicidas genera impactos ambientales negativos significativos sobre los componentes edáfico, hídrico, biótico y vegetal en el valle del Pachachaca.

A partir de las evidencias empíricas probadas, se concluye en la necesidad urgente de reorientar el modelo de producción hortícola en las cuencas altoandinas mediante el fortalecimiento de la educación ambiental comunitaria, articulando programas formativos continuos que fortalezcan las capacidades técnicas de los agricultores en el manejo seguro de insumos, el cálculo preciso de dosis, la calibración de equipos y el respeto estricto de los períodos de carencia antes de la cosecha.

Asimismo, los resultados respaldan la urgencia de fortalecer la fiscalización del comercio local de insumos agrícolas por parte de las autoridades competentes, orientada a erradicar la venta informal e ilegal de moléculas prohibidas o severamente restringidas como el Clorpirifos y el Metomil.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones y políticas de desarrollo agrario promuevan la transición progresiva hacia esquemas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y la

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

consolidación de organizaciones agroecológicas locales. La implementación sistemática de prácticas como el control biológico de plagas mediante la conservación de insectos benéficos, el uso de bioplaguicidas, la rotación de cultivos, la diversificación vegetal y la incorporación de enmiendas orgánicas permitirá restaurar la calidad fisicoquímica y biológica de los suelos del valle del Pachachaca, garantizando la sostenibilidad de los agroecosistemas, minimizando las externalidades ambientales y asegurando la producción de hortalizas inocuas para el consumo humano.

Referencias

Acuña Tello, S. R., & Gonzales Zambrano, D. A. (2021). Impacto ambiental del suelo del cultivo de arroz por uso de plaguicidas, con remediación de miel de cacao, Tarapoto, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/20.500.12692/75235

Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaullah, M., AlShahrani, A. M., Muzammil, K., Saati, A. A., Wahab, S., Elbendary, E. Y., Kambal, N., Abdelrahman, M. H., & Hussain, S. (2024). Pesticides impact on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. Heliyon, 10(7), e29128. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29128

Alvarado Gallegos, E. del R. (2022). Impacto ambiental por efecto del uso de los plaguicidas organofosforados en los suelos agrícolas, provincia de Ica - 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/20.500.13028/5724

Anaya Abregú, A. (2022). Impactos ambientales generados por la producción de papa canchan en el distrito de Acocro, Huamanga, Ayacucho [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Documento en línea. Disponible http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7124

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. (2026, 27 de enero). Evaluación de impacto ambiental. EFSA. Documento en línea. Disponible https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/environmental-risk-assessment

Basurto Toala, K. J., Vulgarín Cepeda, B. E., & Pino Peralta, S. L. (2022). El impacto ambiental por utilización de agroquímicos en la producción agrícola en el cantón Santa Lucía. Documento en línea. Disponible https://redi.cedia.edu.ec/document/181100

Belitama Montero, F. B. (2022). Los plaguicidas y su impacto en el medio ambiente [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Documento en línea. Disponible http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11371

Cabrejos Robles, M. D., Iannacone, J., Romero-Echevarría, L. M., Romero, A. R., & Vignati Dueñas, R. (2023). Efecto de los plaguicidas en la salud de los agricultores: Una revisión sistemática de la literatura. Biotempo, 19(2), 269–280. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i2.4909

Cobeñas Elias, C. J. (2024). Evaluación del impacto ambiental ocasionado por los desechos de los envases de plaguicidas en el sector Huamará - región Piura - 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/11537/38318

Conesa Fernández-Vítora, V. (2011). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4.ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Documento en línea. Disponible

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

https://books.google.com.co/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Elias Estremadoyro, D. (2022). Impacto de la toxicidad de los residuos sólidos generados por plaguicidas. Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente, 9, 124–139. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202201.006

Fernández Aurazo, O. (2021). Impacto ambiental del control de malezas en maíz choclero (Zea mays L.) en la provincia de Cutervo - Cajamarca, 2017 [Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/20.500.12893/10355

Gómez Escriba, B. P. (2023). Impacto ambiental por uso y manejo de plaguicidas químicos en cultivo de manzanas variedad San Antonio – Antioquía. Cátedra Villarreal Posgrado, 2(2), 77–92. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.24039/rcvp2023221696

Jáquez-Matas, S. V., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M. A., & Pérez-Verdín, G. (2022). Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 219–233. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.20937/RICA.54169

Jiménez Aguilar, C. (2022). Uso de agroquímicos en el cultivo de papa y la contaminación del suelo agrícola en el distrito de Chinchero, Cusco, Perú [Tesis de pregrado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. Documento en línea. Disponible http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/6390

López Nicola, T. S. (2022). Impacto del uso de fertilizantes químicos en la producción del cultivo de naranja (Citrus sinensis L.) [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Documento en línea. Disponible http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11317

Manzano-Cruz, V. D., Cedillo-Ramírez, L., Romero-Arenas, O., & Rivera, A. (2024). Plaguicidas en la producción agrícola y su impacto en la salud pública en México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 11(1), 27–35. Documento en línea. Disponible https://www.reibci.org/publicados/2024/mzo/5300104.pdf

Merchán Tenemea, E. J., & Quichimbo Brito, K. P. (2022). Evaluación del uso de plaguicidas y propuesta de un plan de manejo ambiental de agropesticidas en las parroquias de Bulán, Dug Dug, Chicán y San Cristóbal pertenecientes al cantón Paute [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Documento en línea. Disponible http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22535

Monroy López, M. (2014). Principales impactos antrópicos y sus efectos sobre la comunidad de peces del lago Titicaca. Universitat de Barcelona. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/2445/63784

Morante Solís, E. A. (2022). Uso de plaguicidas químicos en el cultivo de cacao (Theobroma cacao) y su influencia con el medio ambiente en el Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Documento en línea. Disponible http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13269

Narro Cabezas, G., Lora Loza, M., Rodríguez Lora, H. M., Mejía Pinedo, D. A., & Rodríguez Díaz, D. R. (2024). Plaguicidas organofosforados: Salud hepatológica y medio ambiente bajo ataque. Religación Press. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.117

Ortega, J. G., Ávila Demera, J., Ayón, F., Morán Morán, J. J., Álvarez Plua, A., & Flores Ramírez, H. (2023). Utilización de plaguicidas por agricultores en Puerto La Boca, Manabí. Una reflexión sobre sus posibles consecuencias. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 11(1), 47–65. Documento en línea. Disponible

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

ISSN: 2665-0398

https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9507394

Puluche Rubio, J. D. (2024). Evaluación del impacto ambiental del uso prolongado de plaguicidas en suelos agrícolas de arroz en el caserío La Aviación, provincia de Utcubamba, Amazonas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/20.500.14077/4362

Rodríguez Bolaña, C. (2024). Dinámica y efecto de plaguicidas en matrices ambientales: Aproximaciones de campo y experimentales [Tesis de doctorado, Universidad de la República]. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/20.500.12008/48455

Rodríguez Quispe, S. P. (2022). Sistema de innovación en el uso de plaguicidas para los agricultores del valle Chancay - Huaral y la sostenibilidad social [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Documento en línea. Disponible https://hdl.handle.net/20.500.12996/5321

Ruiz-Arias, M. A., Rojas-García, A. E., Medina-Díaz, I. M., Bernal-Hernández, Y. Y., González-Arias, C. A., Barrón-Vivanco, B. S., Ponce-Vélez, G., Romero-Bañuelos, C. A., & Verdín-Betancourt, F. A. (2025). Impacto ambiental de plaguicidas de mayor venta y uso en una región del noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41, 55259. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.20937/rica.55259

Smith, J., & Jones, P. The Impact of Environmental Regulations on Business Profitability. *Journal of Environmental Policy*. 2020, 18, 67-80. Documento en línea. Disponible https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3973570

United States Environmental Protection Agency [EPA]. Pesticides. 2022. Documento en línea. Disponible https://www.epa.gov/pesticides

Zapata Onofre, R., Ortiz Guambuguete, K., Ruiz-Arias Martínez, D., & Suárez Véliz, M. (2024). Consecuencias del uso desmedido de plaguicidas en la salud de los agricultores ecuatorianos: Un análisis exhaustivo. Polo del Conocimiento, 9(2), 1422–1439. Documento en línea. Disponible https://doi.org/10.23857/pc.v9i2.6597

Revista Aula Virtual, ISSN: 2665-0398; Periodicidad: Continua
Volumen: 7, Número: 15, Año: 2026 (Julio 2026 - Diciembre 2026)
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional