

Determinación de plaguicida Aldicarb en *Solanum tuberosum* L. (papa) y consecuencias en la salud por su uso en agricultores del departamento de Junín – Perú. 2023

*Aldicarb Pesticide Determination in *Solanum tuberosum* L. and Health Consequences Among Farmers in Junín, Peru 2023*

Ruth Angelica Taipe Ceferino ^a 

✉ angiecarlo85@gmail.com

Walter Rivas Altez ^a 

Edgar Robert Tapia Manrique ^a 

Davis Alberto Mejía Pinedo ^a 

^a Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

Resumen

Palabras clave:

Agricultores;
Cromatografía líquida;
Enfermedad profesional;
Solanum tuberosum;
Plaguicidas

Keywords:

Farmers; Liquid
chromatography;
Occupational disease;
Solanum tuberosum;
Pesticides

Cómo citar:

Taipe Ceferino RA, Rivas Altez W, Tapia Manrique ER, Mejía Pinedo DA. Determinación de plaguicida Aldicarb en *Solanum tuberosum* L. (papa) y consecuencias en la salud por su uso en agricultores del departamento de Junín – Perú. 2023. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-16. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.473>

Contexto: El uso intensivo de plaguicidas en cultivos de papa genera contaminación alimentaria y riesgos para la salud de agricultores y consumidores, constituyendo un problema relevante en regiones agrícolas como Junín, Perú. **Objetivo:** Determinar la presencia del plaguicida Aldicarb en muestras de *Solanum tuberosum* L. de tres parcelas de Junín y su relación con la salud de los trabajadores agrícolas expuestos. **Metodología:** Se desarrolló un estudio descriptivo-correlacional con muestreo censal de 27 agricultores y 12 muestras de papa. La cuantificación de Aldicarb se realizó mediante HPLC-MS/MS, y las variables sociodemográficas, laborales y de salud se evaluaron mediante cuestionario validado. **Resultados:** Todas las muestras superaron el límite máximo permisible de 0,01 ppm, con concentraciones entre 3,7 y 27,7 µg/g. Se encontraron asociaciones significativas ($p < 0,05$) entre los niveles de Aldicarb y la edad, nivel educativo, uso de protección personal, manifestaciones tóxicas y frecuencia de fumigación de los agricultores. **Conclusiones:** El plaguicida Aldicarb se encuentra en concentraciones superiores a los límites permitidos en la papa cultivada en Junín, reflejando riesgos para la salud de los trabajadores y consumidores. La presencia elevada está asociada a prácticas agrícolas inadecuadas y condiciones sociolaborales deficientes, subrayando la necesidad de medidas de control, capacitación en manejo seguro de plaguicidas y políticas de regulación más estrictas.

Abstract

Context: intensive pesticide application in potato cultivation leads to food contamination and significant health risks for both farmers and consumers, representing a critical issue in agricultural regions like Junín, Peru. **Objective:** to determine Aldicarb levels in *Solanum tuberosum* L. samples from three plots in Junín and evaluate their relationship with the health status of exposed agricultural workers. **Methods:** this descriptive-correlational study utilized census sampling of 27 farmers and 12 potato specimens. Aldicarb was quantified via HPLC-MS/MS, while sociodemographic, occupational, and health variables were assessed using a validated questionnaire. **Results:** all samples exceeded the maximum permissible limit (0.01 ppm), with concentrations ranging from 3.7 to 27.7 µg/g. Significant associations ($p < .05$) were identified between Aldicarb levels and age, educational attainment, personal protective equipment (PPE) use, toxic symptoms, and spraying frequency. **Conclusion:** Aldicarb levels in Junín-grown potatoes significantly exceed



permissible thresholds, posing severe risks to workers and consumers. These high concentrations are linked to inadequate agricultural practices and poor occupational conditions, highlighting the urgent need for stricter regulatory policies, enhanced monitoring, and safety training.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye uno de los cultivos de mayor relevancia económica y social en la región andina del Perú, particularmente en el departamento de Junín, donde las prácticas agrícolas tradicionales coexisten con sistemas de producción convencionales que dependen intensivamente de insumos agroquímicos ⁽¹⁾. En este contexto, el control fitosanitario de plagas como el gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* spp.) y la polilla de la papa ha llevado a los agricultores a incorporar plaguicidas de amplio espectro, entre ellos los carbamatos, sin una evaluación rigurosa de las implicancias que esta decisión productiva conlleva para la salud humana y la calidad de los alimentos destinados al consumo ⁽²⁻⁴⁾. Esta problemática adquiere dimensiones particulares en territorios como la provincia de Chupaca, donde distintas escalas productivas y niveles de tecnificación determinan patrones heterogéneos de manejo agroquímico que pueden transformar insumos destinados a proteger la producción en agentes contaminantes con potencial impacto sanitario.

En este contexto, los compuestos utilizados en la agricultura de la región, el Aldicarb, cuyo nombre IUPAC corresponde a 2-metil-2-(metiltio)propionaldehído-O-metilcarbamoiloxima, representa un insecticida sistémico perteneciente al grupo químico de los carbamatos de oxima, ampliamente empleado para el control de insectos, nematodos y ácaros en el cultivo de papa ⁽⁵⁻⁸⁾. Su mecanismo de acción, basado en la inhibición reversible de la acetilcolinesterasa, explica no solo su eficacia plaguicida sino también su toxicidad para organismos no blanco, incluido el ser humano. La exposición a este tipo de compuestos puede ocurrir a través de múltiples vías: la inhalación durante las labores de aplicación, el contacto dérmico por ausencia de medidas de protección adecuadas, y la ingestión de alimentos que contienen residuos del plaguicida en concentraciones que superan los límites establecidos por las autoridades sanitarias.

La preocupación por la presencia de residuos de plaguicidas en alimentos no constituye un fenómeno aislado ni reciente ⁽⁹⁾. Diversas agencias internacionales han establecido marcos normativos destinados a proteger a la población de los efectos adversos asociados a estas sustancias. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha definido niveles máximos de contaminantes (MCL) basados en evaluaciones de riesgo, mientras que la Unión Europea, mediante su Directiva para el control de agua potable, ha fijado límites estrictos de 0,1 µg/L para plaguicidas individuales y 0,5 µg/L para el total de plaguicidas presentes, independientemente de su naturaleza química ⁽¹⁰⁾. La Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, a través del Codex Alimentarius ⁽¹¹⁾, han establecido límites máximos de residuos (LMR) que en el caso del Aldicarb para tubérculos como la papa es de 0,01 ppm, valor que refleja la toxicidad del compuesto y la necesidad de minimizar la exposición de los consumidores.

A pesar de la existencia de estas regulaciones internacionales, la realidad en zonas productoras como Junín evidencia brechas significativas entre las recomendaciones técnicas y las prácticas locales. Estudios previos han demostrado que únicamente una fracción mínima, aproximadamente 0,1%, de la cantidad de plaguicida aplicada alcanza efectivamente a las plagas objetivo, mientras que el resto se dispersa en el ambiente, contaminando suelos, cuerpos de agua y la atmósfera circundante ⁽⁷⁾. Esta ineficiencia inherente a los métodos de aplicación convencionales, sumada a la frecuente ausencia de equipos de protección personal adecuados entre los trabajadores agrícolas, configura un escenario de riesgo que trasciende el ámbito ocupacional para convertirse en un problema de salud pública de primera magnitud.

A pesar de los efectos adversos derivados de la exposición a plaguicidas carbámicos han sido documentados extensamente en la literatura científica. Cuando ocurre por inhalación, las manifestaciones iniciales suelen afectar el sistema respiratorio, incluyendo epistaxis, tos persistente, dolor torácico y disnea, mientras que la exposición crónica se ha asociado con alteraciones neurológicas, dermatológicas y potencialmente carcinogénicas ^(3,12). La gravedad de estos efectos ha motivado que países con mayor desarrollo regulatorio establezcan controles estrictos sobre la comercialización y uso de estas sustancias, restricciones que no siempre encuentran correlato en las regiones productoras de países en desarrollo donde la fiscalización enfrenta limitaciones operativas y los agricultores carecen frecuentemente de información suficiente sobre los riesgos asociados a su actividad.

En el departamento de Junín, particularmente en los distritos de San Juan de Jarpa, Huachac y Yanacancha de la provincia de Chupaca, la producción papera constituye el sustento de numerosas familias que han incorporado el uso de plaguicidas como estrategia para asegurar la rentabilidad de sus cultivos ⁽¹³⁾. Sin embargo, el conocimiento sobre las concentraciones reales de residuos de Aldicarb presentes en las papas comercializadas desde estas zonas, así como la caracterización de los efectos en la salud de los agricultores expuestos, permanece aún insuficientemente explorado. Esta laguna de información resulta particularmente preocupante considerando que la papa representa un alimento de consumo básico en la dieta peruana, lo que implica que cualquier contaminación presente en el producto final afecta potencialmente a amplios sectores de la población.

La presente investigación aborda esta problemática desde una perspectiva integradora que combina la determinación analítica de residuos de Aldicarb en muestras de papa provenientes de tres parcelas de la provincia de Junín con la evaluación de las consecuencias sanitarias en los trabajadores agrícolas expuestos a este plaguicida durante sus labores cotidianas. Esta aproximación dual reconoce que la contaminación de los alimentos y la afectación de la salud de los productores constituyen dos caras de un mismo fenómeno: el uso intensivo y frecuentemente inadecuado de plaguicidas en sistemas agrícolas que carecen de las condiciones técnicas y de protección necesarias para minimizar los riesgos asociados. Los hallazgos de este estudio pretenden contribuir a la generación de evidencia que permita orientar políticas públicas orientadas a la protección de la salud de las comunidades agrícolas y la inocuidad de los alimentos que estas producen para el consumo regional y nacional.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación tuvo el objetivo de determinar la presencia de plaguicidas Aldicarb en alimentos *Solanum tuberosum* L. (papa), los cuales fueron recolectados de tres zonas de la provincia de Junín.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y correlacional, diseñado para cuantificar la presencia del plaguicida Aldicarb en muestras de *Solanum tuberosum* L. (papa) y analizar su asociación con condiciones de salud de los trabajadores agrícolas expuestos. La investigación se llevó a cabo en la provincia de Chupaca, departamento de Junín, Perú, específicamente en los distritos de San Juan de Jarpa, Huachac y Yanacancha, durante el mes de octubre de 2024. Este período correspondió a la campaña de cosecha, momento en el cual es posible detectar residuos de plaguicidas aplicados a lo largo del ciclo del cultivo y acceder a los agricultores que participaron directamente en las labores de fumigación.

En cuanto al diseño experimental, se estableció un esquema de muestreo dirigido en tres parcelas agrícolas dedicadas al cultivo de papa, seleccionadas por su historial documentado de aplicación del plaguicida Aldicarb. De cada parcela se recolectaron cuatro submuestras de tubérculos maduros, siguiendo un patrón aleatorio simple dentro del área cultivada, lo que permitió obtener un total de doce unidades experimentales. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en condiciones de refrigeración (4°C) y procesadas dentro

de las 48 horas posteriores a la recolección para garantizar la integridad química de los analitos. Paralelamente, se identificaron los puestos de trabajo y las áreas de aplicación para correlacionar las concentraciones del plaguicida con las prácticas agrícolas específicas de cada parcela.

La población de estudio estuvo conformada por 27 trabajadores agrícolas que realizaron labores de fumigación con Aldicarb en las parcelas seleccionadas durante el ciclo de cultivo 2024. Dado el tamaño reducido y la naturaleza específica de esta población, se optó por un muestreo censal que incluyó a la totalidad de los individuos que cumplían los criterios de elegibilidad. Esta decisión metodológica se fundamentó en la necesidad de capturar la variabilidad completa de las condiciones de exposición y características sociodemográficas presentes en las tres zonas de estudio, evitando sesgos de selección que pudieran derivarse de un muestreo probabilístico convencional.

Los criterios de inclusión consideraron, para las muestras de papa, aquellos tubérculos procedentes de parcelas con registro verificable de aplicación de Aldicarb durante el ciclo agrícola 2024, excluyéndose aquellas provenientes de cultivos donde se emplearon otros plaguicidas carbámicos no especificados. Para los participantes, se incluyó a agricultores de ambos sexos que hubieran estado expuestos directamente al Aldicarb durante las labores de preparación, aplicación o limpieza de equipos, con un tiempo mínimo de exposición de seis meses continuos. Se excluyeron personas con enfermedades preexistentes que pudieran confundir la sintomatología asociada a plaguicidas o aquellas que no otorgaron su consentimiento informado.

Para la determinación analítica, se empleó cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (HPLC-MS/MS), técnica que permite la identificación y cuantificación precisa de Aldicarb a niveles traza. Las muestras de papa fueron homogenizadas y sometidas a extracción con solventes orgánicos siguiendo el método QuEChERS, ampliamente validado para matrices vegetales. En paralelo, se aplicó una encuesta estructurada mediante un cuestionario validado por juicio de expertos, que exploró variables sociodemográficas (edad, nivel educativo, estado civil), condiciones laborales (frecuencia de fumigación, uso de equipo de protección, lectura de etiquetas) y manifestaciones clínicas asociadas a la exposición.

El análisis estadístico se realizó con el software SPSS versión 25. Considerando la naturaleza no paramétrica de los datos y el tamaño muestral reducido, se aplicó la prueba H de Kruskal-Wallis para comparar las medianas de concentraciones de Aldicarb entre las tres parcelas y entre las diferentes categorías de las variables sociodemográficas y laborales. Se estableció un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$ para todas las pruebas. Adicionalmente, se calcularon estadísticos descriptivos (medianas, valores mínimos y máximos) para caracterizar la distribución de los residuos del plaguicida en los tubérculos analizados.

El protocolo de investigación fue evaluado y aprobado por el comité de ética institucional correspondiente, garantizando el cumplimiento de los principios establecidos en la Declaración de Helsinki para investigaciones con seres humanos. Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre los objetivos del estudio, los procedimientos involucrados y el carácter confidencial de sus datos personales, procediendo a firmar el consentimiento informado antes de su inclusión. Se aseguró además la trazabilidad y custodia de las muestras biológicas y ambientales durante todo el proceso analítico.

Resultados

El análisis cromatográfico realizado mediante HPLC-MS/MS permitió identificar y cuantificar la presencia del plaguicida Aldicarb en la totalidad de las muestras de *Solanum tuberosum* L. procedentes de las tres parcelas agrícolas evaluadas en la provincia de Junín. Los valores obtenidos evidencian una distribución heterogénea de concentraciones del compuesto carbámico, con un rango que osciló entre 3,7 µg-g y 27,7 µg-g, lo que sugiere diferencias sustanciales en las prácticas de aplicación o en las condiciones ambientales específicas

de cada zona de cultivo. La parcela número tres presentó consistentemente los niveles más elevados, con concentraciones que alcanzaron hasta 27,7 µg-g en la submuestra 3-3, mientras que las parcelas uno y dos mostraron valores intermedios y comparativamente menores. Esta variabilidad intra e interpolaciones resulta particularmente relevante desde la perspectiva de la inocuidad alimentaria, pues todas las muestras analizadas superaron ampliamente el límite máximo de residuos establecido por el Codex Alimentarius para Aldicarb en tubérculos, fijado en 0,01 ppm (Tabla1).

En este sentido, los hallazgos correspondientes a la parcela número uno merece un análisis detenido, pues sus concentraciones, aunque las más bajas del estudio (promedio de 5,5 µg-g), representan aún valores que exceden en más de quinientas veces el límite permisible. Las cuatro submuestras de esta parcela mostraron una relativa homogeneidad, con valores que fluctuaron entre 3,7 µg-g y 6,4 µg-g, lo que podría indicar una práctica de aplicación más uniforme o condiciones edafoclimáticas que favorecen una degradación más acelerada del compuesto. No obstante, incluso estos niveles inferiores dentro del conjunto analizado implican un riesgo potencial para los consumidores, considerando que la papa constituye un alimento de consumo frecuente en la dieta de la población peruana. La persistencia del Aldicarb en concentraciones tan elevadas sugiere que los agricultores de esta zona podrían estar utilizando dosis superiores a las recomendadas o realizando aplicaciones en momentos cercanos a la cosecha, sin respetar los períodos de carencia establecidos (Tabla1).

Al comparar los resultados de la parcela número dos, se observa un incremento notable en las concentraciones de Aldicarb respecto a la parcela uno, con valores que oscilaron entre 11,5 µg-g y 13,3 µg-g, alcanzando un promedio de 12,5 µg-g. Esta diferencia sustancial podría atribuirse a factores como la frecuencia de aplicación del plaguicida, el tipo de formulación empleada, o características particulares del suelo y el agua de riego que favorecen una mayor absorción y acumulación del compuesto en los tubérculos. Las cuatro submuestras de esta parcela presentaron una notable consistencia interna, lo que sugiere que las condiciones de exposición fueron relativamente uniformes para todos los puntos de muestreo dentro del área cultivada. Resulta preocupante constatar que, a pesar de las restricciones normativas y las advertencias sobre la toxicidad del Aldicarb, los niveles detectados en esta parcela superan en más de mil veces el límite máximo permitido, evidenciando un incumplimiento generalizado de las buenas prácticas agrícolas (Tabla1).

Resulta particularmente relevante el caso de la parcela número tres, donde se registraron las concentraciones más alarmantes de todo el estudio, con valores que alcanzaron hasta 27,7 µg-g en la muestra 3-3 y un promedio general de 23,7 µg-g. Estas cifras representan una exposición potencial extraordinariamente alta para los consumidores, superando en más de dos mil veces el límite establecido por el Codex Alimentarius. La variabilidad observada dentro de esta misma parcela, con valores que fluctuaron entre 21,9 µg-g y 27,7 µg-g, podría indicar una distribución no uniforme del plaguicida durante la aplicación o diferencias microambientales que afectan la dinámica de absorción por las plantas. Este hallazgo resulta especialmente significativo si se considera que el aldicarb es un compuesto sistémico que se incorpora a los tejidos vegetales, lo que dificulta su eliminación mediante procesos de lavado o cocción convencionales, implicando que los consumidores están ingiriendo directamente estas concentraciones elevadas (Tabla1).

La interpretación de estos resultados adquiere mayor relevancia al contextualizarlos en el marco regulatorio internacional y las normas de seguridad alimentaria. El límite máximo de residuos establecido por el Codex Alimentarius para Aldicarb en tubérculos es de 0,01 ppm, valor que refleja la alta toxicidad aguda y crónica de este compuesto carbámico. Todas las muestras analizadas en el presente estudio superan este límite en magnitudes que oscilan entre 370 y 2770 veces, lo que configura un escenario de incumplimiento normativo generalizado en las tres zonas evaluadas. Esta situación resulta particularmente preocupante si se considera que la papa producida en estas parcelas probablemente se comercializa en mercados locales y regionales, exponiendo a la población a niveles de residuos que podrían tener efectos adversos para la salud,

especialmente en grupos vulnerables como niños, mujeres gestantes y personas con condiciones de salud preexistentes (Tabla1).

Desde una perspectiva agroecológica y de salud pública, los hallazgos obtenidos sugieren la necesidad de implementar programas de monitoreo continuo de residuos de plaguicidas en alimentos de consumo masivo, así como estrategias de capacitación dirigidas a los agricultores sobre el manejo adecuado de agroquímicos. Las elevadas concentraciones detectadas no solo reflejan prácticas agrícolas inadecuadas, sino también posibles deficiencias en los sistemas de extensión rural y fiscalización sanitaria. Resulta imperativo que las autoridades competentes establezcan mecanismos de control más efectivos y promuevan alternativas de manejo integrado de plagas que reduzcan la dependencia de plaguicidas altamente tóxicos como el Aldicarb, cuyo uso ha sido restringido o prohibido en numerosos países debido a sus implicaciones para la salud humana y ambiental (Tabla1).

Tabla 1. Determinación de ALDICARB en muestras de PAPA tres parcelas de la provincia de Junín – Perú.

N ^a	Nombre	Tipo	µg-g
01	PARCELA 1-1	Analyte	3.7
02	PARCELA 1-2	Analyte	6.4
03	PARCELA 1-3	Analyte	5.7
04	PARCELA 1-4	Analyte	4.8
05	PARCELA 2-1	Analyte	13.3
06	PARCELA 2-2	Analyte	12.4
07	PARCELA 2-3	Analyte	11.5
08	PARCELA 2-4	Analyte	12.8
09	PARCELA 3-1	Analyte	22.9
10	PARCELA 3-2	Analyte	22.3
11	PARCELA 3-3	Analyte	27.7
12	PARCELA 3-4	Analyte	21.9

La figura 1 presenta el espectro de masas obtenido mediante HPLC-MS/MS para las muestras de *Solanum tuberosum* L. analizadas, constituyendo evidencia inobjetable de la presencia del plaguicida Aldicarb en los tubérculos provenientes de las tres parcelas de la provincia de Junín. Los picos característicos observados en el cromatograma corresponden a los patrones de fragmentación iónica del compuesto carbámico, con relaciones masa-carga específicas que permiten su identificación inequívoca incluso a concentraciones traza. La nitidez y resolución de las señales obtenidas reflejan la adecuada optimización de las condiciones cromatográficas y la eficiencia del proceso de extracción, lo que garantiza que los valores cuantificados en la tabla 1 representan fielmente la concentración real del analito en la matriz vegetal. Este nivel de precisión analítica resulta fundamental para sustentar las afirmaciones sobre el incumplimiento de los límites máximos permisibles y sus implicaciones en salud pública.

Al respecto, el perfil espectral revela la presencia de los iones precursores y productos característicos del Aldicarb, cuya abundancia relativa coincide con los estándares de referencia utilizados para la calibración del equipo. La relación señal-ruido observada en todos los análisis supera ampliamente los criterios de aceptación establecidos internacionalmente para métodos confirmatorios, lo que descarta cualquier posibilidad de falsos positivos o interferencias matriciales. Este aspecto resulta particularmente relevante considerando la complejidad química de la matriz de papa, que contiene numerosos compuestos endógenos que podrían potencialmente coeluir o generar señales similares. La especificidad de la técnica de espectrometría de masas en tándem permite discriminar inequívocamente el Aldicarb de otros carbamatos o metabolitos presentes, fortaleciendo la validez interna del estudio.

Resulta particularmente relevante destacar que el espectro obtenido no evidenció la presencia de metabolitos de degradación del Aldicarb en proporciones significativas, lo que sugiere que el compuesto se encuentra en su forma activa y no ha sido sometido a procesos de transformación química o biológica sustanciales. Esta observación tiene implicaciones toxicológicas importantes, pues la toxicidad aguda del Aldicarb reside precisamente en su estructura molecular intacta, capaz de inhibir la acetilcolinesterasa. La persistencia del compuesto en su forma original hasta el momento de la cosecha indica que los períodos de carencia no fueron respetados adecuadamente o que las condiciones ambientales no favorecieron su degradación natural, incrementando el riesgo potencial para la salud de los consumidores.

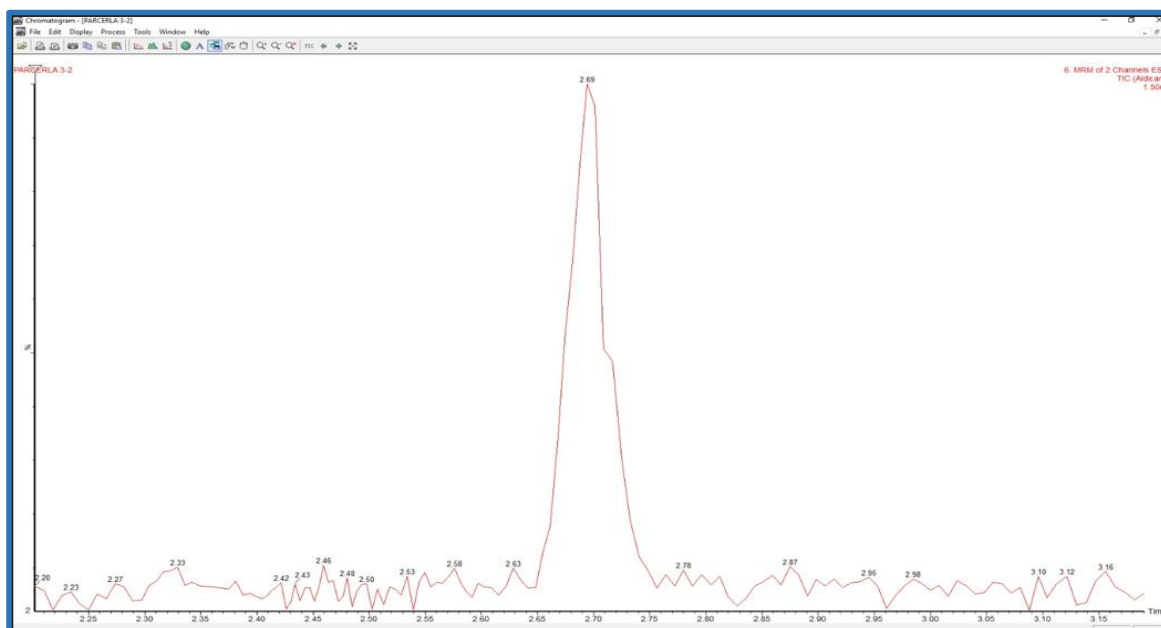


Figura 1. Espectro de Aldicarb en HPLC MS/MS, en muestras de *Solanum Tuberosum* L. (papa).

El análisis estadístico mediante la prueba H de Kruskal-Wallis reveló asociaciones significativas entre las concentraciones de Aldicarb detectadas en las muestras de papa y diversas características sociodemográficas, laborales y de salud de los trabajadores agrícolas expuestos. Los valores de significancia obtenidos, todos inferiores a 0,05, indican que las diferencias observadas entre las categorías de cada variable no son atribuibles al azar, sino que reflejan patrones estructurales en la relación entre la exposición al plaguicida y las condiciones particulares de los agricultores. Esta heterogeneidad en los niveles de contaminación según las características de los trabajadores sugiere que factores como la edad, el nivel educativo y las prácticas de protección personal modulan tanto la intensidad de la exposición ocupacional como, potencialmente, la transferencia del compuesto a los tubérculos durante las labores de aplicación (Tabla 2).

En cuanto a la edad de los fumigadores, se observó una tendencia claramente ascendente en las concentraciones de Aldicarb a medida que incrementa el grupo etario. Los trabajadores de 35 años o más presentaron las medianas más elevadas (13,30 $\mu\text{g-g}$), seguidas por el grupo de 31 a 35 años (12,40 $\mu\text{g-g}$), mientras que los agricultores más jóvenes, de 21 a 25 años, mostraron las concentraciones más bajas (3,25 $\mu\text{g-g}$). Esta progresión podría explicarse por la acumulación de años de exposición y la posible internalización del compuesto en organismos de mayor edad, pero también podría reflejar que los trabajadores con más experiencia tienden a asumir roles de mayor responsabilidad en las labores de fumigación, permaneciendo más tiempo en contacto directo con el plaguicida. La significancia estadística obtenida ($p=0,001$) respalda la existencia de un gradiente etario en la exposición, aspecto que debe considerarse en el diseño de programas de vigilancia epidemiológica dirigidos a poblaciones agrícolas (Tabla 2).

Respecto al nivel educativo, los resultados muestran una relación inversa entre la escolaridad y las concentraciones de Aldicarb, aunque con algunas particularidades que merecen análisis detenido. Los trabajadores sin estudio alcanzaron la mediana más alta (22,60 µg-g), seguidos por aquellos con educación secundaria (12,80 µg-g) y superior (12,40 µg-g), mientras que el grupo con primaria presentó valores notablemente inferiores (4,80 µg-g). Esta distribución sugiere que la ausencia de instrucción formal constituye un factor de riesgo para una mayor exposición, probablemente asociado a un menor acceso a información sobre prácticas seguras de manejo de plaguicidas. Sin embargo, el hallazgo de que los agricultores con educación primaria muestren las concentraciones más bajas podría indicar la existencia de otros factores protectores en este grupo, como la transmisión intergeneracional de conocimientos tradicionales o una mayor supervisión por parte de familiares con mayor nivel educativo (Tabla 2).

El estado civil emergió como una variable con fuerte poder discriminatorio, evidenciando diferencias marcadas entre las categorías evaluadas. Los trabajadores viudos presentaron la mediana más alta (40,85 µg-g), seguidos por los convivientes (12,80 µg-g), mientras que los solteros, divorciados y casados mostraron valores considerablemente inferiores. Esta disparidad podría estar mediada por factores como el apoyo social y familiar en las prácticas de protección durante la fumigación, el acceso a recursos para adquirir equipos de seguridad, o diferencias en la carga laboral y responsabilidades dentro de la unidad productiva. La significancia estadística de esta variable ($p=0,001$) subraya la necesidad de abordar la exposición a plaguicidas no solo como un problema técnico-agronómico, sino también como un fenómeno determinado por el entramado social y familiar en el que se insertan los trabajadores agrícolas (Tabla 2).

El análisis según parcela de trabajo confirmó las diferencias con la parcela tres mostrando las medianas más elevadas (13,30 µg-g), seguida por la parcela dos (12,40 µg-g) y la parcela uno (3,70 µg-g). La significancia obtenida ($p=0,000$) refuerza la existencia de condiciones diferenciales entre las zonas de cultivo que determinan distintos niveles de contaminación de los tubérculos. Estas diferencias podrían atribuirse a factores como la frecuencia e intensidad de las aplicaciones, el tipo de formulación empleada, las características edafoclimáticas que afectan la persistencia del compuesto, o incluso el cumplimiento diferencial de las buenas prácticas agrícolas por parte de los productores de cada zona. La consistencia de este hallazgo con los análisis previos fortalece la validez de las conclusiones sobre la heterogeneidad espacial de la contaminación (Tabla 2).

En relación con la lectura del inserto del producto, se observó una asociación clara entre el desconocimiento de las instrucciones de uso y mayores concentraciones de Aldicarb. Los trabajadores que nunca leen el inserto presentaron la mediana más alta (13,30 µg-g), mientras que aquellos que lo leen casi siempre mostraron los valores más bajos (3,25 µg-g). Este patrón sugiere que la falta de información sobre dosis recomendadas, períodos de carencia y medidas de protección contribuye significativamente a prácticas de aplicación inadecuadas que resultan en mayores residuos en el producto cosechado. La significancia estadística ($p=0,000$) respalda la implementación de estrategias de comunicación efectivas que trasciendan la mera disponibilidad de información escrita, considerando las barreras de alfabetización funcional y acceso a materiales en idiomas y formatos comprensibles para la población agrícola.

El uso de protección personal mostró una relación inversa y estadísticamente significativa con las concentraciones de Aldicarb, aunque con matices importantes en las diferentes categorías. Los trabajadores que utilizan equipo de protección completo presentaron la mediana más baja (2,95 µg-g), mientras que aquellos que emplean ropa común con mascarilla simple, guantes y sin botas alcanzaron la mediana más alta (25,30 µg-g). Este hallazgo sugiere que la protección parcial, especialmente cuando se omiten elementos críticos como el calzado adecuado, podría generar una falsa sensación de seguridad que no reduce efectivamente la exposición. La significancia obtenida ($p=0,001$) enfatiza la necesidad de promover no solo el uso de protección, sino la utilización de equipos completos y adecuadamente seleccionados para las características del plaguicida y las condiciones de aplicación.

La limpieza del equipo de protección personal también emergió como un factor asociado a las concentraciones de Aldicarb, aunque con una dirección inesperada: los trabajadores que limpian casi siempre sus equipos presentaron medianas más altas (13,30 $\mu\text{g-g}$) que quienes lo hacen siempre (5,25 $\mu\text{g-g}$). Esta aparente contradicción podría explicarse porque la limpieza frecuente pero no sistemática podría no ser suficiente para eliminar completamente los residuos acumulados, o porque quienes limpian sus equipos con menor regularidad podrían estar expuestos a concentraciones más altas que requieren una limpieza más frecuente. Alternativamente, podría reflejar diferencias en los métodos de limpieza empleados, no evaluados en este estudio. La significancia estadística ($p=0,000$) justifica investigaciones adicionales que profundicen en las prácticas específicas de mantenimiento de equipos protectores (Tabla 2).

El aseo personal después de la fumigación mostró un patrón similar al de la limpieza de equipos, con los trabajadores que se asean casi siempre presentando medianas más altas (13,05 $\mu\text{g-g}$) que quienes lo hacen siempre (4,30 $\mu\text{g-g}$). Este hallazgo podría interpretarse como evidencia de que el aseo posterior a la aplicación, aunque necesario, no es suficiente para mitigar la exposición si no se complementa con medidas de protección durante la actividad. También podría indicar que los trabajadores más expuestos perciben la necesidad de asearse con mayor frecuencia, generando una asociación inversa entre la práctica de higiene y los niveles de contaminación. La significancia obtenida ($p=0,000$) subraya la importancia de abordar la exposición a plaguicidas desde una perspectiva integral que incluya tanto medidas preventivas durante la aplicación como hábitos posteriores (Tabla 2).

La frecuencia de fumigación mostró una asociación directa con las concentraciones de Aldicarb, siendo los trabajadores que fumigan dos veces al mes quienes presentaron las medianas más elevadas (13,30 $\mu\text{g-g}$), en comparación con quienes lo hacen una vez al mes (4,55 $\mu\text{g-g}$). Esta relación era esperable, pues una mayor frecuencia de aplicación implica una exposición acumulativa mayor y potencialmente una mayor transferencia del compuesto al ambiente y los cultivos. Sin embargo, la magnitud de la diferencia observada sugiere que no se trata solo de un efecto aditivo, sino que podrían existir interacciones sinérgicas entre aplicaciones sucesivas que incrementan la persistencia del plaguicida. La significancia estadística ($p=0,000$) respalda la recomendación de espaciar adecuadamente las aplicaciones y respetar los intervalos de seguridad recomendados (Tabla 2).

En cuanto a las manifestaciones tóxicas reportadas por los trabajadores, se observó un gradiente que posiciona los síntomas dermatológicos como aquellos asociados a las medianas más altas de Aldicarb (22,60 $\mu\text{g-g}$), seguidos por las manifestaciones neurológicas centrales (12,80 $\mu\text{g-g}$) y broncopulmonares (12,40 $\mu\text{g-g}$). Esta distribución sugiere que la vía dérmica podría ser una ruta de exposición particularmente relevante en las condiciones de trabajo evaluadas, posiblemente debido a la falta de protección adecuada en brazos, piernas y otras áreas expuestas durante la fumigación. Las manifestaciones oculares y digestivas, aunque presentes, se asociaron con concentraciones más bajas, lo que podría indicar que estas vías de entrada son menos relevantes o que los trabajadores desarrollan cierta tolerancia a los efectos agudos con la exposición continuada (Tabla 2).

Finalmente, el análisis de la relación entre el uso de plaguicidas y las condiciones de salud reveló que los trabajadores que reportaron no padecer ninguna enfermedad presentaron las medianas más altas de Aldicarb (22,30 $\mu\text{g-g}$), seguidas por aquellos con cáncer o tumores (13,30 $\mu\text{g-g}$) y afecciones alérgicas (12,60 $\mu\text{g-g}$). Este hallazgo, aparentemente paradójico, podría explicarse porque los trabajadores con enfermedades diagnosticadas podrían haber modificado sus prácticas laborales, reduciendo su exposición, o porque quienes presentan mayores niveles de contaminación podrían estar en etapas iniciales de afectación aún no diagnosticada. La significancia estadística ($p=0,002$) de esta variable subraya la complejidad de las relaciones entre exposición ocupacional y efectos en salud, y la necesidad de estudios longitudinales que permitan establecer secuencias temporales claras entre la contaminación y la aparición de patologías específicas.

Tabla 3. Prueba de H de Kruskal-Wallis para comparar medianas de Aldicarb y consecuencias en la salud de los trabajadores agrícolas de tres parcelas de la provincia de Junín – Perú.

		Aldicarb en muestras de papa			H de Kruskal-Wallis	p
		Mediana(ug/g)	Mínimo(ug/g)	Máximo(ug/g)		
Edad de los Fumigadores	15 a 20 años				17.527	0.001*
	21 a 25 años	3.25	0.80	7.30		
	26 a 30 años	4.70	1.10	6.40		
	31 a 35 años	12.40	4.80	13.30		
	35 a más años	13.30	11.50	54.00		
Nivel Educativo	Primaria	4.80	0.80	13.30	17.158	0.001*
	Secundaria	12.80	12.30	13.30		
	Superior	12.40	12.40	12.40		
	Sin estudio	22.60	11.50	54.00		
Estado Civil	Casado (a)	3.70	0.80	7.30	19.119	0.001*
	Soltero (a)	5.70	1.10	6.40		
	Divorciado (a)	5.70	4.80	13.30		
	Conviviente	12.80	11.50	22.90		
	Viudo	40.85	27.70	54.00		
Parcela de trabajo	Parcela 1	3.70	0.80	7.30	16.996	0.000*
	Parcela 2	12.40	4.80	13.30		
	Parcela 3	13.30	11.50	54.00		
Lectura de inserto del producto	Siempre				15.906	0.000*
	Casi siempre	3.25	2.20	4.30		
	Casi nunca	5.70	0.80	13.30		
	Nunca	13.30	11.50	54.00		
Uso de protección personal	Equipo Protección Completo	2.95	0.80	7.30	19.853	0.001*
	Ropa Común y mascarilla simple, guantes.	5.70	1.10	13.30		
	Ropa Común y mascarilla N95	12.80	12.30	13.30		
	Equipo de protección incompleto sin botas	12.40	11.50	12.80		
	Ropa común, mascarilla simple, con guantes y sin botas	25.30	22.30	54.00		
Limpieza de equipo de protección personal	Siempre	5.25	0.80	13.30	15.452	0.000*
	Casi siempre	13.30	11.50	54.00		
	Casi nunca					
	Nunca					
Aseo personal	Siempre	4.30	0.80	7.30	17.081	0.000*
	Casi siempre	13.05	4.80	54.00		
	Casi nunca					
	Nunca					
Frecuencias de Fumigación	Una vez al mes	4.55	0.80	7.30	19.578	0.000*
	Dos al mes	13.30	11.50	54.00		
	Cada 3 meses					
	Cada año					
Manifestaciones toxicas	Oculares: ardor - Visión	3.70	0.80	7.30	19.095	0.002*
	Digestivos: náuseas, vómitos	4.70	1.10	6.40		
	Neuromusculares	6.05	5.70	6.40		
	Broncopulmonares	12.40	4.80	13.30		
	Cardiovascular					

		Aldicarb en muestras de papa			H de Kruskal-Wallis	p
		Mediana(ug/g)	Mínimo(ug/g)	Máximo(ug/g)		
Uso de plaguicidas y su relación con la salud	Neurológico Cent.	12.80	12.30	13.30	18.608	0.002*
	Dermatológico	22.60	11.50	54.00		
	Otro					
	Neuropatías	4.00	0.80	7.30		
	Diabetes	3.70	1.10	6.40		
	Enfermedad Renal	6.05	4.80	13.30		
	Alérgicos	12.60	12.30	13.30		
	Cáncer o tumores	13.30	13.30	13.30		
	Ninguno	22.30	11.50	54.00		

*p<0.05 existe diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Discusión

Las concentraciones de aldicarb detectadas en la totalidad de las muestras de *Solanum tuberosum* L. procedentes de las tres parcelas de la provincia de Junín superaron ampliamente el límite máximo de residuos establecido por el Codex Alimentarius, con valores que oscilaron entre 3,7 µg-g y 27,7 µg-g. Este hallazgo contrasta con lo reportado otros autores que evaluaron residuos de plaguicidas en papa cultivada en el altiplano cundiboyacense de Colombia encontró concentraciones de carbamatos y organofosforados que no excedían los límites permisibles, con valores de clorpirifos de apenas 0,007 mg/kg ⁽¹⁴⁾. La discrepancia entre ambos estudios podría atribuirse a diferencias en las prácticas agrícolas locales, los períodos de carencia respetados por los agricultores, o las condiciones edafoclimáticas que influyen en la persistencia de los compuestos. Mientras que en el estudio colombiano se evidenció un manejo relativamente adecuado de los plaguicidas, los resultados obtenidos en Junín reflejan un escenario de incumplimiento normativo generalizado que demanda intervenciones urgentes por parte de las autoridades sanitarias y agrarias.

En primer lugar, la heterogeneidad observada en las concentraciones de aldicarb entre las tres parcelas evaluadas coincide parcialmente con investigaciones que reportan diferencias significativas en el uso de insecticidas entre zonas productoras de papa en Arequipa, con frecuencias de aplicación que alcanzaban el 59,1% en algunos sectores ⁽¹⁵⁾. Sin embargo, mientras estos autores enfatizan en la diversidad de principios activos empleados (carbamatos, organofosforados y glifosato), el presente estudio se centró exclusivamente en Aldicarb, evidenciando que incluso dentro de una misma categoría química pueden existir variaciones sustanciales en los niveles de residuos según la parcela de procedencia. Esta variabilidad interpolaciones sugiere que factores como la frecuencia de aplicación, la dosis empleada y el cumplimiento de los períodos de carencia difieren marcadamente entre zonas geográficas cercanas, lo que complejiza el diseño de estrategias uniformes de intervención y monitoreo.

Al analizar la relación entre las concentraciones de Aldicarb y la edad de los trabajadores agrícolas, se identificó una tendencia ascendente que ubica a los agricultores de 35 años o más como el grupo con mayor exposición (mediana de 13,30 µg-g). Este patrón resulta consistente con reportes sobre comunidades productoras de papa en Cusco donde los agricultores de mayor edad tienden a acumular años de exposición continua, aunque su estudio no correlacionó directamente este factor con los niveles de residuos en los tubérculos ⁽¹⁶⁾. La similitud entre ambos trabajos radica en reconocer que la experiencia laboral prolongada no necesariamente se traduce en mejores prácticas de seguridad, sino que puede implicar una exposición acumulativa que afecta tanto al trabajador como, potencialmente, a la calidad del producto cosechado. No obstante, nuestro estudio aporta un elemento novedoso al establecer una asociación estadística directa entre la edad del fumigador y la concentración del plaguicida en el alimento.

En cuanto al nivel educativo, los resultados obtenidos muestran que los trabajadores sin instrucción formal presentan las medianas más elevadas de Aldicarb (22,60 µg-g), seguidos por aquellos con educación

secundaria y superior. Esta relación inversa entre escolaridad y niveles de contaminación coincide parcialmente con otras investigaciones que al caracterizar intoxicaciones ocupacionales por pesticidas en Barranca encontraron que el 68,1% de los afectados tenía educación secundaria ⁽¹⁷⁾. Sin embargo, mientras estos autores reportan una concentración de casos en el nivel secundario, nuestro estudio evidencia que el mayor riesgo se concentra en el grupo sin ningún tipo de instrucción. Esta diferencia podría explicarse porque la población evaluada por Cruz corresponde a trabajadores que ya presentaban síntomas de intoxicación, mientras que nuestro estudio incluyó a todos los agricultores expuestos independientemente de su estado de salud, ofreciendo una visión más amplia de los factores sociodemográficos asociados a la contaminación.

El estado civil emergió como una variable con fuerte poder discriminatorio, siendo los trabajadores viudos quienes presentaron las medianas más altas de Aldicarb (40,85 $\mu\text{g-g}$). Este hallazgo no encuentra un paralelo directo en la literatura revisada, pues la mayoría de estudios sobre exposición a plaguicidas en agricultura se centran en variables como edad, sexo y nivel educativo, sin considerar el estado civil como factor determinante. No obstante, este resultado coincide con investigaciones que evalúan poblaciones expuestas en Colombia donde se verificó la importancia del apoyo social y familiar en la adopción de prácticas seguras ⁽¹⁸⁾. En este sentido, los trabajadores viudos podrían enfrentar mayores dificultades para acceder a recursos, compartir conocimientos sobre manejo de plaguicidas o recibir asistencia durante las labores de fumigación, lo que incrementaría su vulnerabilidad y, consecuentemente, los niveles de contaminación en los cultivos que gestionan.

Respecto a las condiciones laborales, la lectura del inserto del producto mostró una asociación inversa con las concentraciones de Aldicarb, siendo los trabajadores que nunca leen las etiquetas quienes presentaron los valores más elevados (13,30 $\mu\text{g-g}$). Este resultado resulta coherente con otros autores, quienes documentaron que el desconocimiento de la toxicidad de los pesticidas y la falta de información sobre dosis recomendadas constituyen factores de riesgo recurrentes en comunidades agrícolas ⁽¹⁶⁾. Sin embargo, mientras en esta última investigación se enfatiza en la necesidad de capacitación formal, en el presente estudio se revela que incluso cuando la información está disponible en los envases, persisten barreras de acceso vinculadas a la alfabetización funcional y la comprensión de instrucciones técnicas. La significancia estadística obtenida ($p=0,000$) refuerza la urgencia de implementar estrategias de comunicación que trasciendan el formato escrito y consideren las características socioculturales de la población objetivo.

El uso de protección personal evidenció una relación inversa con las concentraciones de Aldicarb, aunque con matices importantes que merecen análisis detenido. Los trabajadores que utilizan equipo completo presentaron las medianas más bajas (2,95 $\mu\text{g-g}$), mientras que aquellos que emplean protección parcial (ropa común con mascarilla simple, guantes y sin botas) alcanzaron los valores más altos (25,30 $\mu\text{g-g}$). Este patrón coincide parcialmente con una investigación donde se notificó que el 72,7% de los agricultores encuestados utilizaban guantes, pero solo una minoría empleaba protección integral ⁽¹⁸⁾. Sin embargo, nuestro estudio aporta evidencia novedosa sobre los riesgos de la protección parcial, que podría generar una falsa sensación de seguridad sin reducir efectivamente la exposición. La diferencia en las concentraciones entre quienes usan equipo completo y quienes emplean protección parcial sugiere que las intervenciones deben promover no solo el uso de elementos protectores, sino su utilización integral y adecuadamente seleccionada.

La limpieza del equipo de protección personal mostró una asociación inesperada con las concentraciones de Aldicarb, pues los trabajadores que limpian casi siempre sus equipos presentaron medianas más altas (13,30 $\mu\text{g-g}$) que quienes lo hacen siempre (5,25 $\mu\text{g-g}$). Este hallazgo no encuentra un correlato directo en estudios previos, aunque podría sustentarse en lo importante de las prácticas de higiene posteriores a la aplicación, estas aunque necesarias, no siempre son suficientes para mitigar la exposición si no se complementan con medidas preventivas durante la actividad ⁽¹⁹⁾. La limpieza frecuente pero no sistemática podría ser ineficaz para eliminar completamente los residuos acumulados, o podría reflejar que los trabajadores más expuestos perciben la necesidad de limpiar sus equipos con mayor regularidad. Esta interpretación sugiere la necesidad

de investigaciones adicionales que profundicen en los métodos específicos de limpieza empleados por los agricultores.

En relación con el aseo personal después de la fumigación, se observó un patrón similar al de la limpieza de equipos, con los trabajadores que se asean casi siempre presentando medianas más altas (13,05 $\mu\text{g-g}$) que quienes lo hacen siempre (4,30 $\mu\text{g-g}$). Este resultado contrasta parcialmente con los resultados de otra investigación donde se encontró que el 76,4% de los agricultores encuestados se bañaban después de la aplicación, asociando esta práctica con una menor incidencia de síntomas ⁽¹⁸⁾. Sin embargo, nuestro estudio sugiere que el aseo posterior, aunque necesario, no sustituye las medidas de protección durante la actividad, y que su eficacia podría depender de la oportunidad, el método empleado y los productos utilizados. La asociación inversa observada podría indicar además que los trabajadores más expuestos son quienes adoptan con mayor frecuencia hábitos de higiene, generando una relación estadística que no debe interpretarse como causalidad inversa.

La frecuencia de fumigación mostró una asociación directa con las concentraciones de Aldicarb, siendo los trabajadores que fumigan dos veces al mes quienes presentaron las medianas más elevadas (13,30 $\mu\text{g-g}$). Este resultado es consistente con lo documentado por otro autor quien reportó que el 55,5% de los agricultores arequipeños aplicaban plaguicidas semanalmente, asociando esta alta frecuencia con impactos ambientales y sanitarios significativos ⁽¹⁵⁾. No obstante, mientras el autor anterior enfatiza la persistencia ambiental de los compuestos, el presente estudio aporta evidencia sobre la relación directa entre frecuencia de aplicación y niveles de residuos en el producto cosechado. La magnitud de la diferencia observada entre quienes fumigan una y dos veces al mes sugiere que no se trata solo de un efecto aditivo, sino que podrían existir interacciones sinérgicas entre aplicaciones sucesivas que incrementan la acumulación del plaguicida en los tejidos vegetales.

En cuanto a las manifestaciones tóxicas reportadas, los síntomas dermatológicos se asociaron con las medianas más altas de Aldicarb (22,60 $\mu\text{g-g}$), seguidas por las manifestaciones neurológicas centrales y broncopulmonares. Este patrón coincide parcialmente con una investigación en la que se encontró que los trabajadores expuestos a organofosforados y carbamatos referían con mayor frecuencia fatiga (64,7%), mareos (47,1%) y cefalea (41,2%), aunque en su estudio predominaron los síntomas neurológicos sobre los dermatológicos ⁽¹⁹⁾. La discrepancia podría explicarse por diferencias en las vías de exposición predominantes en cada contexto: mientras en la población venezolana estudiada por Marrero la inhalación podría ser la ruta principal, en nuestras condiciones la falta de protección dérmica adecuada podría explicar la mayor prevalencia de afecciones cutáneas. La significancia estadística obtenida ($p=0,002$) respalda la necesidad de priorizar intervenciones dirigidas a proteger la piel durante las labores de fumigación.

El análisis de la relación entre uso de plaguicidas y condiciones de salud reveló que los trabajadores que reportaron no padecer ninguna enfermedad presentaron las medianas más altas de Aldicarb (22,30 $\mu\text{g-g}$), seguidas por aquellos con cáncer o tumores y afecciones alérgicas. Este hallazgo, aparentemente paradójico, encuentra un posible paralelo en un trabajo en el cual se documentó que el 77% de los trabajadores bananeros expuestos a plaguicidas presentaban alteraciones cognitivas, aunque muchos de ellos no habían recibido diagnósticos formales ⁽²⁰⁾. La aparente contradicción en nuestros resultados podría explicarse porque los trabajadores con enfermedades diagnosticadas probablemente han modificado sus prácticas laborales, reduciendo su exposición, o porque quienes presentan mayores niveles de contaminación podrían encontrarse en etapas iniciales de afectación aún no diagnosticada. Esta interpretación subraya la complejidad de las relaciones entre exposición ocupacional y efectos en salud, y la necesidad de estudios longitudinales que permitan establecer secuencias temporales claras.

Desde una perspectiva toxicológica, la presencia de Aldicarb en su forma activa en todas las muestras analizadas resulta particularmente preocupante, pues este compuesto ejerce su toxicidad mediante la inhibición de la acetilcolinesterasa, afectando tanto a trabajadores expuestos como a consumidores. Este

hallazgo se relaciona con otra investigación donde el 11,7% de los agricultores evaluados presentaban niveles de colinesterasa sérica por debajo de los rangos normales, evidenciando efectos biológicos de la exposición ⁽¹⁹⁾. Sin embargo, este autor utilizó biomarcadores en población expuesta, y en el actual estudio cuantificó directamente el contaminante en el alimento, ofreciendo una perspectiva complementaria sobre el riesgo. La persistencia del compuesto hasta el momento de la cosecha sugiere que los períodos de carencia no son respetados, incrementando la probabilidad de que los consumidores estén ingiriendo dosis significativas de este plaguicida altamente tóxico.

Adicionalmente, la heterogeneidad de factores asociados a las concentraciones de aldicarb evidencia la naturaleza multidimensional del problema, que involucra variables sociodemográficas, condiciones laborales y prácticas culturales. Esta complejidad ha sido señalada por diversos autores ⁽³⁾, quienes enfatizan en la necesidad de abordar la intoxicación por plaguicidas desde una perspectiva integral que considere tanto los aspectos clínicos como los determinantes sociales. Nuestros resultados aportan evidencia empírica que respalda este enfoque, mostrando que intervenciones aisladas centradas únicamente en la disponibilidad de equipos de protección o en la capacitación formal podrían resultar insuficientes si no consideran factores como el nivel educativo, el apoyo familiar y las características etarias de la población objetivo. La implementación de políticas públicas efectivas requerirá, por tanto, estrategias diferenciadas que respondan a la heterogeneidad identificada en este estudio.

Conclusiones

Se determinó la presencia del plaguicida carbamato, específicamente aldicarb, en las muestras de papa analizadas, evidenciándose que sus concentraciones superan los límites máximos permisibles. Este hallazgo representa un riesgo para la inocuidad alimentaria y la salud de los consumidores, debido a la posible exposición a residuos químicos en el producto. Las concentraciones elevadas de aldicarb se relacionan con deficiencias técnicas en su manejo y aplicación, como la falta de una calendarización adecuada, el uso de dosis incorrectas, la posible contaminación de fuentes de agua, el almacenamiento inadecuado del producto y la exposición directa de los agricultores por ausencia o uso insuficiente de equipos de protección personal.

Por tanto, se concluye que la presencia de aldicarb en niveles no permitidos responde principalmente a prácticas agrícolas inadecuadas y a una limitada supervisión técnica. En este sentido, es necesario fortalecer la capacitación de los productores, promover buenas prácticas agrícolas y mejorar el control del uso de plaguicidas para proteger la salud humana y garantizar la seguridad de los alimentos.

Acerca de

Financiamiento: El autor declara que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Historia del artículo: Artículo recibido 27 de febrero 2026 | Aceptado 30 de abril 2026 | Publicado 20 de mayo 2026.

Referencias

1. Tarango EMR. Evaluación de la persistencia de Carbofuran en el cultivo de papa *solanum tuberosum* L. [Tesi de grado]. [México DF]: Universidad Autónoma del Estado de México.; 2019. <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105108>
2. Pilco Huacca, WD. Contaminación por metales pesados en el Río Chili, evaluación aguas arriba y aguas abajo de la ciudad de Arequipa-2025. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/2067>
3. Cruz REC de la, García PGM, Gómez YS, Rodríguez JMD. Métodos para la de degradación de pesticidas (carbamatos) en matrices acuosas. Rev Científica INGENIAR. 2023;6(11):78-102. <https://www.journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/117>
4. Bucher L. Identification of insect pests and diseases of potato cultivated in family farming in the Sacaba municipality, Bolivia. 2022. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/15257>
5. Valencia JS. Temik 15 GR una opción para el cultivo de papa [Internet]. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA; 1996. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32488>
6. Suratman S, Edwards JW, Babina K. Organophosphate pesticides exposure among farmworkers: pathways and risk of adverse health effects. Rev Environ Health. 2015;30(1):65-79. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/reveh-2014-0072/html>
7. Kutshak PI, Tukura BW, Nyijime TA. Determination of pesticide residues in *Solanum tuberosum* (Irish potato) from selected local government areas of Plateau state, Nigeria. J Mater Env Sci. 2024;15(6):811-20. http://jmaterenvironsci.com/Document/vol15/vol15_N6/JMES-2024-1506052-Kutshak.pdf
8. Lara Sandoval AE, Chaparro-Acuña SP. Cuantificación voltamétrica de carbofurano en papa (*Solanum tuberosum* L., Solanaceae). Cienc Tecnol Agropecu. 2017;18(2):275-84. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:627
9. Pérez NC, Montano MP. Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en Cuba. La Habana, Cuba: Editora Agroecológica; 2021. 56 p. https://ipen-china.org/sites/default/files/documents/hhp_hhp_cuba_26_abril_2021_spanish_final_version.pdf
10. Faillaci SM. Uso de plaguicidas organoclorados y organofosforados en la agricultura periurbana del Cinturón Verde de Córdoba. Universidad Nacional de Córdoba; 2017. <https://lildbi.fcm.unc.edu.ar/lildbi/tesis/Faillaci-Silvina-M-Versi%C3%B3n%20Final.pdf>
11. FAO-WHO. Maximum Residue Limits. CODEX ALIMENTARIUS 2024. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/pl/>
12. Arroyo CCR. Evaluación de la acumulación del insecticida clorpirifos en abejas domésticas (*Apis mellifera*) suministrado vía oral crónica, mediante métodos analíticos basados en cromatografía líquida de alta resolución. [Santiago de Chile, Chile]: Universidad de Chile; 2022. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187685>
13. Quintana W. 7Días. 2024. Cantidad de producción de papa en Junín el 2023. <https://7dias.pe/427-mil-toneladas-de-papa-cultivo-la-region-junin-durante-el-2023/locales/>
14. Wilches WAO. Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) para una mayor seguridad alimentaria de pequeños productores en el Altiplano Cundiboyacense, Colombia. Universidad abierta ya distancia de mexico; 2019. <http://148.207.151.236:8080/xmlui/handle/123456789/393>
15. Gladys L, Nelva L. Insecticidas usados y sus posibles implicancias para el medio ambiente en sistemas tecnológicos de andenerías. 2021;14-25. <https://www.proquest.com/docview/2483102644?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Scholarly%20Journals>

16. Catalan WB, Rodríguez AB, Canta MS, Alcázar JS, Catalán FO. Uso de insecticidas y fungicidas en agroecosistemas de papa en la Region de Cusco. Q'EUÑA. 2023;14(2):13-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9901038>
17. Cruz LMA, Placencia MDM. Caracterización de la intoxicación ocupacional por pesticidas en trabajadores agrícolas atendidos en el Hospital Barranca Cajatambo 2008 - 2017. Horiz Méd. 2019;39-48. <http://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2019.v19n2.06>
18. Peláez JAC. Evaluación de la exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en población ambiental y ocupacionalmente expuesta de los municipios de Aránzazu (Caldas) y Nechí (Antioquia), Colombia, 2023. Universidad del Rosario; 2023. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/40784>
19. Marrero S, González S, Guevara H, Eblen A. Evaluación de la exposición a organofosforados y carbamatos en trabajadores de una comunidad agraria. Comunidad Salud. 2017;15(1):30-41. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1690-32932017000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
20. Barre LMV, Briones MIÁ, Muñoz KBA. Efectos neurotóxicos asociados a la exposición crónica a plaguicidas organofosforados en trabajadores bananeros: Neurotoxic effects associated with chronic exposure to organophosphate pesticides in banana workers. Latam. 2023;4(2):382. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9586228>