

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

**RIESGO TOXICOLÓGICO POR ARSÉNICO ASOCIADO AL
CONSUMO DE AJÍ AMARILLO (*Capsicum baccatum*)**

PRODUCIDO EN EL DISTRITO DE ITE, 2025

TESIS

Presentada por:

Bach. Ana Cecilia Fernandez Poma

Para optar el Título Profesional de:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

**RIESGO TOXICOLÓGICO POR ARSÉNICO ASOCIADO AL
CONSUMO DE AJÍ AMARILLO (*Capsicum baccatum*)
PRODUCIDO EN EL DISTRITO DE ITE, 2025**

TESIS

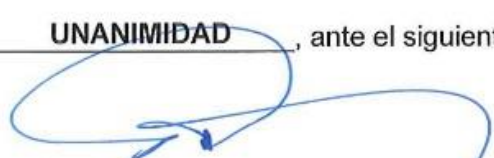
Presentada por:

Bach. ANA CECILIA FERNANDEZ POMA


Para optar el Título Profesional de:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

Aprobada por UNANIMIDAD, ante el siguiente jurado.



Dr. Ricardo Ernesto Ortiz Faucheux
Presidente



Mgr. Juan José Vargas Mamani
Miembro



Mgr. Royer Luis Castro Huarachi
Miembro



Mgr. Royer Luis Castro Huarachi
Asesor



Universidad Nacional "JORGE BASADRE GROHMANN" de Tacna
Formando profesionales de éxito
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA -



- DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES -
"Año de la Esperanza y del Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD
DEL INFORME FINAL DE TESIS

Yo, Magister ROYER LUIS CASTRO HUARACHI, personal del estamento DOCENTE de condición ORDINARIO en la categoría PROFESOR AUXILIAR con dedicación a TIEMPO PARCIAL adscrito al Departamento Académico de FARMACIA Y BIOQUÍMICA de la Facultad de CIENCIAS DE LA SALUD de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna; en mi condición de ASESOR DE TESIS designado mediante RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 13974-2025-FACS-UN/JBG.T del 27 de JUNIO del 2025, del Trabajo de Tesis titulado "RIESGO TOXICOLÓGICO POR ARSÉNICO ASOCIADO AL CONSUMO DE AJÍ AMARILLO (*Capsicum baccatum*) PRODUCIDO EN EL DISTRITO DE ITE, 2025", presentado por la Bachiller ANA CECILIA FERNANDEZ POMA para optar el Título Profesional de QUÍMICO FARMACÉUTICO.

Habiendo cumplido con lo establecido en el Reglamento de Originalidad y Similitud de Trabajos de Investigación y Producción Intelectual de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado, a través del Software de Detección de Similitud Textual TURNITIN Similarity, cuenta con el nivel SIMILITUD BAJA cuyo porcentaje es 10% correspondiente a la condición PERMITIDO según el Código de Identificación de Reporte: trn:oid::::8165:577085961. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis indicada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el Título Profesional de QUÍMICO FARMACÉUTICO, según corresponda para su PUBLICACIÓN en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.

Tacna, 10 de abril del 2026.

Br. ANA CECILIA FERNANDEZ POMA
- AUTORA DEL TRABAJO DE TESIS -
Bachiller en Farmacia y Bioquímica
CU: 2018-125028 | DNI: 44169095



Mg. ROYER LUIS CASTRO HUARACHI | XTP
- ASESOR DE TESIS -
Departamento Académico de Farmacia y Bioquímica - FACS | UNJBG
DNI: 45081233



FIP(2026): *Empoderando a las Farmacéuticas para un futuro más saludable.*

- DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA | DAFB -
Av. Miraflores s/n - Campus Los Granados - Edificio de Ciencias Médicas Of. 301-B
(51)(52)58-3000 Anexo: 2296 | Apartado Postal N° 316
<https://eslb.unjbg.edu.pe/> | dafb@unjbg.edu.pe
TACNA - PERÚ

DEDICATORIA

“Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres Francisco Fernandez y Rufina Poma, por su guía, amor y apoyo incondicional. A mis hermanos Jenny, Alexander, Ricardo y Juan, a mi cuñado Calixto, por su constante apoyo durante este proceso.

Y a mi hijo Thiago Zapata Fernandez, mi motor y motivo para seguir avanzando; este logro es para ti”.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la fuerza, la fe y la claridad necesarias para perseverar y alcanzar este logro. Sin Su guía, este camino no habría sido posible.

Al Dr. Royer Castro Huarachi, mi asesor, por su valiosa orientación, dedicación y compromiso durante el desarrollo de este trabajo, cuyos aportes fueron fundamentales para culminarlo satisfactoriamente.

A la Dra. Yemile Berrios Espejo, por su apoyo y disposición para contribuir al avance y realización de este proyecto, gesto que valoro profundamente.

Y al Q.F. Diego Ale, por sus valiosos aportes técnicos durante esta investigación; y, finalmente, a todos nuestros docentes, quienes con su enseñanza y compromiso formaron parte de nuestro crecimiento profesional y personal.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| ÍNDICE..... | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xi |
| RESUMEN..... | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 6 |
| 1.2.1. Problema principal | 6 |
| 1.2.2. Problemas secundarios | 6 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN..... | 7 |
| 1.3.1. Justificación teórica | 7 |
| 1.3.2. Justificación práctica | 8 |
| 1.3.3. Justificación social..... | 8 |
| 1.3.4. Justificación metodológica | 9 |
| 1.4. OBJETIVOS | 10 |

| | |
|---|-----------|
| 1.4.1.Objetivo general | 10 |
| 1.4.2.Objetivos específicos..... | 10 |
| 1.5.HIPÓTESIS | 11 |
| 1.6.DETERMINACIÓN DE VARIABLES | 12 |
| 1.6.1.Variable X (independiente)..... | 12 |
| 1.6.2.Variable Y (dependiente):..... | 12 |
| 1.7.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 13 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... | 14 |
| 2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 14 |
| 2.2.BASES TEÓRICAS | 24 |
| 2.2.1. Generalidades del arsénico..... | 24 |
| 2.2.2. Mecanismo de toxicidad del arsénico | 25 |
| 2.2.3. Movilización del arsénico hacia vegetales, como el ají..... | 35 |
| 2.2.4. El ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) como fuente potencial de exposición..... | 36 |
| 2.2.5. Valores referenciales de arsénico en ajíes | 38 |
| 2.2.6. Riesgo toxicológico asociado al consumo de ají amarillo contaminado | 39 |
| 2.2.7. Cálculo de riesgo toxicológico | 39 |
| 2.2.8. Propiedades toxicológicas del arsénico en personas expuestas crónicas | 42 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO | 44 |
| 3.1. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN | 44 |
| 3.1.1. Tipo de investigación | 44 |
| 3.1.2. Diseño de investigación..... | 45 |
| 3.1.3. Nivel de la investigación | 45 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA | 46 |
| 3.2.1. Población | 46 |
| 3.2.2. Muestra..... | 46 |
| 3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 53 |
| 3.3.1. Técnicas para la recolección de datos | 53 |
| 3.4. ANÁLISIS DE DATOS | 64 |
| 3.4.1. Procesamiento de datos..... | 64 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS | 67 |
| DISCUSIÓN..... | 119 |
| CONCLUSIONES..... | 129 |
| RECOMENDACIONES..... | 131 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 134 |
| ANEXOS..... | 140 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Distribución de muestras de ají amarillo a recolectar por estrato según método de Neyman | 49 |
| Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las concentraciones de arsénico en ajíes amarillos (n=68) del distrito de Ite, 2025. | 67 |
| Tabla 3. Concentraciones de arsénico en ajíes amarillos del distrito de Ite según el lugar de procedencia. | 68 |
| Tabla 4. Características sociodemográficas de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 70 |
| Tabla 5. Características de consumo de ají y alimentación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. ... | 72 |
| Tabla 6. Características clínicas y antecedentes de salud de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. ... | 74 |
| Tabla 7. Cociente de riesgo (HQ) para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 77 |
| Tabla 8. Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad. | 79 |
| Tabla 9. Nivel de cociente de riesgo asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 81 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 10. Riesgo cancerígeno (RC) asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 83 |
| Tabla 11. Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad. | 85 |
| Tabla 12. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según las características sociodemográficas de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 89 |
| Tabla 13. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según las características de consumo y alimentación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 98 |
| Tabla 14. Riesgo cancerígeno de arsénico asociado al consumo de ají amarillo según las características sociodemográficas de los pobladores encuestados (n=49) en el distrito de Ite, 2025..... | 105 |
| Tabla 15. Riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según características de consumo y alimentación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 112 |
| Tabla 16. Resultados de BHIOS Laboratorio sobre las concentraciones de arsénico identificadas en las muestras de ají amarillo del distrito de Ite, Tacna 2025. ... | 159 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Mecanismo de toxicidad del arsénico en la inhibición enzimática..... | 29 |
| Gráfico 2. Principales efectos del arsénico en órganos y sistemas | 31 |
| Gráfico 3. Procedimiento de recolección, envasado y transporte de muestras de ají amarillo..... | 57 |
| Gráfico 4. Flujograma del método de determinación de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica por generador de hidruros..... | 61 |
| Gráfico 5. Concentraciones de arsénico de las muestras de ají amarillo según su localidad de procedencia en el distrito de Ite, 2025. | 69 |
| Gráfico 6. Histograma del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 80 |
| Gráfico 7. Nivel del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 82 |
| Gráfico 8. Histograma del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 86 |
| Gráfico 9. Correlación entre el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y la edad de los | |

| | |
|--|----|
| pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 91 |
| Gráfico 10. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según sexo de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 92 |
| Gráfico 11. Correlación entre el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y el tiempo de residencia de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 93 |
| Gráfico 12. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según ocupación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 94 |
| Gráfico 13. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según fuente de agua de consumo de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 95 |
| Gráfico 14. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según localidad de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 96 |
| Gráfico 15. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según localidad de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 16. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según consumo semanal de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 100 |
| Gráfico 17. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según frecuencia de consumo diario de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 101 |
| Gráfico 18. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según la cantidad de ají que consumen por comida los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 102 |
| Gráfico 19. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según tipo de ají que consumen los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 103 |
| Gráfico 20. Correlación entre el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y el peso corporal de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 104 |
| Gráfico 21. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según sexo de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 107 |
| Gráfico 22. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según ocupación laboral de | |

| | |
|---|-----|
| los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 108 |
| Gráfico 23. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según fuente de agua de consumo de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 109 |
| Gráfico 24. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según lugar de residencia de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 110 |
| Gráfico 25. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según zona de residencia de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 111 |
| Gráfico 26. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según frecuencia de consumo semanal de ají de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 114 |
| Gráfico 27. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según frecuencia de consumo diario de ají de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 115 |
| Gráfico 28. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según la cantidad diaria de consumo por ración de ají de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 116 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 29. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según el tipo de ají consumido por los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025. | 117 |
| Gráfico 30. Correlación entre el riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y el peso corporal de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025..... | 118 |

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo en pobladores del distrito de Ite, Tacna, en 2025. Se llevó a cabo una investigación cuantitativa, básica, analítica, transversal y descriptiva. Se recolectaron 68 muestras de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) y se encuestó a 49 pobladores, analizándose el contenido de arsénico en el laboratorio BHIOS (Arequipa). Todas las muestras superaron el valor de referencia de 0,10 mg/kg, con una concentración media de $0,49 \pm 0,17$ mg/kg. El riesgo toxicológico se evaluó mediante el cociente de riesgo no cancerígeno (HQ) y el riesgo cancerígeno (RC). El HQ presentó una media de $2,15 \pm 2,63$, por encima del umbral de 1 establecido por la USEPA. De forma concordante, el RC tuvo una media de $4,1 \times 10^{-3} \pm 5,1 \times 10^{-3}$, excediendo el rango de aceptabilidad de 10^{-6} a 10^{-4} . Ambos indicadores mostraron diferencias significativas según sexo y zona de residencia, siendo mayores en mujeres y en residentes de zona rural. Asimismo, variaron en función de la frecuencia y cantidad de consumo, tipo de ají y peso corporal. En conclusión, los pobladores de Ite están expuestos, a través del ají amarillo, a niveles de arsénico que implican riesgos sistémicos y cancerígenos.

Palabras clave: Riesgo toxicológico, ají amarillo, arsénico.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the toxicological risk of arsenic associated with the consumption of yellow chili peppers among residents of the district of Ite, Tacna, in 2025. A quantitative, basic, analytical, cross-sectional, and descriptive investigation was carried out. Sixty-eight samples of yellow chili peppers (*Capsicum baccatum*) were collected and 49 residents were surveyed, with the arsenic content being analyzed at the BHIOS laboratory (Arequipa). All samples exceeded the reference value of 0.10 mg/kg, with a mean concentration of 0.49 ± 0.17 mg/kg. The toxicological risk was assessed using the non-carcinogenic risk quotient (HQ) and the carcinogenic risk (RC). The HQ had a mean of 2.15 ± 2.63 , above the threshold of 1 established by the USEPA. Similarly, the CR had a mean of $4.1 \times 10^{-3} \pm 5.1 \times 10^{-3}$, exceeding the acceptable range of 10^{-6} to 10^{-4} . Both indicators showed significant differences according to sex and area of residence, being higher in women and rural residents. They also varied according to frequency and amount of consumption, type of chili pepper, and body weight. In conclusion, the inhabitants of Ite are exposed, through yellow chili peppers, to levels of arsenic that pose systemic and carcinogenic risks.

Keywords: Toxicological risk, yellow chili pepper, arsenic.

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un metaloide ampliamente distribuido en el ambiente, presente en formas orgánicas e inorgánicas, siendo estas últimas las más tóxicas para los seres vivos (1). Su presencia natural se ha identificado en suelos, aguas subterráneas y sedimentos, aunque también puede incorporarse al ambiente debido a actividades antropogénicas como la minería, la agricultura intensiva y procesos industriales (2).

Una de las principales vías de exposición humana al arsénico es el consumo de alimentos contaminados. Las plantas cultivadas en suelos contaminados o irrigadas con aguas que contienen este metaloide pueden absorberlo y acumularlo en sus tejidos comestibles (4). De acuerdo a algunos estudios internacionales, el ají seco *Capsicum spp.* es un alimento en el que se ha encontrado niveles elevados de arsénico (5) (6).

En esa línea, en el distrito de Ite del departamento de Tacna, que constituye una importante zona de producción agrícola, se cultivan productos de alta demanda como el ají amarillo. Sin embargo, esta actividad enfrenta riesgos significativos debido a la contaminación de fuentes hídricas utilizadas para riego. Informes recientes han documentado

la presencia de concentraciones elevadas de arsénico en el agua potable del distrito de Ite, alcanzando valores de hasta 0.43 mg/L, superando los límites máximos establecidos por las autoridades sanitarias nacionales e internacionales. Esta situación plantea una preocupación tanto para la salud pública como para la inocuidad de los productos agrícolas cultivados en la zona (7), dado que la exposición crónica al arsénico a través de alimentos contaminados puede generar efectos adversos graves en la salud humana (1,2).

No obstante, en el distrito de Ite no se cuenta con estudios actualizados que evalúen la concentración de arsénico en ají amarillo ni que estimen el riesgo toxicológico derivado de su consumo.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo cultivado en el distrito de Ite durante el año 2025. El trabajo se estructuró en cuatro capítulos: en el primero se presenta la problemática y se definen las variables de estudio; en el segundo se revisan estudios nacionales e internacionales relacionados con el tema; en el tercer capítulo se describe el diseño metodológico y la ruta de investigación; y, finalmente, en el cuarto capítulo se exponen y analizan los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El ají amarillo (*Capsicum baccatum*) es uno de los pilares de la horticultura peruana y un ingrediente emblemático de la gastronomía nacional. Su creciente demanda, tanto en el mercado interno como en las cadenas de exportación, obliga a garantizar la inocuidad del producto. Sin embargo, en los últimos años se ha documentado la presencia de contaminantes inorgánicos — en particular metales pesados como el arsénico (As) — cuyas concentraciones podrían comprometer la salud pública.

En el plano nacional, el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) informó que 81,25 % de las muestras de ají amarillo analizadas en su Plan Anual de Monitoreo de Contaminantes (2022) presentaron residuos por encima de los límites máximos permitidos, incluyendo As y Cd. A esta situación se añade la evidencia del Análisis Situacional de Salud (ASIS) Tacna 2023, el cual reportó valores de 0,49 mg L⁻¹ de As en el agua

de consumo humano del distrito de Ite —casi cincuenta veces el valor guía de la OMS (0,01 mg L⁻¹) (8,9)

Más reciente aún, un informe técnico de la Municipalidad Distrital de Ite (2025) halló concentraciones de 0,41 mg L⁻¹ de As en aguas superficiales usadas para riego agrícola, confirmando que la fuente de riego es un vector plausible de contaminación del cultivo.

En esa línea, una revisión sistemática con metaanálisis evidenció que ciertas muestras de *Capsicum* contaminadas con arsénico se asociaron como un indicador de riesgo carcinogénico significativo (13). De igual manera, en Pakistán, Natasha et al. (14) evaluaron hortalizas irrigadas con aguas residuales y hallaron contenidos de As de hasta 6,5 mg kg⁻¹, con riesgos carcinogénicos que superan los niveles de seguridad para consumidores adultos, así como población vulnerable infantil.

El distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, Tacna, presenta condiciones ambientales vulnerables, particularmente por la descarga histórica de relaves mineros de Cuajone y Toquepala hacia la Bahía de Ite que ha contaminado suelos, sedimentos y cuerpos de agua con As, Pb y Cd, como confirman estudios geológicos recientes (15). El hallazgo de

niveles críticos de As tanto en el agua potable ($0,49 \text{ mg L}^{-1}$) como en el agua de riego ($0,41 \text{ mg L}^{-1}$) sugiere un riesgo doble: (i) ingestión directa de agua contaminada y (ii) exposición indirecta a través de cultivos irrigados con esa misma fuente.

A pesar de estos antecedentes, no existen estudios publicados que midan la concentración de arsénico en el ají amarillo producido en Ite ni que cuantifiquen el riesgo toxicológico derivado de su consumo crónico. Este vacío de información limita la toma de decisiones sanitarias y advierte de un desconocimiento sobre la seguridad del consumo de este producto agrícola.

Ante esta situación, es imperativo realizar el presente estudio, que permita cuantificar la concentración de arsénico en el ají amarillo producido en Ite durante el año 2025 y evaluar el riesgo toxicológico para los consumidores.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

¿Existe riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite, 2025?

1.2.2. Problemas secundarios

- a) ¿Cuál es la concentración de arsénico en las muestras de ají amarillo producidas en el distrito de Ite, 2025?

- b) ¿Cuáles son las características sociodemográficas, de consumo, clínicas y antecedentes de los pobladores que consumen ají amarillo del distrito de Ite, 2025?

- c) ¿Existirán diferencias del riesgo toxicológico para arsénico asociado al consumo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite según las características sociodemográficas y de consumo de ají de los pobladores del distrito de Ite, 2025?

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación teórica

La presencia de arsénico en el agua de riego por encima del límite máximo establecido por la OMS representa un problema relevante desde la toxicología ambiental, debido a su capacidad de bioacumulación en cultivos destinados al consumo humano, como el ají amarillo (*Capsicum baccatum*). Este metaloide se asocia con efectos no cancerígenos y cancerígenos, por lo que su estudio se enmarca en los marcos conceptuales de evaluación de riesgo toxicológico y seguridad alimentaria.

Asimismo, la comparación de las concentraciones halladas con los valores de referencia internacionales (OMS, Codex Alimentarius, EPA) permite sustentar teóricamente la magnitud del riesgo, integrando conceptos de exposición crónica, cociente de riesgo (HQ) y riesgo cancerígeno (RC) aplicados a la realidad local.

1.3.2. Justificación práctica

El distrito de Ite, en el departamento de Tacna, se caracteriza por una actividad agrícola intensiva, donde los ajíes constituyen uno de los cultivos más representativos. Sin embargo, la ausencia de estudios específicos sobre arsénico en estos productos limita la capacidad de las autoridades para priorizar intervenciones y diseñar estrategias de control en la cadena de producción y comercialización.

Generar datos locales sobre la concentración de arsénico en ají amarillo y su riesgo asociado permitirá disponer de evidencia concreta para la toma de decisiones en vigilancia sanitaria, monitoreo de agua de riego y orientación técnica a agricultores y organismos reguladores.

1.3.3. Justificación social

La posible presencia de arsénico en alimentos de consumo habitual como el ají amarillo constituye una amenaza potencial para la salud pública, especialmente en comunidades donde el monitoreo

ambiental es limitado y la población depende de la producción local. La exposición crónica a metales pesados se asocia a consecuencias a largo plazo que afectan la calidad de vida y la productividad de la población.

En este contexto, la investigación adquiere relevancia social al aportar información que puede sustentar acciones de protección de la salud, reducir la vulnerabilidad de grupos expuestos y contribuir a garantizar el acceso a alimentos inocuos en el distrito de Ite y zonas aledañas.

1.3.4. Justificación metodológica

La propuesta de cuantificar arsénico en ají amarillo mediante una técnica analítica validada, así como de calcular indicadores de riesgo (HQ y RC) y contrastarlos con referencias internacionales, se justifica metodológicamente porque permite una evaluación rigurosa, reproducible y comparable con otros estudios.

Este enfoque integra el análisis químico con la evaluación cuantitativa del riesgo toxicológico, lo que posibilita relacionar de

manera objetiva las concentraciones de arsénico con el riesgo estimado para la población consumidora. De esta forma, la investigación llena una brecha de información crítica y sienta las bases metodológicas para futuras evaluaciones en otros cultivos y contextos del país.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (*capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar las concentraciones de arsénico en ají amarillo (*capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite, 2025.

- d) Describir las características sociodemográficas, de consumo, clínicas y antecedentes de los pobladores que consumen ají amarillo del distrito de Ite, 2025.

e) Evaluar el riesgo toxicológico para arsénico asociado al consumo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite según las características sociodemográficas y de consumo de ají de los pobladores del distrito de Ite, 2025.

1.5. HIPÓTESIS

Hipótesis alterna (Ha): Existe riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite en el año 2025.

Hipótesis nula (Ho): No existe riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite en el año 2025.

Es importante enfatizar que, el contraste de estas hipótesis no se sustentará en pruebas de significancia estadística ni en la estimación de valores-p. La evaluación se realizará de modo determinístico, es decir, se calcularán los indicadores *Hazard*

Quotient (HQ) —para efectos no cancerígenos— y la Estimación de Riesgo de Cáncer (CR) —para efectos cancerígenos— y se compararán directamente con sus valores de referencia ($HQ \leq 1$ y $CR \leq 1 \times 10^{-4}$) (16,17). Finalmente, de acuerdo a la evaluación de riesgos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA-EEUU), se decidirá rechazar o no rechazar la hipótesis nula según la positividad o resultado más crítico de cualquiera de los dos parámetros (18).

1.6. DETERMINACIÓN DE VARIABLES

1.6.1. Variable X (independiente)

Consumo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*)

- Cantidad diaria de ají amarillo
- Frecuencia de consumo de ají amarillo

1.6.2. Variable Y (dependiente):

Riesgo toxicológico por arsénico:

- Concentración de arsénico en ajíes (*Capsicum baccatum*)
- *Hazard Quotient* (HQ)
- *Cancer Risk* (CR)

1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | INDICADORES | VALOR FINAL | TIPO DE VARIABLE | ESCALA |
|--|--|--|---------------------------------------|---|-----------------------|-----------|
| Variable X Consumo de ají amarillo | Ingesta habitual de ají amarillo que realiza un adulto residente de Ite para la preparación y consumo de alimentos. | Se recolectarán parámetros dietéticos y de nutrición mediante la aplicación de una encuesta estructurada y una ficha de recolección de datos | Cantidad diaria de ají amarillo | Kg por persona/día | Cuantitativa continua | Intervalo |
| | | | Frecuencia de consumo de ají amarillo | Veces por semana | Cuantitativa continua | Discreta |
| Variable Y Riesgo toxicológico | Probabilidad de efectos adversos en la salud humana debido a la exposición crónica a arsénico a través de alimentos o agua de consumo. | Mediante el cálculo de HQ y CR de acuerdo a la Guía de la EPA y ASTDR | Concentración de arsénico total | mg/Kg | Cuantitativa continua | Razón |
| | | | <i>Hazard Quotient</i> (HQ) | - HQ < 1: no se espera riesgo para la salud - HQ ≥ 1: existe un riesgo potencial | Dicotómica | Ordinal |
| | | | Riesgo de cáncer (RC) | - 10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁴ : Riesgo mínimo o bajo - > 1 × 10 ⁻⁴ : Riesgo elevado o inaceptable | Dicotómica | Nominal |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales

Zhou et al. (10), en China en el 2024, realizaron el estudio “*Contaminación por cuatro metales pesados en chiles secos en la provincia de Guizhou y evaluación de su riesgo para la salud*”, que tuvo como objetivo evaluar los niveles de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) en chiles secos de nueve distritos en la provincia de Guizhou. La evaluación incluyó el modelado de la ingesta diaria (EDI), el cociente de riesgo objetivo (THQ), el índice de riesgo objetivo total (TTHQ) y el riesgo carcinogénico objetivo (TCR) para evaluar los riesgos para la salud en diferentes grupos de población. Los resultados mostraron que el cromo ($0,9540 \pm 0,301$ mg/kg) y el plomo ($0,8949 \pm 0,266$ mg/kg) tuvieron las concentraciones más altas, seguidos del arsénico ($0,3287 \pm 0,093$ mg/kg) y el cadmio ($0,0627 \pm 0,017$ mg/kg). Los niños presentaron valores de IDE más altos que los adultos, lo que indica mayores riesgos para la salud derivados del

consumo de chile seco en niveles equivalentes. Los valores de THQ y TTHQ fueron inferiores a 1 en todas las regiones, lo que indica que no existen riesgos significativos para la salud asociados con el consumo de chile seco. De igual manera, los valores de TCR fueron inferiores a 10^{-4} en las nueve regiones, lo que indica un nivel aceptable de riesgo carcinogénico. En general, el consumo de chile seco en la provincia de Guizhou presenta un riesgo aceptable para la salud, pero se recomienda precaución, especialmente en niños, para limitar la exposición a metales pesados.

Awoyale et al. (20), en Nigeria en el 2024, en la investigación *“Contenido de aflatoxinas y composición de metales pesados en pimienta en polvo de mercados seleccionados del estado de Kwara, Nigeria”*, analizaron muestras de pimienta en polvo de varios mercados del estado de Kwara (Offa, Oja-Oba, Ganmo, Shao, Elemere y Maleté) utilizando métodos estándar para las aflatoxinas B1 (AFB1), B2 (AFB2), G1 (AFG1) y G2 (AFG2), y plomo, cadmio, cobre y arsénico. Respecto a los resultados de arsénico, el rango de datos para este metaloide fue de 10,18-22,68 mg/kg, que es más alto que el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud de 0,0003 mg/kg. Los hallazgos del estudio demuestran la necesidad de

un programa de monitoreo y educación en el estado de Kwara para garantizar la seguridad del público al consumir pimienta en polvo.

Lucic et al. (13), en Serbia en el 2022, en su estudio "*Ingesta dietética y evaluación de riesgos para la salud de elementos esenciales y tóxicos en el pimiento (Capsicum annuum)*", analizaron el contenido de 21 elementos esenciales y tóxicos en pimientos frescos, secos y procesados (*Capsicum annuum*) obtenidos de un mercado serbio. La concentración de los elementos varió significativamente entre las muestras analizadas. El elemento esencial más abundante fue K con una concentración promedio de 8,4 g/kg de peso fresco. Todos los productos procesados también tuvieron un mayor contenido de Na, alcanzando un valor máximo de 15,8 g/kg de peso fresco en pimientos de los productos de carne de pimiento. Se encontraron elementos tóxicos Pb, Cd y As en todas las muestras analizadas, mientras que Hg se detectó en unas pocas muestras. Con base en los valores de referencia o la ingesta dietética recomendada, el pimiento y los productos de pimiento no son una fuente significativa de elementos esenciales. La evaluación de riesgos para la salud se realizó calculando el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el riesgo carcinogénico (CR), así como comparando la

ingesta semanal estimada (Al, Hg, Cd) y diaria (As, Pb) con los valores apropiados de PTWI y BMDL. Los resultados de la evaluación de riesgos indican que los pimientos y los productos de pimiento son en su mayoría seguros para el consumo tanto de adultos como de niños. Sin embargo, el consumo de algunas muestras de pimiento puede suponer un riesgo para la salud debido a un valor de riesgo incremental de cáncer a lo largo de la vida (ILCR) superior a 10^{-4} .

Natasha et al. (21), en Pakistán en el 2021, realizaron la investigación "*Riesgos para la salud derivados de la acumulación de arsénico en el suelo y los cultivos alimentarios tras el riego con aguas residuales*", que tuvo como objetivo analizar los posibles peligros para la salud de la acumulación de As en el suelo y las plantas de alimentos irrigadas con aguas residuales municipales que crecen en condiciones naturales. Se seleccionaron dieciséis ubicaciones de riego con aguas residuales en el distrito de Vehari. De estos sitios, se recogieron un total de 16 muestras de aguas residuales, 108 muestras de suelo y 65 muestras de plantas para el análisis de As. El contenido total de As en aguas residuales (5,3-63,6 $\mu\text{g/L}$), suelo (1,4-19,6 mg/kg) y plantas (0-6,5 mg/kg) varió enormemente según la ubicación del muestreo, la profundidad del suelo y el tipo de planta. Con base en el

contenido total de As en los tejidos comestibles, los parámetros de evaluación de riesgos, especialmente el factor de riesgo de cáncer, mostraron posibles riesgos para la salud ($> 0,0001$) en los cultivos de trigo para niños, mientras que no se observaron riesgos para otros cultivos alimentarios. Se recomienda el uso de cultivos alimentarios múltiples y diversificados en el área de estudio para minimizar el posible riesgo de exposición e intoxicación por As. El estudio también anticipa algunas perspectivas futuras considerando la situación real del uso de aguas residuales, la posible exposición a metaloides en humanos y los riesgos para la salud asociados a escala local y global.

Monboonpitak et al. (22), en Tailandia en el 2018, realizaron un estudio "*Evaluación probabilística del riesgo de arsénico inorgánico a través del consumo de hierbas recolectadas en Tailandia*", Se determinó el contenido total e inorgánico de arsénico en diez hierbas tailandesas de consumo común: chile ojo de pájaro, pimienta de cayena, apio, ajo, albahaca sagrada, menta de cocina, limoncillo, pimienta, chalota y albahaca dulce, mediante espectrometría de absorción atómica acoplada a un sistema de generación de hidruros (HG-AAS). El contenido total de arsénico en hierbas frescas y liofilizadas varió de 3,39 a 119 ng/g de peso húmedo y de 41,0 a 156

ng/g de peso seco, respectivamente. El contenido inorgánico de arsénico en hierbas frescas y liofilizadas varió de 2,09 a 26,9 ng/g y de 23,5 a 55,5 ng/g, respectivamente. Los porcentajes de arsénico inorgánico con respecto al arsénico total en hierbas variaron del 22,7 al 62,0%. Se encontraron altos porcentajes de arsénico inorgánico con respecto al arsénico total en apio, limoncillo y albahaca dulce. Los contenidos totales de arsénico en las hierbas estudiadas fueron inferiores a los límites máximos de las normas regulatorias tailandesas y chinas, establecidos en 2000 ng/g en alimentos (excluyendo animales acuáticos y mariscos) y 500 ng/g en vegetales frescos, respectivamente. Los contenidos totales de arsénico e inorgánico en las hierbas estudiadas fueron comparables o inferiores a los niveles encontrados en otros estudios en la UE y China. La dosis diaria promedio de por vida (LADD) y el riesgo de cáncer (CR) de la exposición al arsénico inorgánico a hierbas de consumo común se evaluaron utilizando la evaluación de riesgos probabilística (PRA) por el software @RISK versión 6.0 de Palisade Cooperación. Todos los valores calculados de LADD y CR de todas las hierbas no excedieron los niveles aceptables. Se puede concluir que existen riesgos muy bajos de cáncer por la exposición al arsénico inorgánico derivado del consumo de las hierbas estudiadas.

Hermosillo et al. (12), en México en el 2019, desarrollaron el estudio *“Trazabilidad de arsénico en agua de riego agrícola en el centro sur del estado de Chihuahua, México”*, que tuvo como objetivo determinar la concentración de arsénico total (As-tot) en pozos agrícolas al centro-sur del estado de Chihuahua, así como su trazabilidad a suelo y cultivos del territorio. Se muestrearon 119 pozos de riego agrícola. El muestreo de suelo se realizó en seis sitios, en cada uno se colectaron 24 muestras; en estos mismos se colectaron 32 plantas de cebolla y 37 de chile. La concentración de As-tot se determinó en todas las matrices por espectrometría de absorción atómica con generador de hidruros. El 11 % de los pozos superaron el límite máximo permisible (LMP) de As-tot en agua para uso agrícola (100 µg/L); la mayor concentración de As-tot fue 576 µg/L. En el sitio con mayor concentración de As-tot en suelo, el 42 % de las muestras superaron el LMP para uso agrícola (22 mg/kg), presentando una concentración máxima de 47,5 mg/kg. La mayor presencia de As-tot en cultivos fue en raíz, 7,4 mg/kg en chile serrano y 28,8 mg/kg en cebolla. Sin embargo, en fruto se determinó 0,16 mg/kg en chile y 0,38 mg/kg en cebolla. Se demostró que en la región el riego de cultivos

con agua con altos niveles de As-tot genera movimiento del metaloide a matrices que se relacionan con la ingesta de la población.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Proleon et al. (23), en Lima en el 2022, realizaron el estudio *“Metaanálisis sobre la presencia de metales pesados, incluyendo arsénico, en alimentos distribuidos en Lima, Arequipa, Piura y Cusco”*, que tuvo como objetivo: Establecer el riesgo en el consumo de determinados alimentos a partir de las concentraciones tóxicas de metales pesados mediante metaanálisis. Para ello, se realizó una evaluación y síntesis a través de metaanálisis de tesis de pregrado sobre metales tóxicos; arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) en alimentos en Perú. Como principales resultados: Únicamente 6 estudios contenían información relevante y de “calidad”, las pruebas de heterogeneidad indican alta variabilidad en los estudios. Conclusiones: Se evidencia que las evaluaciones de calidad de los estudios seleccionados no cumplen con los criterios de contenido que permitan extrapolar sus resultados para la toma de decisiones. La población peruana está expuesta al consumo de alimentos contaminados con metales pesados, existiendo un elevado

riesgo de toxicidad por el consumo de estos alimentos y debiendo complementarse con estudios objetivos al respecto. Finalmente, el estudio destacó que verduras, frutas y tubérculos presentaban niveles detectables de arsénico, especialmente en zonas agrícolas cercanas a ríos contaminados por actividades mineras o uso de agua subterránea.

Llallahui et al. (26), en Lima en el 2019, desarrollaron la investigación “*Determinación de Arsénico, Cadmio y Plomo en especias en polvo: Ají Paprika (Capsicum annuum, L.), Ají Panca (Capsicum chinense), Pimienta (Piper nigrum) y Comino (Cuminum cyminum), expendidos en el Mercado Caquetá-San Martín de Porres, Lima en el periodo enero - 2018*”, que tuvo como objetivo evaluar la concentración de arsénico, cadmio y plomo en especias en polvo: ají paprika (*Capsicum annuum, l.*), ají panca (*Capsicum chinense*), pimienta (*Piper nigrum*) y comino (*Cuminum cyminum*), expendidos en el mercado Caquetá-San Martín de Porres, Lima en el periodo enero 2018. La concentración de metales pesados fue determinada por el Método de Espectrometría de Absorción Atómica. Los valores de metales encontrados en las muestras de especias en polvo, son de Arsénico un valor promedio de 0,46 ppm, con un valor mínimo de

0,12 ppm , y un valor máximo de 1,59 ppm, de Cadmio un valor promedio de 0,19 ppm, con un valor mínimo de 0,09 ppm, y valor máximo de 0,35 ppm y de Plomo un valor promedio de 3,99 ppm, con un valor mínimo de 1,26 ppm, y valor máximo de 6,54 ppm Los resultados indican que las muestras de especias en polvo analizadas contienen concentración de metales que superan los parámetros establecidos por la Organización Mundial de Salud, lo cual nos permite concluir que las especias en polvo están contaminadas con estos metales y pueden repercutir en la salud de las personas que las ingieran.

Soto et al. (27), en Lima en el 2019, en su estudio *“Determinación de metales pesados en suelo y productos agrícolas de la zona minera La Pastora”*, los resultados mostraron niveles de arsénico en el suelo de 6,268 mg/kg en la plantación de yuca, superando los estándares de calidad para suelos agrícolas establecidos por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), que es de 50 mg/kg. Además, se detectaron concentraciones de arsénico en la raíz y el tallo de la yuca cultivada en esta zona, lo que indica una posible acumulación de este metal en los cultivos.

Enriquez (28), en Tacna en el 2015, realizaron “*Nivel alto de arsénico y su repercusión en la salud*”, se observó que, en la localidad de Tacna, los niveles de arsénico en el agua potable superaban el límite recomendado por la OMS de 0,01 mg/L, alcanzando un promedio de 0,056 mg/dL. Este incremento en los niveles de arsénico en el agua potable ha sido asociado con un aumento en la incidencia de cánceres relacionados con este elemento, como los de piel, estómago y vesícula.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Generalidades del arsénico

El arsénico (As) es un metaloide ubicuo en el ambiente, presente en rocas, suelos, aguas subterráneas y alimentos. Puede encontrarse en formas orgánicas e inorgánicas, siendo estas últimas las más tóxicas para los seres vivos. La forma trivalente (arsenito, As^{3+}) es más tóxica y móvil que la pentavalente (arseniato, As^{5+}), lo cual es crucial para su comportamiento ambiental y biológico (ATSDR, 2007) (2)

La contaminación por arsénico puede ser de origen natural, a través de la erosión de formaciones geológicas, o de origen antrópico, como ocurre en actividades mineras, uso de pesticidas arsenicales, combustión de carbón y fundición de metales. En el caso del Perú, la contaminación por arsénico ha sido documentada en diversas regiones altoandinas, particularmente en Puno, Arequipa y Tacna.

En el distrito de Ite, departamento de Tacna, existen antecedentes de posibles fuentes naturales de arsénico en suelos volcánicos y áreas cercanas a antiguas explotaciones mineras. Su cercanía a fuentes geotérmicas y a zonas con baja capacidad de remediación natural del suelo aumenta el riesgo de movilización de arsénico hacia cultivos agrícolas como el ají.

2.2.2. Mecanismo de toxicidad del arsénico

a. Farmacocinética

Absorción

El arsénico inorgánico (As^{5+} , As^{3+}) se absorbe eficientemente por vía oral (40–90 %), sobre todo en agua y alimentos; también se

absorbe por inhalación (aerosoles, polvo) y en menor grado por vía dérmica.

Distribución

Tras la absorción, el arsénico circula unido a proteínas plasmáticas (principalmente albúmina), se distribuye rápidamente a hígado, riñón, pulmones, piel y sistema nervioso, y se acumula especialmente en piel, pelo y uñas, que son marcadores clásicos de exposición crónica.

Metabolismo

El arseniato (As^{5+}) se reduce a arsenito (As^{3+}) en sangre y tejidos. El arsenito se metila en el hígado mediante la vía del S-adenosilmetionina (SAM) para formar ácido monometilarsonoso/arsónico (MMA) y dimetilarsénico (DMA), que son más hidrosolubles y se eliminan con mayor eficiencia.

Algunas especies intermedias (MMA^{3+} , DMA^{3+}) pueden ser incluso más reactivas y tóxicas que el arsénico inorgánico.

Excreción

La vía principal de eliminación es la orina, como mezcla de As inorgánico, MMA y DMA; por ello, el arsénico urinario es el biomarcador estándar de exposición reciente.

La semivida biológica de las fracciones fácilmente movilizables es de días, pero la exposición crónica genera efectos acumulativos a nivel tisular y genómico.

b. Farmacodinámica

Es importante el tipo de compuesto arsenical que se relaciona con la naturaleza de sus cargas; así, los derivados monosustituidos (arsenito monometálico), son eficaces inhibidores mercaptoformadores, mientras que los bisustituidos (arsenito bimetálico) afectan a la deshidrogenasa isocítrica responsable de catalizar la

conversión de isocitrato en alfa-cetoglutarato, con regeneración de ATP en el Ciclo de Krebs (34).

Se sabe también que los compuestos arsenicales trivalentes actúan mejor sobre las coenzimas ditiólicas, en especial sobre el factor lipoato, inhibiendo el sistema piruvato oxidasa. Los sistemas oxidasa inhibidos detienen las transformaciones metabólicas en la etapa de la oxidación del piruvato y del alfa cetoglutarato, con lo que queda bloqueado el Ciclo de Krebs, con déficit de metabolitos esenciales y acumulo de otros (34)

La toxicidad del arsénico es compleja pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto. El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en humanos. El gas arsina es considerado como la forma más toxica del arsénico, lo que se debe a su actividad como potente agente hemolítico, sin embargo, este gas difícilmente alcanza niveles tóxicos en el ambiente. En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de arsénico (III) son más toxicas que las de arsénico (V) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad (34).

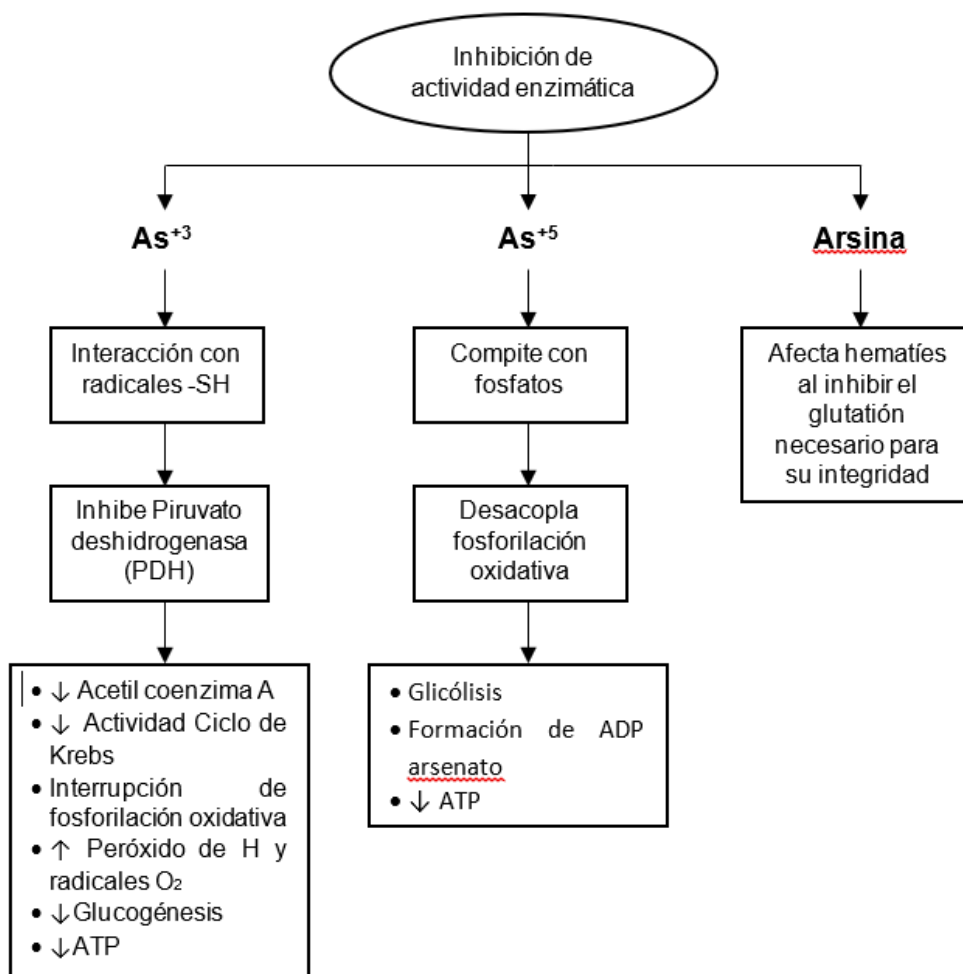


Gráfico 1. Mecanismo de toxicidad del arsénico en la inhibición enzimática

Fuente: Abernathy CO, Thomas DJ, Calderon RL. Health effects and risk assessment of arsenic. J Nutr.

Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12730460/>

2.2.2.1. Efectos crónicos en las intoxicaciones por arsénico

La ingestión crónica de arsénico en el agua de bebida genera lesiones en la piel, la hiperpigmentación e hiperqueratosis palmoplantar; desórdenes del sistema nervioso; diabetes mellitus; anemia; alteraciones del hígado; enfermedades vasculares, cáncer de piel, pulmón y vejiga. El HACRE es “hidroarsenicismo crónico regional endémico” o «enfermedad de los pies negros”, es el arsenicismo causado por beber permanentemente agua con más de 5 µg As/L. El tratamiento involucra proporcionar al paciente agua de bebida libre de arsénico. El siguiente paso es monitorearlo y la principal medida de salud pública consiste en prevenir la exposición humana (2) (18) (17) (33).

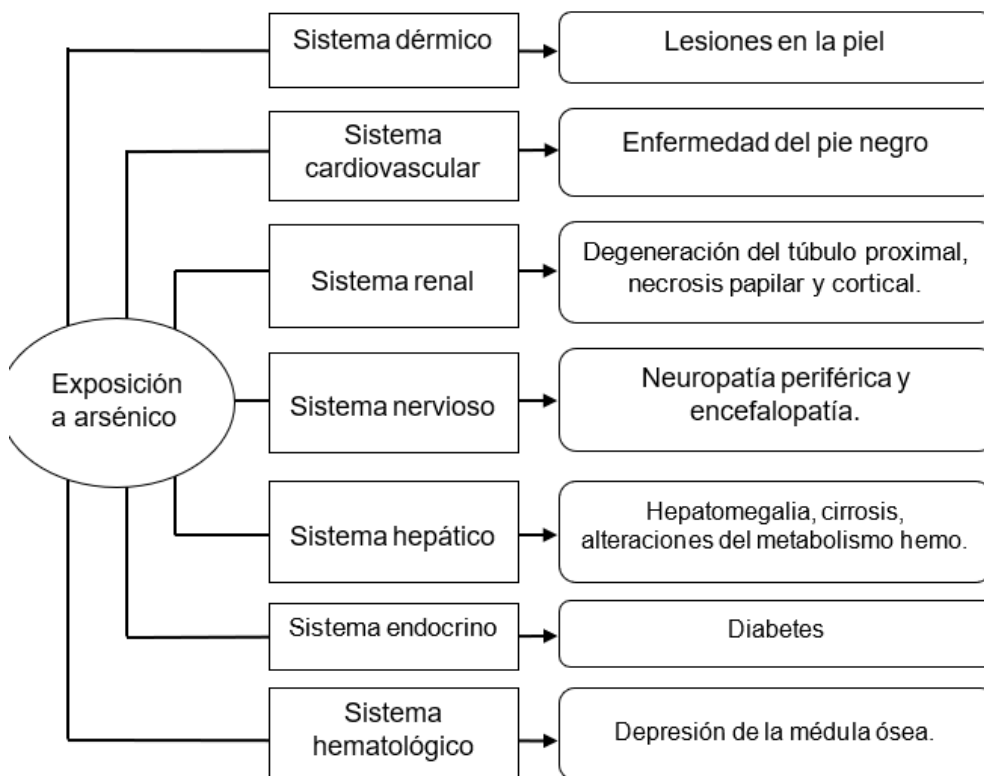


Gráfico 2. Principales efectos del arsénico en órganos y sistemas

Fuente: US EPA O. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part A

Disponible: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

A. Lesiones dérmicas

Incluyen hiperhidrosis, hiperqueratosis palmar y plantar, verrugas, dermatitis irritativa y alérgica, úlceras, sensibilización, melanodermia arsenical (es una melanosis difusa que se extiende a cuello, tronco y extremidades), La coloración apizarrada es producida por la acumulación de

melanina y tiene distribución en "gotas de lluvia", estrías blancas en las uñas (Bandas de Aldrich-Mees), acrocianosis y caída de cabello y uñas (17).

B. Lesiones de mucosas

La acción corrosiva del arsénico puede causar queratoconjuntivitis que pueden llegar a necrosis y ulceración de la córnea, la irritación de las vías respiratorias resulta en una bronquitis crónica, esta irritación puede causar ulceración y perforación del septum nasal en su porción cartilaginosa (17) .

C. Trastornos del aparato digestivo

En casos de intoxicación por alimentos, agua o medicamentos se señalan síntomas como diarreas, náuseas, estreñimiento. Asimismo, pueden presentarse alteraciones hepáticas como hepatopatías, lesiones degenerativas, cirrosis y síndrome de hipertensión portal (17).

D. Alteraciones cardiovasculares

Se producen por acción tóxica sobre el miocardio, alteraciones del electrocardiograma y arterioesclerosis de las arterias medianas y grandes. La exposición prolongada al arsénico inorgánico por la ingestión de agua puede dar lugar a trastornos vasculares periféricos como hipertensión arterial, Fenómeno de Raynaud, acrocianosis y muy raramente gangrena (pie negro) (17).

E. Trastornos del sistema nervioso central

Como cefalea, insomnio, fasciculaciones, pudiendo llegar a ataxia y característicamente una polineuropatía sensitiva y motora simétrica preferentemente en extremidades inferiores, sin embargo, hay casos donde no se observa simetría o alteración motora, histológicamente hay degeneración walleriana que afecta a los axones largos (17).

F. Trastornos hematológicos

Efecto depresor de la hematopoyesis en la médula ósea puede producir leucopenia, anemia megaloblástica, trombocitopenia, anemia aplásica y pancitopenia (17).

G. Efecto cancerígeno

Efecto cancerígeno: La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasifica los compuestos de arsénico inorgánico como cancerígenos de pulmón y piel, clase I, cancerígeno humano comprobado. Es así que se relaciona con el carcinoma de células escamosas, epiteloma que aparecen en las zonas hiperqueratósicas, carcinoma de células basales y las dermatitis crónicas precancerosas conocidas como Enfermedad de Bowen luego de un tiempo aproximado de latencia de 10 años o más; cáncer de pulmón y otros tumores como leucemia, linfoma y angiosarcoma hepático (17).

2.2.3. Movilización del arsénico hacia vegetales, como el ají

La absorción de arsénico por plantas es un proceso influenciado por la biodisponibilidad en el suelo, que a su vez depende del pH, el potencial redox, el contenido de materia orgánica, la presencia de hierro y aluminio, y la textura del suelo (Meharg & Zhao, 2012). En suelos ácidos, como los encontrados en zonas altoandinas del Perú (pH cercano a 4), el arsénico tiende a movilizarse con mayor facilidad, aumentando su disponibilidad para las raíces.

Las especies del género *Capsicum* (ajíes) tienen la capacidad de acumular arsénico, especialmente en sus raíces y frutos, dependiendo del tiempo de exposición y la concentración en el suelo. Islam et al. (2015) demostraron que el riego con agua contaminada por arsénico puede transferir cantidades significativas del metal al ají seco. Asimismo, estudios en Perú como el de Llallahui et al. (2019) mostraron concentraciones de hasta 1.59 mg/kg de arsénico en ají paprika y ají panca comercializados en Lima, superando el límite internacional permitido para especias secas.

El proceso de transferencia del arsénico desde el suelo a los vegetales, y luego a los humanos, representa un importante riesgo de exposición crónica, sobre todo en poblaciones que consumen frecuentemente ajíes o productos contaminados cultivados localmente.

2.2.4. El ají amarillo (*Capsicum baccatum*) como fuente potencial de exposición

El ají amarillo (*Capsicum baccatum*) es una especie nativa de América del Sur, especialmente cultivada en Perú. Es un ingrediente esencial en la gastronomía peruana y se consume en diversas formas, como fresco, seco o en pasta. Sin embargo, este cultivo puede estar expuesto a contaminantes como el arsénico, especialmente si se cultiva en suelos o se riega con aguas contaminadas.

Ciclo del arsénico en el ají

En el ají (*Capsicum annuum* / *C. baccatum*), el arsénico entra por las raíces:

- As(V) se internaliza principalmente a través de transportadores de fosfato.
- As(III) utiliza canales tipo aquagliceroporinas.

Ensayos en macetas con tomate y ají regados con As(III), As(V), ácido metilarsónico (MA) y dimetilarsínico (DMA) mostraron que la disponibilidad para la planta aumenta en el orden: arsenito \approx arsenato $<$ MA $<$ DMA, y que la mayor parte del arsénico se retiene en las raíces, con menor translocación a tallos, hojas y frutos.

Estudios específicos en pimiento/ají han demostrado que (13,21,22):

- El As se acumula principalmente en raíz $>$ hojas $>$ fruto, aunque el fruto puede contener niveles cuantificables (p.ej. 0,16 mg/kg en chile serrano irrigado con agua altamente contaminada).
- En los frutos aparece una mezcla de arsénico inorgánico (As(III), As(V)) y formas metiladas (DMA), resultado de procesos de biotransformación dentro de la planta.

2.2.5. Valores referenciales de arsénico en ajíes

El **Codex Alimentarius** (FAO/OMS, 1995; actualizado) establece un límite máximo de **0.1 mg/kg** de arsénico total para productos secos como las especias. Aunque no existe en Perú una norma específica para ají fresco o seco, estos productos se incluyen dentro de la categoría de alimentos susceptibles de vigilancia, debido a su potencial consumo habitual y riesgo toxicológico [25].

Estudios como el de Yirgu et al. (2021) en Etiopía y el de Islam et al. (2015) en Bangladesh documentan concentraciones de arsénico que superan ampliamente este límite en ajíes. En Perú, Lallahui et al. (2019) detectaron que el 100 % de las muestras de ají paprika y ají panca comercializadas en mercados de Lima superaban el valor referencial internacional, con valores promedio de 0.46 mg/kg y máximos de 1.59 mg/kg.

Esto resalta la importancia de establecer límites nacionales claros, así como sistemas de vigilancia de contaminantes en alimentos típicos de consumo local.

2.2.6. Riesgo toxicológico asociado al consumo de ají amarillo contaminado

Estudios han demostrado que las especias, incluyendo el ají, pueden acumular metales pesados como el arsénico. Por ejemplo, un estudio realizado en el mercado Caquetá de Lima encontró concentraciones variables de arsénico en especias en polvo, lo que sugiere una posible fuente de exposición para los consumidores.

La evaluación del riesgo toxicológico asociado al consumo de ají amarillo contaminado con arsénico implica calcular la Ingesta Diaria Estimada (IDE), el Cociente de Peligro (HQ) y el Riesgo Incremental de Cáncer (CR). Estos indicadores permiten estimar la magnitud del riesgo para la salud humana debido a la exposición a este contaminante a través de la dieta.

2.2.7. Cálculo de riesgo toxicológico

Con los datos recolectados se procederá al cálculo de los indicadores toxicológicos según los lineamientos de la EPA (Environmental Protection Agency) y la OMS (Organización Mundial

de la Salud). Esta institución señala que los indicadores de riesgo toxicológicos son: riesgo no canceroso o cociente de riesgo (CSR o HQ) y riesgo de cáncer (CR).

2.2.6.1. Cálculo del riesgo no canceroso (*Hazard Quotient* [HQ])

a) Ingesta Diaria Estimada (IDE)

$$IDE = \frac{C \times IR}{BW}$$

Donde:

- C = Concentración de arsénico en ají amarillo (mg/kg)
- IR = Ingesta diaria promedio de ají amarillo (kg/día)
- BW = Peso corporal promedio del encuestado (kg)

b) Cociente de Riesgo (HQ)

$$HQ = \frac{IDE}{RfD}$$

Donde:

- IDE = Ingesta diaria estimada

- RfD (Dosis de referencia oral): Valor teórico 0,00006 mg/kg·día según lo establecido por la EPA de Estados Unidos, actualizado en enero 2025.

Interpretación del HQ:

- $HQ < 1 \rightarrow$ no se espera riesgo para la salud
- $HQ \geq 1 \rightarrow$ existe un riesgo potencial

2.2.6.2. Cálculo del riesgo canceroso (*Cancer Risk* [CR])

$$CR = IDE \times OSF$$

Donde:

- IDE = Ingesta diaria estimada
- OSF = *Oral Slope Factor*. Valor teórico **32 (mg/Kg·día)⁻¹** según lo establecido por la EPA de Estados Unidos, actualizado en enero 2025.

Interpretación:

- 10^{-6} a 10^{-4} : Riesgo mínimo o bajo de cáncer
- $> 1 \times 10^{-4}$: Riesgo elevado o inaceptable de cáncer

2.2.8. Propiedades toxicológicas del arsénico en personas expuestas crónicas

La exposición crónica al arsénico inorgánico, incluso a bajas concentraciones, está asociada con múltiples efectos adversos para la salud humana. Entre los efectos más comunes se incluyen:

- **Dermatológicos:** Hiperpigmentación, lesiones queratósicas y cáncer de piel.
- **Neurológicos:** Pérdida sensorial, neuropatías periféricas, alteraciones cognitivas.
- **Endocrinos:** Disregulación metabólica, con aumento del riesgo de diabetes mellitus tipo 2.
- **Cardiovasculares:** Hipertensión, arteriosclerosis.
- **Oncológicos:** Cáncer de pulmón, vejiga, riñón e hígado (IARC, 2012; WHO, 2018).

En Perú, Olortegui (2022) realizó una evaluación de riesgo toxicológico por exposición a suelos agrícolas contaminados con arsénico en Carapongo. Encontró que tanto el índice de peligrosidad (IP) como el índice de riesgo (IR) fueron no aceptables en adultos y

niños, siendo el arsénico el único contaminante que superó los umbrales de riesgo tanto para efectos no cancerígenos como cancerígenos.

La exposición alimentaria a través del consumo habitual de productos contaminados, como el ají, constituye una vía relevante de exposición crónica, particularmente preocupante en poblaciones vulnerables como niños, gestantes o personas con enfermedades preexistentes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

Cuantitativa: Porque se recopila información de variables numéricas y se emplea estadística descriptiva e inferencial para responder a las preguntas de investigación, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para estimar la concentración de arsénico en ají amarillo y evaluar el riesgo toxicológico asociado a su consumo (29).

Básica: Porque se pretende generar y ampliar el conocimiento sobre la presencia de arsénico en ajíes cultivados que son destinados para consumo humano. Asimismo, no se aplica una intervención específica para alterar la naturaleza de la variable dependiente (29).

Analítica: Porque se pretende evaluar Analizar los datos obtenidos sobre la concentración de arsénico en las muestras y la

prevalencia de síntomas en la población para determinar si existe un patrón significativo en la exposición al arsénico y los efectos sobre la salud (29).

3.1.2. Diseño de investigación

Transversal: Porque la medición de las variables arsénico en suelos agrícolas y arsénico en ajíes se realizó en un momento puntual del tiempo (30).

3.1.3. Nivel de la investigación

Descriptiva: Se describirán los niveles de arsénico presentes en el ají amarillo destinado al consumo humano en Ite, Tacna, mediante la caracterización de las muestras recolectadas de diferentes zonas de cultivo. Además, se describirán los efectos tóxicos observados en los individuos de la población en función de la exposición crónica al arsénico a través del consumo de este alimento (31).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población del presente estudio está conformada por dos componentes:

- **Población de ají amarillo:** cultivos de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producidos durante la campaña agrícola 2025 en el distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, región Tacna. Se incluyen todas las parcelas activas de producción hortícola donde se cultiva ají amarillo. En esta población se evaluarán las concentraciones de arsénico total.
- **Población residente:** adultos residentes perennes del distrito de Ite que consumen ají amarillo de forma habitual como parte de su dieta. En esta población se estimará la exposición al arsénico a través de la ingesta alimentaria.

3.2.2. Muestra

a. Muestras de ají amarillo

Se aplicará un muestreo probabilístico simple, seguido de una distribución estratificada por sectores agrícolas del distrito de Ite. Para ello, se considerará como unidad muestral el ají amarillo y como universo la superficie agrícola cultivada con ají. La información del terreno cultivado (expresado en hectáreas [Ha]), se obtiene del Anuario Estadístico Agrícola 2023 (32), elaborado por la Dirección Regional de Agricultura Tacna, el cual describe que la superficie cultivada en el distrito de Ite es de 1841 Ha, de las cuales aproximadamente el 22% (405 Ha) corresponde a superficie cultivada con ají.

Ahora bien, para calcular el tamaño de muestra de ajíes, es necesario conocer el número de unidades agropecuarias (UA) o “chacras” donde se cultiva este vegetal. Para ello, según el IV Censo Nacional Agropecuario (33), en Ite hay 244 UA, de las cuales se obtiene un parámetro de 7.07 Ha/UA. En ese sentido, considerando que 405 Ha de terreno agrícola en Ite está cultivado con ajíes, esto representa 55 UA o “chacras” donde se cultivan dichos vegetales.

Por tanto, se emplea la siguiente fórmula de población finita para la estimación de una media (μ de $As \pm DS$):

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{E^2(N-1) + Z^2\sigma^2}$$

Donde:

N = Tamaño de muestra a recolectar. De acuerdo a los criterios DIGESA-SENASA (34), cada muestra será igual a un “**composite**” que estará compuesto por 5 unidades o 200 g de ajíes.

N = 55 UA o “chacras” donde se cultivan ajíes

Z = Nivel de confianza 95 % (1,96).

σ = Desviación estándar. Se considera el valor de 0,10 mg/kg de acuerdo al estudio de Zhou et al. (10)

E = Error absoluto. Se considera el valor de 0,05 mg/kg, dado que permite un IC 95 %.

Reemplazando:

$$n = \frac{55(1,96)^2(0,10)^2}{(0,05)^2(55-1) + (1,96)^2(0,10)^2}$$

$$n = 13 \text{ composites}$$

No obstante, se usa un factor de diseño (DEFF) de 1,2 y un adicional de 10% en caso de pérdida de muestras o reanálisis. Por lo que:

$$n_{final} = 13 \times 1.2 + 10\% = 17 \text{ composites}$$

Seguidamente, se hace una distribución estratificada o asignación proporcional por método Neyman simplificado considerando cada Centro Poblado de Ite con mayor superficie de ají cultivado.

Tabla 1. Distribución de muestras de ají amarillo a recolectar por estrato según método de Neyman

| Estrato | Número de chacras con ajíes (*) | % del total | n_h proporcional | n_h ajustado |
|------------|---------------------------------|-------------|--------------------|----------------|
| Camalara | 20 | 36 | 6,1 | 6 |
| Talamolle | 12 | 22 | 3,7 | 4 |
| Nuevo Ite | 10 | 18 | 3,1 | 3 |
| Las Vilcas | 8 | 15 | 2,5 | 3 |
| Otros | 5 | 9 | 1,6 | 1 |
| Total | 55 | 100 | 17 | 17 composites |

Fuente: Elaboración propia

(*) Dirección Regional de Agricultura Tacna

Finalmente, en la tabla precedente, se precisa la cantidad de composites que se recolectará por estrato.

b. Muestra de pobladores

Se aplicará un muestreo probabilístico simple ajustado por un diseño de conglomerados. Para ello, de acuerdo a los criterios de inclusión del presente estudio, se considerarán solo sujetos adultos residentes en el distrito de Ite. Para ello, se consideran los datos preliminares del Censo 2023 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el cual estima una población adulta de 2320.

Por tanto, se emplea la siguiente fórmula de población finita para la estimación de una media (μ de HQ y CR con IC95 %):

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{E^2(N-1) + Z^2\sigma^2}$$

Donde:

N = Tamaño de muestra

N = 2320 pobladores adultos en el distrito de Ite

Z = Nivel de confianza 95 % (1,96)

σ = Desviación estándar. Se considera el valor de 0,3 HQ de acuerdo al metanálisis realizado por Proleon et al. (23)

E = Error absoluto. Se considera el valor de 0,10 HQ que es moderado-conservador y que permite estimar una media distrital un IC 95 %.

Reemplazando:

$$n = \frac{2320(1,96)^2(0,30)^2}{(0,10)^2(2320 - 1) + (1,96)^2(0,30)^2}$$

$$n = 34 \text{ pobladores}$$

Sin embargo, se ajusta el tamaño de muestra por un factor de diseño (DEFF) de 1,3, debido a que el muestreo es por conglomerados u hogares y un adicional de 10% en caso de no participación. En consecuencia:

$$n_{final} = 34,2 \times 1.3 + 10\% = 49 \text{ pobladores}$$

3.2.2.1. Criterios de inclusión

A. Para las muestras vegetales (ají amarillo)

- Ajíes amarillos (*Capsicum baccatum*) cultivados y cosechados dentro del distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, durante la campaña agrícola 2025.
- Ajíes amarillos secos recolectados de chacras activas con producción destinada al consumo humano.
- Ajíes amarillos secos sin signos de deterioro.

B. Para los participantes humanos (consumidores)

- Personas mayores de 18 años residentes en el distrito de Ite durante el año 2025.
- Individuos que declaren consumir ají amarillo al menos una vez por semana.
- Personas que acepten participar voluntariamente y firmen el consentimiento informado.

3.2.2.2. Criterios de exclusión

A. Para las muestras vegetales (ají amarillo)

- Muestras de ají que provengan de fuera del distrito de Ite.

- Frutos en mal estado, deteriorados o con presencia de hongos, plagas u otros contaminantes visibles.
- Muestras que hayan sido tratadas industrialmente o procesadas.

B. Para los participantes humanos (consumidores)

- Menores de edad o personas no residentes en el distrito de Ite.
- Personas con dietas especiales que restrinjan el consumo de ají o alimentos picantes.
- Personas que no deseen participar o no firmen el consentimiento informado.
- Participantes con dificultades cognitivas que impidan responder adecuadamente la encuesta.

3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.3.1. Técnicas para la recolección de datos

3.3.1.1. Formato de Consentimiento Informado

Se empleó un Formato de Consentimiento Informado para que el poblador residente manifieste su aceptación como participante del presente estudio. Esto debido a que se recolectó información sociodemográfica, así como hábitos alimenticios y algunas variables clínicas.

3.3.1.2. Encuesta estructurada

Se diseñó y empleó una encuesta estructurada para recolectar información de los pobladores del distrito de Ite respecto a sus hábitos de consumo de ají amarillo. Esta técnica permitió estimar la ingesta diaria promedio del alimento (IR), necesaria para el cálculo del riesgo toxicológico (Anexo 2).

La encuesta fue validada mediante juicios de expertos. Para ello se convocó a tres profesionales de experiencia y conocimiento en el tema, destacando dos químicos farmacéuticos y un ingeniero agrónomo del distrito de Ite (Anexo 8).

La encuesta se aplicó a pobladores residentes del distrito de Ite, a los cuales se les verificó los criterios de selección antes de incluirlos en la base de datos para el análisis estadístico y llegar hasta la cuota de 49 pobladores de acuerdo al tamaño de muestra calculado.

3.3.1.3. Muestreo y análisis de arsénico total

a. Selección del área de muestreo

- Ubicación: Se identificaron parcelas agrícolas en producción de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) dentro del distrito de Ite, Tacna.
- Diseño de muestreo: Se utilizó un muestreo aleatorio estratificado por lote y sector del cultivo.
- Criterios: Se seleccionaron ajíes secos, representativos del estado comercial y aptos para consumo.

b. Recolección de muestras de ajíes

Materiales:

- Guantes de nitrilo (para evitar contaminación).
- Tijeras de acero inoxidable o cuchillos desinfectados.
- Bolsas plásticas estériles o tipo “ziplock” (grado alimentario).
- Hojas de codificación o etiquetas impermeables.

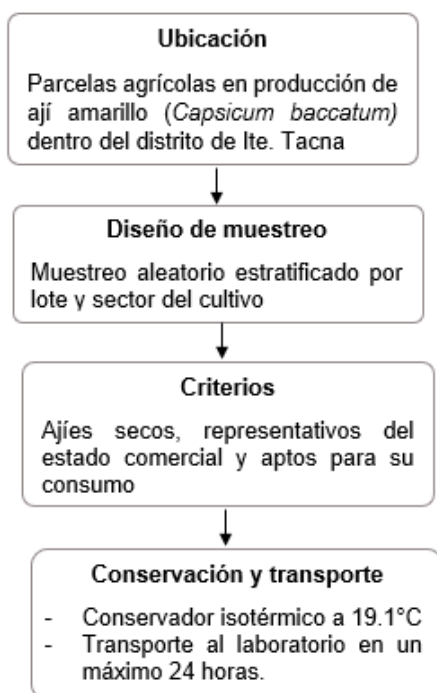
Procedimiento:

- Se tomaron al menos 5 a 10 ajíes por sitio, distribuidos en distintas partes de la planta y del lote.
- Se recolectaron un mínimo de 200 gramos por muestra compuesta.
- Se introdujeron los ajíes en bolsas limpias y codificadas con fecha, lote, ubicación GPS y nombre del agricultor.

Conservación y transporte

- Se transportaron las muestras en una conservadora con hielo reutilizable o refrigerada a 19.1 °C, y se llevaron al laboratorio en un plazo no mayor a 24 horas.
- Las muestras no fueron congeladas para evitar pérdida de humedad y estructura.

A. Selección del área de muestreo



B. Recolección de muestras de ajies amarillo

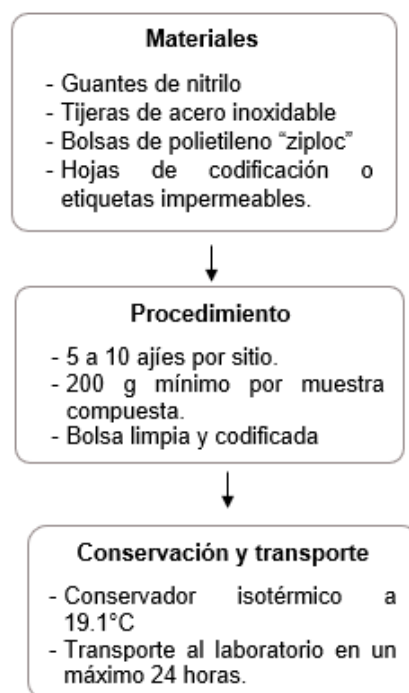


Gráfico 3. Procedimiento de recolección, envasado y transporte de muestras de ají amarillo.

Fuente: Elaboración propia.

c. Determinación de arsénico total

Las muestras recolectadas fueron enviadas al Laboratorio BHIOS de la ciudad de Arequipa, que cuenta con acreditación ISO 17025, la cual certifica que los laboratorios de ensayo y calibración demuestran que operan de manera eficiente, competente y general resultados fiables y sólidos.

La técnica para la determinación de arsénico total fue por Espectrofotometría de Absorción Atómica con generador de hidruros.

Fundamento del método

La determinación de arsénico total por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros (HG-AAS) se basa en transformar el arsénico presente en la muestra en una forma volátil (hidruro) que pueda separarse de la matriz y medirse con alta sensibilidad. En una primera etapa, todas las especies de arsénico presentes (inorgánicas y orgánicas) se convierten a una forma oxidada común, usualmente As(V), mediante una digestión

y oxidación previa (por ejemplo, con mezclas ácidas y agentes oxidantes). De este modo se asegura que el “arsénico total” esté disponible en una forma química homogénea para la etapa siguiente.

Posteriormente, en condiciones controladas de acidez, el As(V) se reduce a As(III), que es la especie adecuada para formar hidruros. La muestra así acondicionada se hace reaccionar con un agente reductor, típicamente borohidruro de sodio (NaBH_4), generándose arsina (AsH_3), un hidruro volátil del arsénico. Este gas se separa de la solución líquida y es arrastrado por un gas inerte (por lo general argón o nitrógeno) hacia la celda de cuarzo acoplada al espectrofotómetro de absorción atómica.

En la celda, la arsina es descompuesta térmicamente, liberando átomos de arsénico en fase gaseosa. Estos átomos son irradiados con la línea espectral característica del arsénico (por ejemplo, alrededor de 193,7 nm), emitida por una lámpara de cátodo hueco específica. Parte de esa radiación es absorbida por los átomos libres, y la disminución de intensidad de la luz

(absorbancia) es proporcional a la concentración de arsénico presente en la muestra, de acuerdo con la ley de Beer-Lambert.

El uso del generador de hidruros ofrece dos ventajas fundamentales: por un lado, separa el analito de la mayor parte de la matriz líquida antes de la medición, reduciendo interferencias químicas; por otro, concentra el arsénico en la fase gaseosa, aumentando notablemente la sensibilidad y permitiendo la detección de trazas a niveles muy bajos. Estas características hacen que la HG-AAS sea una técnica especialmente adecuada para la determinación de arsénico total en alimentos, agua y otras matrices ambientales asociadas a evaluación de riesgo toxicológico.

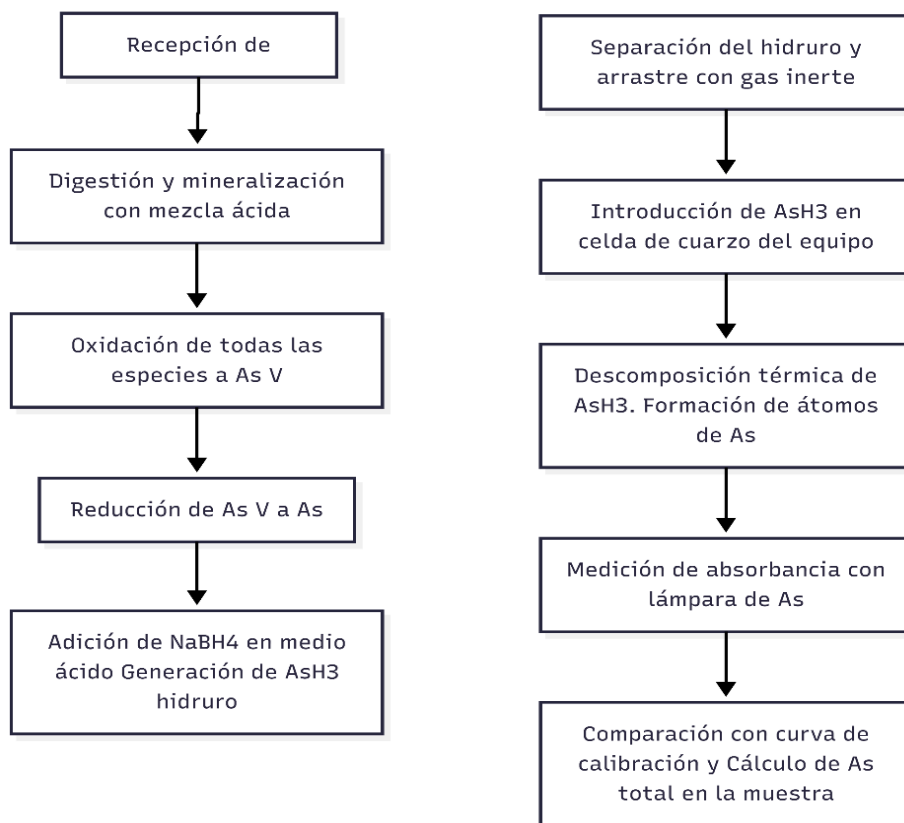


Gráfico 4. Flujograma del método de determinación de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica por generador de hidruros.

Fuente: Elaboración propia.

Equipos

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS) con lámpara de cátodo hueco para arsénico.
- Sistema de generación de hidruros (HG) acoplado.

- Horno de cuarzo o tubo/celda de cuarzo para atomización de AsH_3 .
- Sistema de digestión de muestras
- Balanza analítica, con sensibilidad de al menos 0,1 mg.
- Campana extractora de gases, para digestión ácida y generación de hidruros.
- Sistema de gases: Cilindro de gas inerte (Ar o N_2) con regulador de presión y conexiones y líneas para el arrastre del hidruro.
- pH-metro o tiras indicadoras de pH Para verificar condiciones de acidez en las soluciones.

Materiales

- Matracas Erlenmeyer (50, 100, 250 mL).
- Matracas aforados (10, 25, 50, 100, 250, 500 mL).
- Vasos de precipitados (50–250 mL).
- Tubos de ensayo o tubos de reacción para generación de hidruros (según sistema del equipo).

- Probetas graduadas.
- Pipetas volumétricas y automáticas (micropipetas) con sus puntas.
- Embudos de vidrio o plástico.
- Frascos ámbar para soluciones estándar y reactivos sensibles.
- Varillas de agitación.
- Frascos de polietileno para almacenamiento de extractos y soluciones intermedias.

Reactivos

- Ácido nítrico (HNO_3) concentrado.
- Ácido clorhídrico (HCl) concentrado.
- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (para digestión oxidante, si se usa).
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) (opcional, según protocolo de digestión).
- Solución reductora para $\text{As(V)} \rightarrow \text{As(III)}$

- Borohidruro de sodio (NaBH_4), preparado en medio alcalino (p. ej. NaOH) como reactivo generador de hidruros.
- Soluciones patrón de arsénico
- Estándar primario o solución estándar comercial (por ejemplo, 1000 mg/L de As).

- Soluciones patrón intermedias y de trabajo para la curva de calibración.
- Agua desionizada o ultrapura para todas las disoluciones y diluciones.

3.4. ANÁLISIS DE DATOS

3.4.1. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos fueron organizados y procesados mediante el uso de herramientas informáticas como Microsoft Excel y STATA versión 19 para el análisis estadístico. La información fue codificada y tabulada, permitiendo aplicar fórmulas específicas para la evaluación del riesgo toxicológico.

Se realizaron controles de calidad para:

- Validar encuestas correctamente respondidas.
- Verificar que las muestras de ají amarillo seco cuenten con datos completos de procedencia.
- Ingresar correctamente los valores de concentración de arsénico reportados por el laboratorio.

Estadística descriptiva:

- Las variables cualitativas (dicotómicas y politómicas) se muestran mediante tablas de frecuencia (relativas y absolutas) y su ilustración es mediante gráficos de barras.
- Las variables numéricas se muestran a través de sus medidas de resumen y dispersión, como media y desviación estándar, así como intervalos de confianza al 95 %. En caso de asimetría o no normalidad de datos, se emplean la mediana y rangos intercuartílicos.

Estadística inferencial:

- **Para el objetivo específico c):** Primero se evaluó la normalidad del cociente de riesgo (HQ) y riesgo de cáncer (RC) para arsénico mediante la prueba de Shapiro Wilk y un gráfico de histograma. Debido a que la distribución fue no normal (tanto para HQ y CR), se emplearon las siguientes pruebas estadísticas:
 - Para evaluar el cociente de riesgo según edad y tiempo de residencia: Prueba de Correlación de Spearman.
 - Para evaluar el cociente de riesgo según sexo y zona de residencia: Prueba de U de Mann-Whitney.
 - Para evaluar el cociente de riesgo según ocupación, fuente de agua de consumo y lugar de residencia: Prueba de Kruskal-Wallis.
- Todos los contrastes de hipótesis se decidieron tomando como referencia un valor $p = 0.05$ como nivel de significancia estadística.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las concentraciones de arsénico en ajíes amarillos (n=68) del distrito de Ite, 2025.

| Parámetro | Arsénico (mg/kg) |
|---------------------|------------------|
| Media | 0,49 |
| Desviación estándar | 0,17 |
| Mediana | 0,52 |
| Valor mínimo | 0,11 |
| Valor máximo | 0,85 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19

En las muestras de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producidas en el distrito de Ite y cosechadas en 2025, se obtuvo una concentración media de arsénico de $0,49 \pm 0,17$ mg/kg, superior al valor de referencia de 0,10 mg/kg establecido por la FAO. La desviación estándar observada indica una variabilidad reducida entre las muestras, cuyas concentraciones oscilaron entre 0,11 y 0,85 mg/kg. Cabe resaltar que el valor mínimo registrado también excede el valor de referencia, lo que evidencia que todas las muestras analizadas superan dicho límite.

Tabla 3. Concentraciones de arsénico en ajíes amarillos del distrito de Ite según el lugar de procedencia.

| Lugar | Arsénico* (mg/kg) |
|------------------|----------------------|
| Nuevo Ite, n=12 | 0,45 ± 0,14 |
| Talamolle, n=14 | 0,53 ± 0,09 |
| Las Vilcas, n=16 | 0,57 ± 0,45 |
| Camalara, n=26 | 0,45 ± 0,24 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19

* Media ± desviación estándar

En las muestras de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producidas en el distrito de Ite y cosechadas en 2025, la concentración media de arsénico más elevada fue de $0,57 \pm 0,45$ mg/kg en localidad de Las Vilcas, seguidamente de Talamolle ($0,53 \pm 0,09$ mg/kg). No obstante, se evidencia que las concentraciones medias son similares o estrechas entre todas las localidades de procedencia.

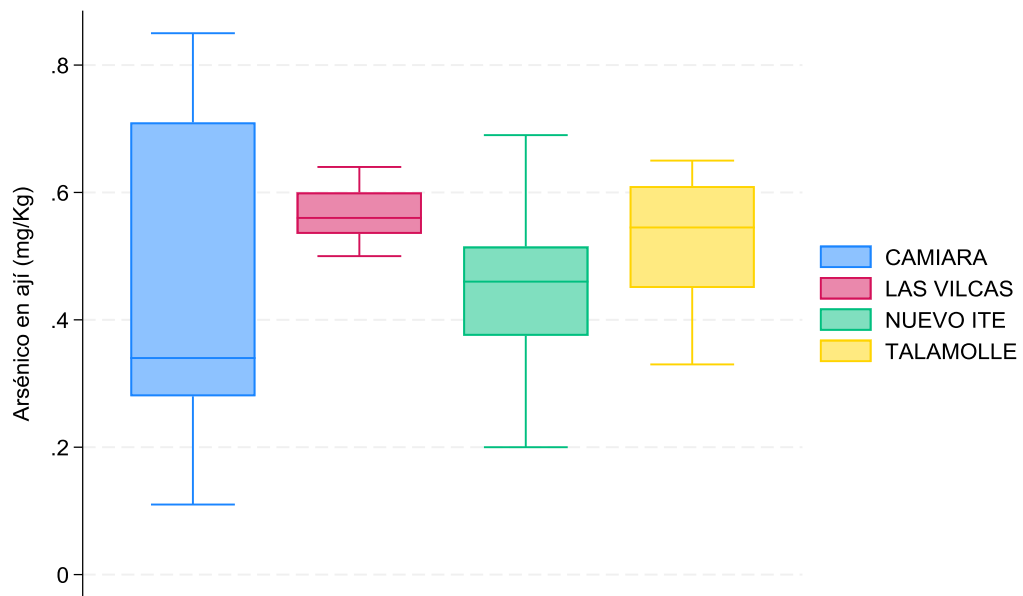


Gráfico 5. Concentraciones de arsénico de las muestras de ají amarillo según su localidad de procedencia en el distrito de Ite, 2025.

Fuente: Tabla 3.

Tabla 4. Características sociodemográficas de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Características | n (%) |
|---|----------------|
| Edad, años | 52,10 ± 16,07* |
| Sexo | |
| Masculino | 29 (59,18) |
| Femenino | 20 (40,82) |
| Tiempo de residencia, años | 28,92 ± 14,74* |
| Ocupación | |
| Ama de casa | 5 (10,20) |
| Agricultor | 19 (38,78) |
| Comerciante | 4 (8,16) |
| Operarios de limpieza y/o mantenimiento | 21 (42,86) |
| Fuente de agua de consumo | |
| Red | 11 (22,45) |
| Pozo | 6 (12,24) |
| Ambos | 32 (65,31) |
| Lugar de residencia | |
| Camiara | 6 (12,24) |
| Las Vilcas | 13 (26,53) |
| Lateral | 7 (14,29) |
| Nuevo Ite | 16 (32,65) |
| Otros | 7 (14,29) |
| Zona de residencia | |
| Urbana | 32 (65,31) |
| Rural | 17 (34,69) |
| Total | 49 (100) |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

* Media ± desviación estándar

Los pobladores encuestados del distrito de Ite (n = 49) presentaron una edad promedio de $52,10 \pm 16,07$ años y fueron predominantemente hombres (59,18 %). La mayoría se desempeñaba como operario de limpieza o mantenimiento y como agricultor.

El tiempo de residencia en la localidad fue, en promedio, de 28,92 años, lo que evidencia una exposición prolongada al entorno local. En cuanto al acceso al agua, la mayoría de participantes refirió utilizar de manera concomitante agua de red y de pozo (65,31 %).

Respecto al lugar de residencia, la mayor proporción de pobladores procedía de Nuevo Ite (32,65 %). En consonancia con ello, la mayoría reportó vivir en zona urbana (65,31 %), constituida principalmente por los sectores de Las Vilcas, Nuevo Ite y Pampa Alta/Alfarillo.

Tabla 5. Características de consumo de ají y alimentación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Características | n (%) |
|---|-----------------------|
| Frecuencia de consumo semanal | |
| De 4 a 6 veces | 2 (4,08) |
| De 1 a 3 veces | 21 (42,86) |
| Al menos una vez | 26 (53,06) |
| Frecuencia de consumo diario | |
| 1 vez | 23 (46,94) |
| 2 veces | 21 (42,86) |
| 3 o más veces | 5 (10,20) |
| Cantidad de ají que consumo por comida | |
| Menos de 10 g | 17 (34,69) |
| Entre 10 y 30 g | 15 (30,61) |
| Entre 30 y 50 g | 9 (18,37) |
| Más de 50 g | 8 (16,33) |
| Tipo de ají que consume | |
| Fresco y seco | 37 (75,51) |
| Seco | 12 (24,49) |
| Peso corporal, kg | 72,04 ± 12,77* |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

* Media ± desviación estándar

La mayoría de los pobladores encuestados del distrito de Ite (n = 49) reportó consumir ají amarillo en sus alimentos al menos una vez (53,06 %). Entre quienes lo consumen diariamente, la frecuencia habitual es de una a

dos veces al día (46,94 y 42,86 %, respectivamente). En cada ocasión de consumo, la mayoría indicó ingerir hasta 30 g de ají (65,3 %).

El tipo de ají más consumido es el ají amarillo fresco y seco (75,51%), en comparación con el ají únicamente seco.

Finalmente, el peso corporal promedio de los pobladores fue de 72,04 kg.

Tabla 6. Características clínicas y antecedentes de salud de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Características | n (%) |
|---------------------------------------|--------------|
| Hiperqueratosis | |
| No | 27 (55,10) |
| Si | 22 (44,90) |
| Hiperpigmentación | |
| No | 29 (59,18) |
| Si | 20 (40,82) |
| Dolor abdominal | |
| Nunca | 11 (22,45) |
| Ocasionalmente | 25 (51,02) |
| Frecuente | 13 (26,53) |
| Alteración de la motilidad intestinal | |
| Nunca | 19 (38,78) |
| Ocasionalmente | 20 (40,82) |
| Frecuente | 10 (20,41) |
| Fatiga | |
| Nunca | 6 (12,24) |
| Ocasionalmente | 28 (57,14) |
| Frecuente | 15 (30,61) |
| Cefalea | |
| Nunca | 13 (26,53) |
| Ocasionalmente | 28 (57,14) |
| Frecuente | 8 (16,33) |
| Neuropatía | |
| Nunca | 20 (40,82) |
| Ocasionalmente | 20 (40,82) |
| Frecuente | 9 (18,37) |
| Caída de cabello | |

| | |
|---|------------|
| Nunca | 16 (32,65) |
| Ocasionalmente | 12 (24,49) |
| Frecuente | 21 (42,86) |
| Infecciones en la piel | |
| Nunca | 39 (79,59) |
| Ocasionalmente | 3 (6,12) |
| Frecuente | 7 (14,29) |
| Enfermedades respiratorias altas | |
| Nunca | 28 (57,14) |
| Ocasionalmente | 13 (26,53) |
| Frecuente | 8 (16,33) |
| Disminución de apetito | |
| Nunca | 35 (71,43) |
| Ocasionalmente | 10 (20,41) |
| Frecuente | 4 (8,16) |
| Banda de Mees | |
| No | 30 (61,22) |
| Sí | 19 (38,78) |
| Comorbilidades | |
| Diabetes | 36 (73,47) |
| Hipertensión | 3 (6,12) |
| Gastritis | 5 (10,20) |
| Otros | 5 (10,20) |
| Atención médica en los últimos 12 meses | |
| No | 24 (48,98) |
| Sí | 25 (51,02) |
| Total | 49 (100) |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19

En relación con las características clínicas y antecedentes de los pobladores encuestados del distrito de Ite (n = 49), la mayoría reportó haber presentado, de manera ocasional, dolor abdominal (51,02 %), alteraciones de la motilidad intestinal (40,82 %), fatiga (57,14 %), cefalea (57,14 %) y síntomas compatibles con neuropatía (40,82 %). Además, refirieron con mayor frecuencia la presencia de caída de cabello (42,86 %).

Asimismo, una proporción importante manifestó tener diagnóstico de diabetes (73,47 %). De igual modo, la mayoría indicó haber recibido atención médica en los últimos 12 meses (51,02 %), aunque no se dispone de información detallada sobre el motivo específico de dichas consultas.

Tabla 7. Cociente de riesgo (HQ) para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Parámetro | HQ |
|---------------------|-----------|
| Media | 2,15 |
| Desviación estándar | 2,63 |
| Mediana | 1,26 |
| Valor mínimo | 0,11 |
| Valor máximo | 11,67 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19

El cociente de riesgo (HQ) calculado para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n = 49) presentó una media de $2,15 \pm 2,63$, valor que supera el umbral de peligrosidad establecido en 1 por la USEPA. En ese sentido, se infiere que los pobladores de Ite que consumen ají amarillo presentan un riesgo potencial de desarrollar efectos adversos sistémicos asociados a la exposición a arsénico. Asimismo, la desviación estándar observada evidencia una variabilidad considerable en los cocientes de riesgo, cuyos valores oscilaron entre 0,11 y 11,67.

Evaluación de la normalidad del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados del distrito del Ite, 2025

a) Planteamiento de hipótesis

- **Hipótesis nula (H₀):** La distribución del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados del distrito de Ite no es diferente a la normal.
- **Hipótesis alterna (H_a):** La distribución del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados del distrito de Ite es diferente a la normal.

b) Prueba estadística y nivel de significancia

- Prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia estadística de 5 % o 0.05.

c) Estimación e interpretación del valor p

Tabla 8. Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad.

| Variable | N | Z | Valor p |
|----------------------------------|----------|----------|----------------|
| Cociente de riesgo para arsénico | 49 | 5,34 | < 0,001 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

En la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk se obtuvo un valor de $p < 0,001$, inferior al nivel de significancia estadística predefinido ($\alpha = 0,05$); por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, el cociente de riesgo para arsénico no sigue una distribución normal. Dada esta distribución, se empleará la mediana y el rango intercuartílico como medidas de resumen y se utilizarán pruebas estadísticas no paramétricas para los contrastes de hipótesis que correspondan.

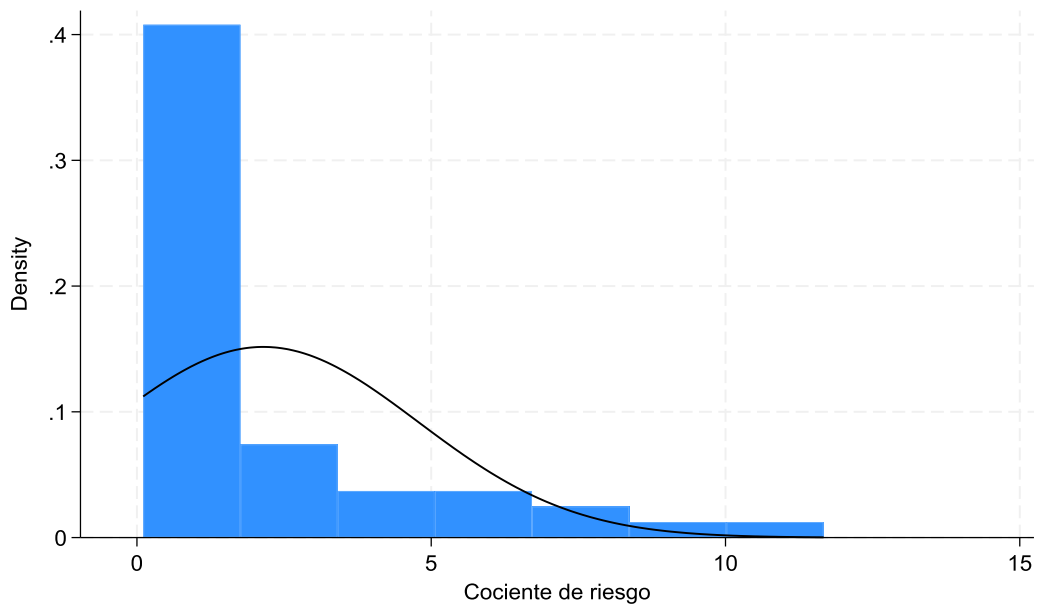


Gráfico 6. Histograma del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 7.

En el histograma se observa que la distribución del cociente de riesgo para arsénico no presenta la forma de campana característica de una distribución normal, sino que muestra asimetría. Este patrón es consistente con la no normalidad previamente evidenciada mediante la prueba de Shapiro–Wilk.

Tabla 9. Nivel de cociente de riesgo asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Nivel de HQ | n (%) |
|--------------------|---------------|
| Bajo (HQ < 1) | 22 (44,90) |
| Elevado (HQ ≥ 1) | 27 (55,10) |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

La mayoría de los pobladores encuestados supera el umbral de peligrosidad del cociente de riesgo para arsénico (55,10 %). Esto sugiere que los habitantes del distrito de Ite están expuestos, a través del consumo de ají amarillo, a niveles de arsénico que podrían afectar negativamente su salud.

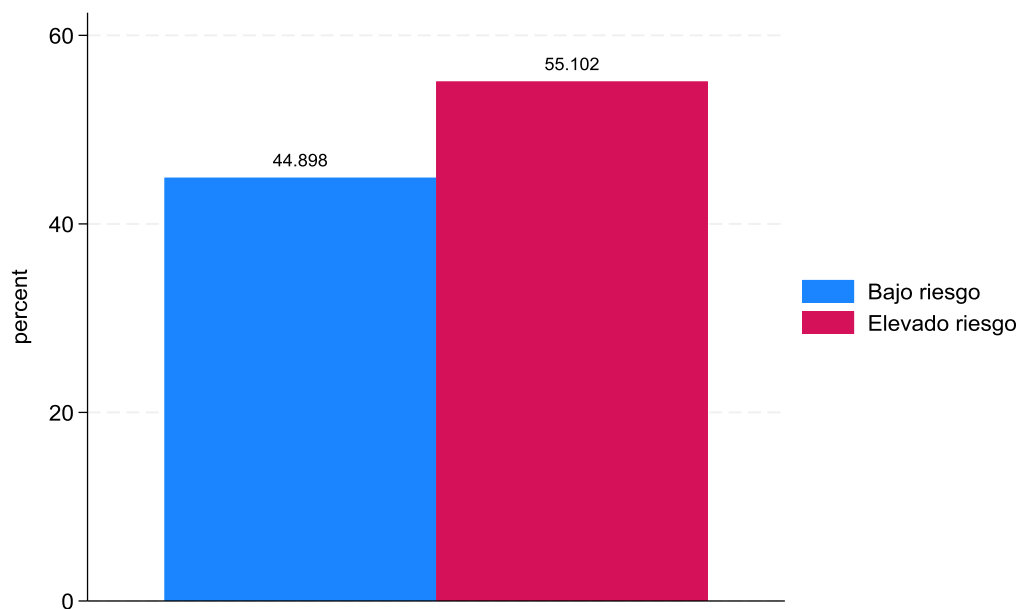


Gráfico 7. Nivel del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 9.

Tabla 10. Riesgo cancerígeno (RC) asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Parámetro | RC |
|---------------------|----------------------|
| Media | $4,1 \times 10^{-3}$ |
| Desviación estándar | $5,1 \times 10^{-3}$ |
| Mediana | $2,4 \times 10^{-3}$ |
| Valor mínimo | $2,1 \times 10^{-4}$ |
| Valor máximo | $2,2 \times 10^{-2}$ |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

El riesgo cancerígeno (RC) calculado para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n = 49) presentó una media de $4,1 \times 10^{-3} \pm 5,1 \times 10^{-3}$, valor que excede el rango de aceptabilidad de 10^{-6} a 10^{-4} propuesto por la USEPA. La desviación estándar observada evidencia una marcada variabilidad en los valores del RC, los cuales se encuentran entre $2,1 \times 10^{-4}$ y $2,2 \times 10^{-2}$. Cabe resaltar que el valor mínimo también es superior al umbral tolerable, por lo que todos los valores estimados superan el nivel de riesgo considerado aceptable. Estos resultados sugieren que los habitantes de Ite que consumen ají amarillo presentan un riesgo potencial de desarrollar efectos cancerígenos relacionados con la exposición a arsénico.

Evaluación de la normalidad del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados del distrito del Ite, 2025

a) Planteamiento de hipótesis

- **Hipótesis nula (H₀):** La distribución del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados del distrito de Ite no es diferente a la normal.
- **Hipótesis alterna (H_a):** La distribución del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados del distrito de Ite es diferente a la normal.

b) Prueba estadística y nivel de significancia

- Prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia estadística de 5 % o 0,05.

c) Estimación e interpretación del valor p

Tabla 11. Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad.

| Variable | N | Z | Valor p |
|----------------------------------|----------|----------|----------------|
| Riesgo cancerígeno para arsénico | 49 | 5,34 | < 0.001 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

En la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk se obtuvo un valor de $p < 0,001$, inferior al nivel de significancia estadística predefinido ($\alpha = 0,05$); por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, el riesgo cancerígeno para arsénico no sigue una distribución normal. Dada esta distribución, se empleará la mediana y el rango intercuartílico como medidas de resumen y se utilizarán pruebas estadísticas no paramétricas para los contrastes de hipótesis que correspondan.

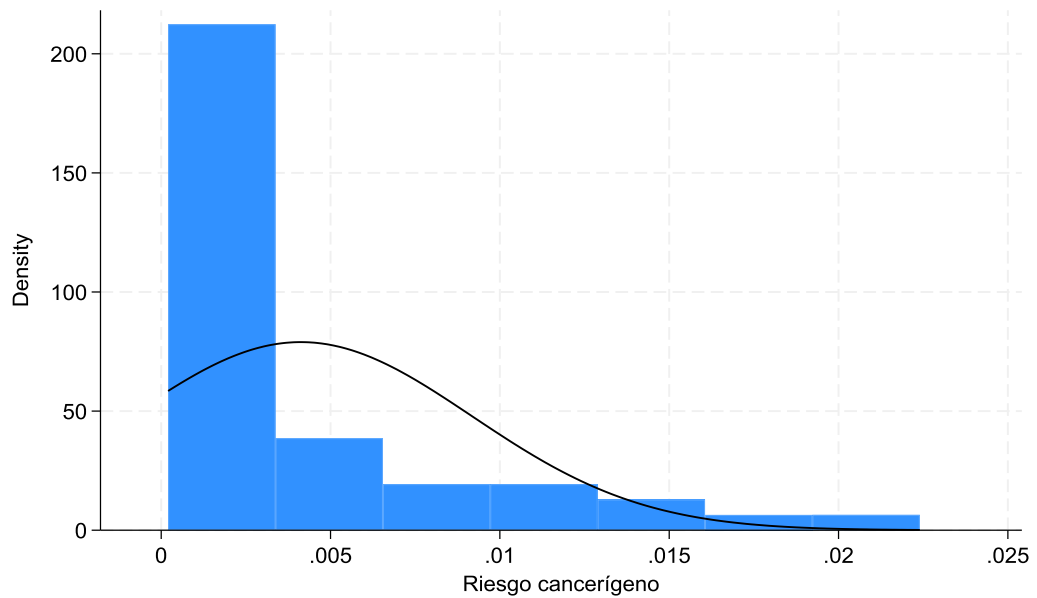


Gráfico 8. Histograma del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 10.

En el histograma se observa que la distribución del riesgo cancerígeno para arsénico no presenta la forma de campana característica de una distribución normal, sino que muestra asimetría. Este patrón es consistente con la no normalidad previamente evidenciada mediante la prueba de Shapiro–Wilk.

Evaluación del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n = 49), según las características sociodemográficas, de consumo y alimentación.

a) Planteamiento de hipótesis

- **Hipótesis nula (Ho):** El cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n = 49) no es diferente según las características sociodemográficas, de consumo y alimentación.

- **Hipótesis alterna (Ha):** El cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo en los pobladores encuestados (n = 49) es diferente según las características sociodemográficas, de consumo y alimentación.

b) Pruebas estadísticas y nivel de significancia

- Teniendo en cuenta que el cociente de riesgo para arsénico tiene una distribución no normal, se emplean las siguientes pruebas estadísticas:

- Para evaluar el cociente de riesgo según edad y tiempo de residencia: Prueba de Correlación de Spearman.
 - Para evaluar el cociente de riesgo según sexo y zona de residencia: Prueba de U de Mann-Whitney.
 - Para evaluar el cociente de riesgo según ocupación, fuente de agua de consumo y lugar de residencia: Prueba de Kruskal-Wallis.
-
- Para todas las pruebas estadísticas se empleará un valor de significancia estadística de 5 % o 0,05.

c) Estimación e interpretación del valor p

Tabla 12. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según las características sociodemográficas de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Características | Cociente de riesgo | Valor p |
|---|--------------------|---------|
| | Mediana (RIC) | |
| Edad, años | 0,08 | 0,603 |
| Sexo | | 0,006 |
| Masculino | 0,60 (0,41 – 1,41) | |
| Femenino | 1,66 (1,25 – 5,37) | |
| Tiempo de residencia, años | 0,01 | 0,959 |
| Ocupación | | 0,062 |
| Ama de casa | 2,12 (1,25 – 7,19) | |
| Agricultor | 1,35 (0,53 – 4,73) | |
| Comerciante | 0,39 (0,23 – 2,77) | |
| Operarios de limpieza y/o mantenimiento | 0,60 (0,37 – 1,54) | |
| Fuente de agua de consumo | | 0,192 |
| Red | 1,52 (0,44 - 6) | |
| Pozo | 0,73 (0,16 – 1,25) | |
| Ambos | 1,29 (0,46 – 2,02) | |
| Lugar de residencia | | 0,674 |
| Camiara | 1,39 (1,25 – 1,52) | |
| Las Vilcas | 0,53 (0,21 – 2,12) | |
| Lateral | 0,89 (0,54 – 1,31) | |
| Nuevo Ite | 1,35 (0,33 – 4,05) | |
| Otros | 1,79 (0,49 – 2,80) | |
| Zona de residencia | | 0,013 |
| Urbana | 0,91 (0,39 – 1,48) | |
| Rural | 1,94 (1,25 - 6) | |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

En los pobladores encuestados del distrito de Ite ($n = 49$) se obtuvieron valores de p significativos de 0,006 y 0,013 al evaluar el cociente de riesgo según el sexo y la zona de residencia, respectivamente. En ambos casos se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que el cociente de riesgo difiere de manera significativa según estas variables.

En específico, las mujeres presentan un cociente de riesgo mayor que los hombres (1,66 vs. 0,60) y los pobladores que residen en zona rural muestran un mayor riesgo que quienes viven en zona urbana (1,94 vs. 0,91).

Por otra parte, se obtuvieron valores de p de 0,603, 0,959, 0,062, 0,192 y 0,674 —todos no significativos— al evaluar el cociente de riesgo según edad, tiempo de residencia, ocupación, fuente de agua de consumo y localidad de residencia. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula para estas variables y se concluye que no existen diferencias significativas en el cociente de riesgo según dichos factores, lo que sugiere que no influyen de manera apreciable en el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo.

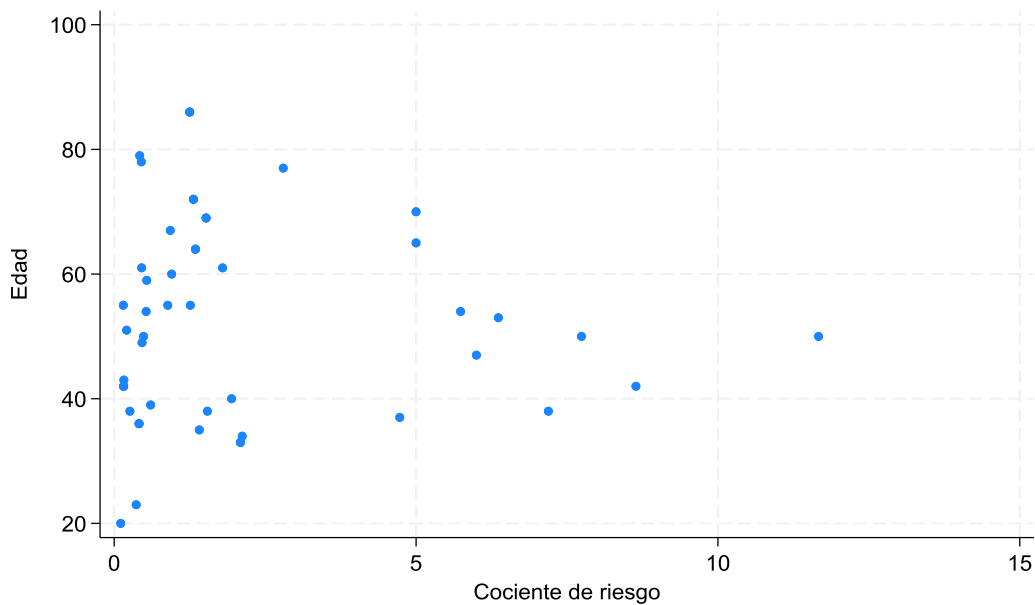


Gráfico 9. Correlación entre el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y la edad de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

En el gráfico de dispersión se observa que los valores de la edad y del cociente de riesgo no muestran una tendencia que sugiera dependencia entre ambas variables. Esta ausencia de correlación se confirma con el valor de $p = 0,603$ obtenido tras aplicar la prueba Rho de Spearman.

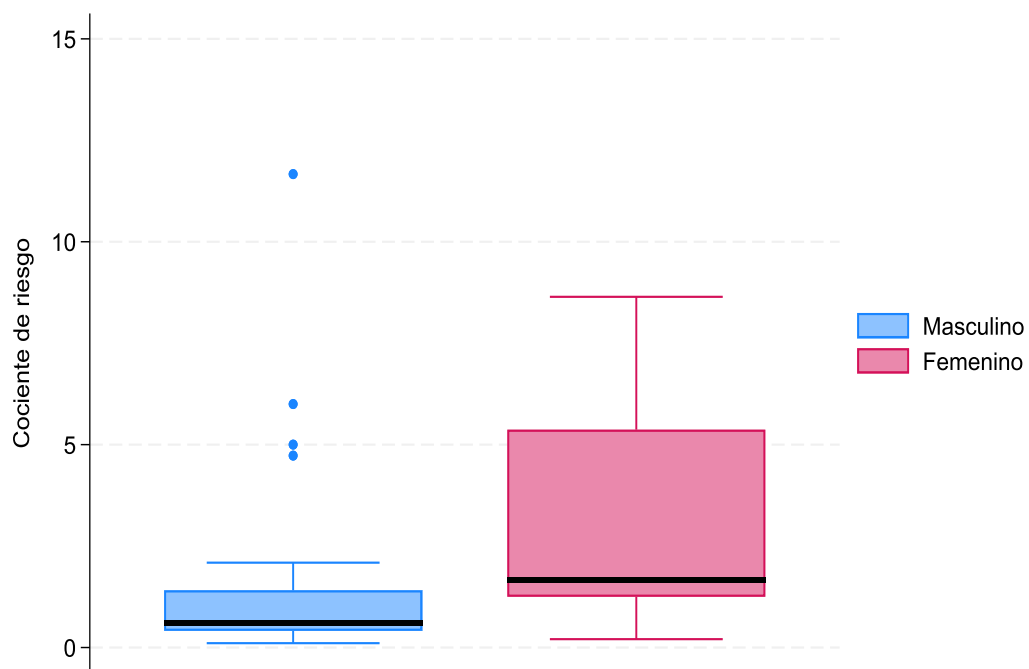


Gráfico 10. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según sexo de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

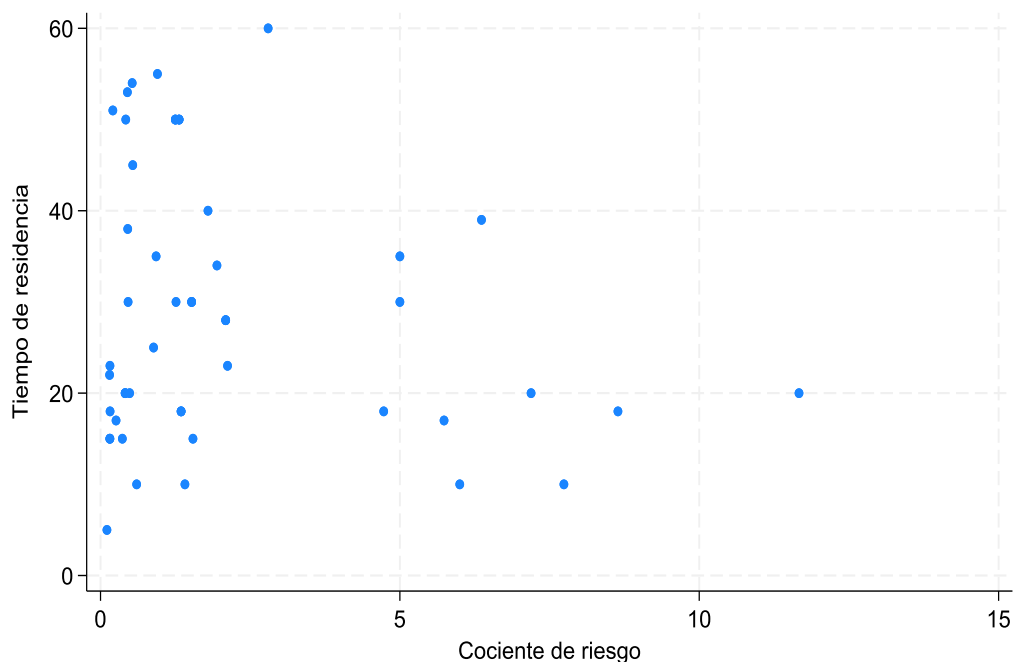


Gráfico 11. Correlación entre el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y el tiempo de residencia de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

En el gráfico de dispersión se observa que los valores de la edad y del cociente de riesgo no muestran una tendencia que sugiera dependencia entre ambas variables. Esta ausencia de correlación se confirma con el valor de $p = 0,603$ obtenido tras aplicar la prueba Rho de Spearman.

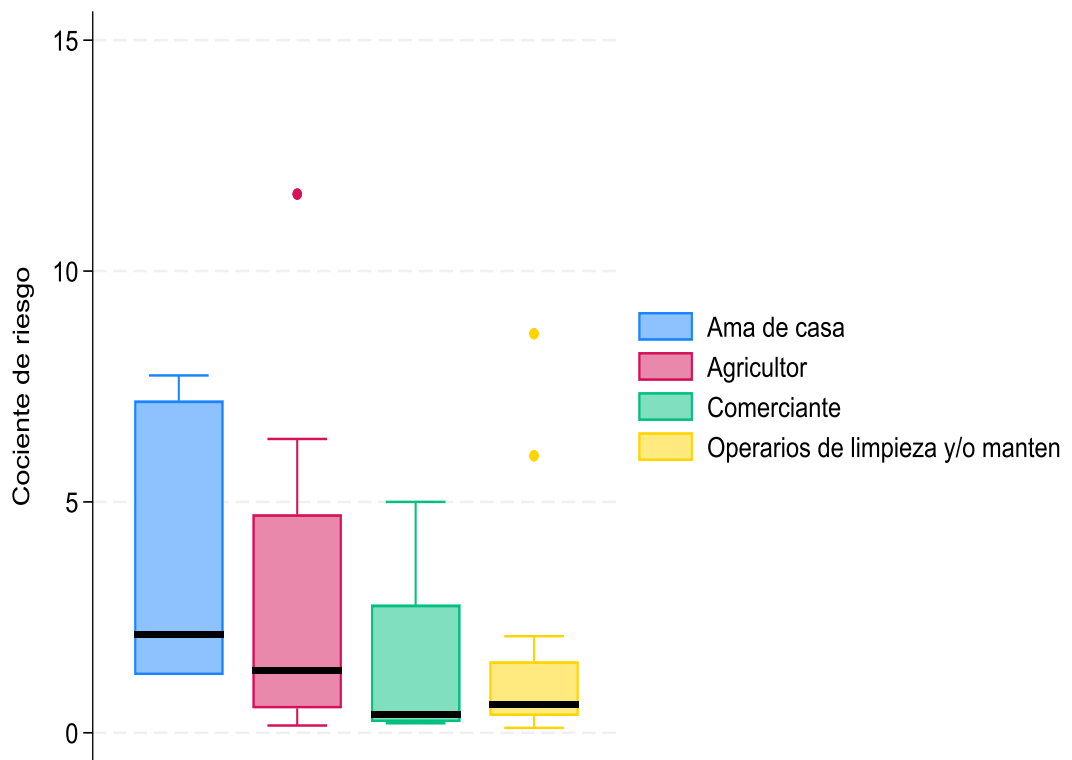


Gráfico 12. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según ocupación de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

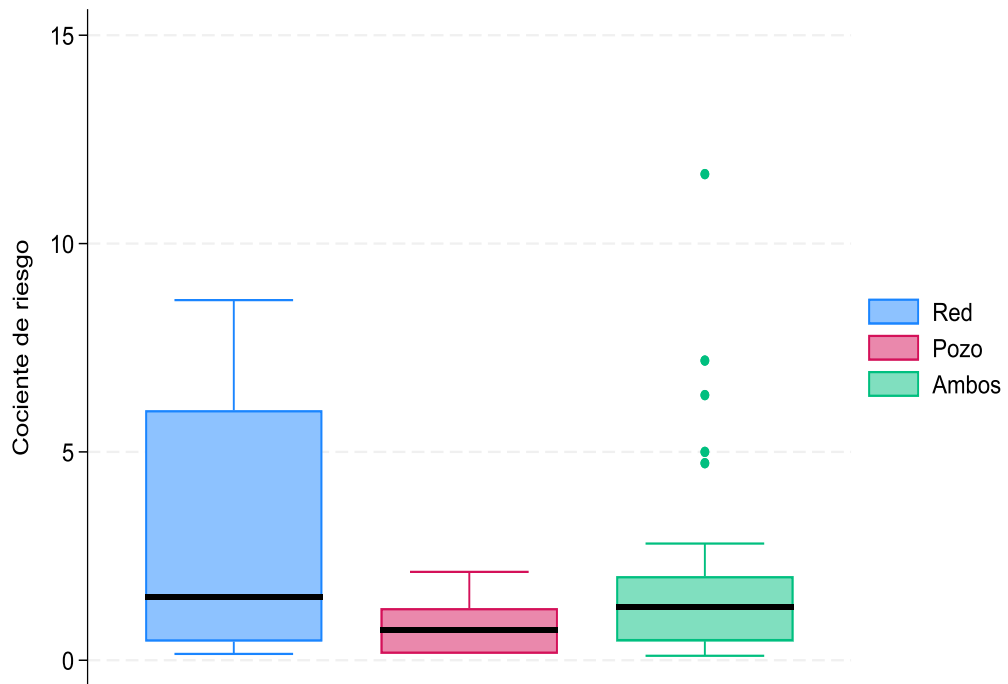


Gráfico 13. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según fuente de agua de consumo de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

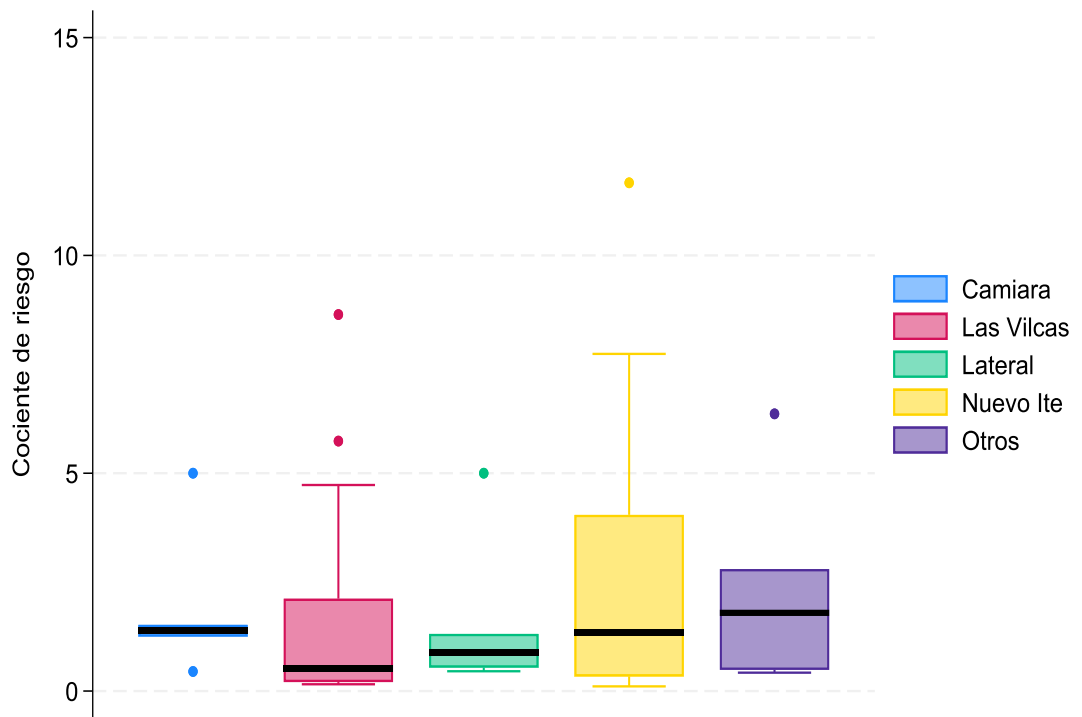


Gráfico 14. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según localidad de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

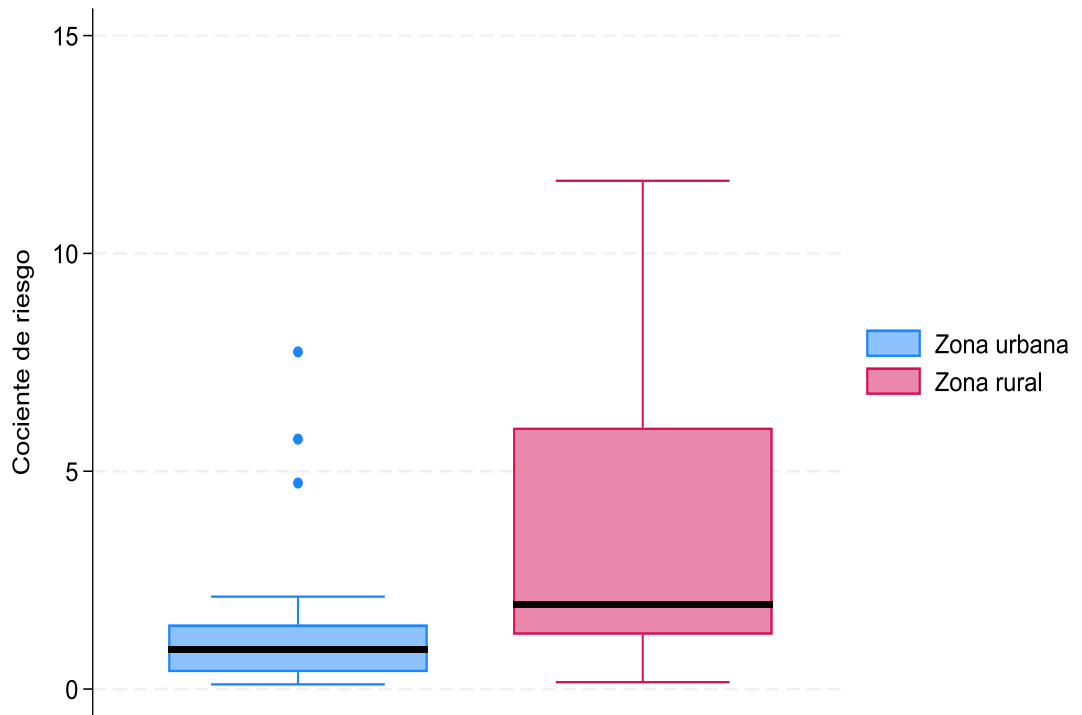


Gráfico 15. Cajas del cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según localidad de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 12.

Tabla 13. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según las características de consumo y alimentación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Características | Cociente de riesgo Mediana (RIC) | Valor p |
|--|-------------------------------------|---------|
| Frecuencia de consumo semanal | | < 0,001 |
| De 4 a 6 veces | 10,5 (8,64 – 11,67) | |
| De 1 a 3 veces | 1,52 (1,31 - 5) | |
| Al menos una vez | 0,53 (0,21 – 1,26) | |
| Frecuencia de consumo diario | | < 0,001 |
| 1 vez | 0,45 (0,16 – 1,31) | |
| 2 veces | 2,09 (1,26 - 5) | |
| 3 o más veces | 6 (0,53 – 7,19) | |
| Cantidad de ají que consume por comida | | < 0,001 |
| Menos de 10 g | 0,36 (0,16 – 0,46) | |
| Entre 10 y 30 g | 1,25 (0,54 – 1,41) | |
| Entre 30 y 50 g | 5 (2,09 – 5,74) | |
| Más de 50 g | 4,4 (1,95 – 7,05) | |
| Tipo de ají que consume | | 0,028 |
| Fresco y seco | 1,41 (0,54 – 2,8) | |
| Seco | 0,45 (0,26 – 1,30) | |
| Peso corporal (kg) | - 0,31 | 0,031 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

En los pobladores encuestados del distrito de Ite (n = 49) se obtuvieron valores de p significativos (< 0,05) al evaluar el cociente de riesgo según la frecuencia de consumo semanal y diario, la cantidad de ají consumida por ración, el tipo de ají utilizado y el peso corporal. En todos

estos casos se rechaza la hipótesis nula, por lo que el cociente de riesgo difiere de manera significativa en función de dichas variables.

En este contexto, los pobladores que consumen ají con mayor frecuencia —ya sea de 4 a 6 veces por semana (HQ = 10,5) o diariamente (3 o más veces al día, HQ = 1,52)— presentan un cociente de riesgo más elevado que aquellos que lo consumen solo al menos una vez.

De igual modo, la cantidad de ají ingerida por ración influye en el incremento del cociente de riesgo, siendo los pobladores que consumen más de 50 g por ración quienes alcanzan los valores más altos (HQ = 4,4). Adicionalmente, el tipo de ají empleado en la preparación de los alimentos también repercute en el riesgo; quienes consumen simultáneamente ají seco y fresco presentan un cociente de riesgo mayor que aquellos que consumen únicamente ají seco (1,41 vs. 0,45).

Respecto al peso corporal, se obtuvo un coeficiente Rho de $-0,31$, lo que indica una correlación negativa moderada entre el cociente de riesgo y esta variable. Es decir, a medida que aumenta el peso corporal del poblador, disminuye el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo.

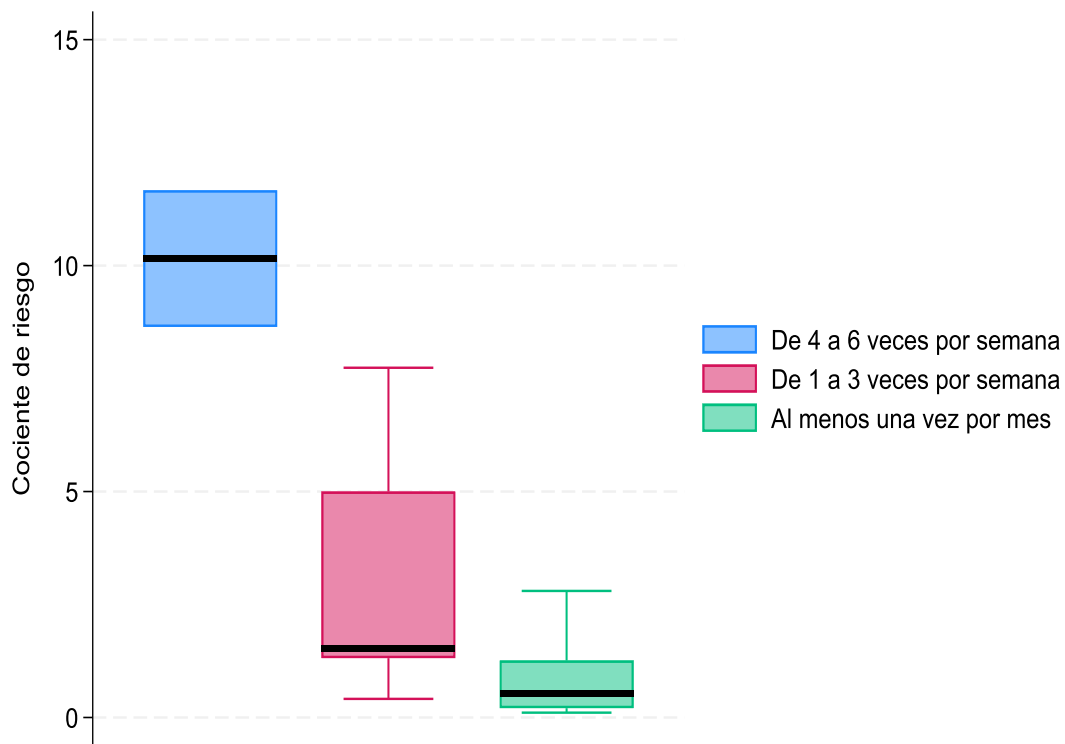


Gráfico 16. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según consumo semanal de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 13.

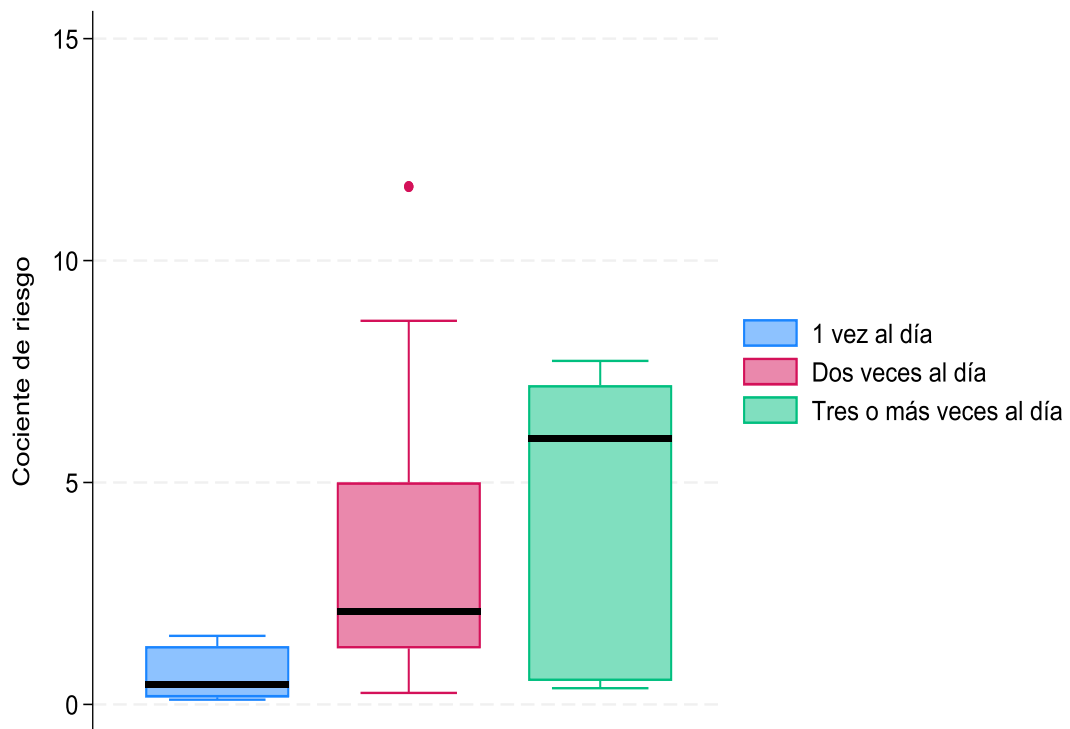


Gráfico 17. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según frecuencia de consumo diario de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 13.

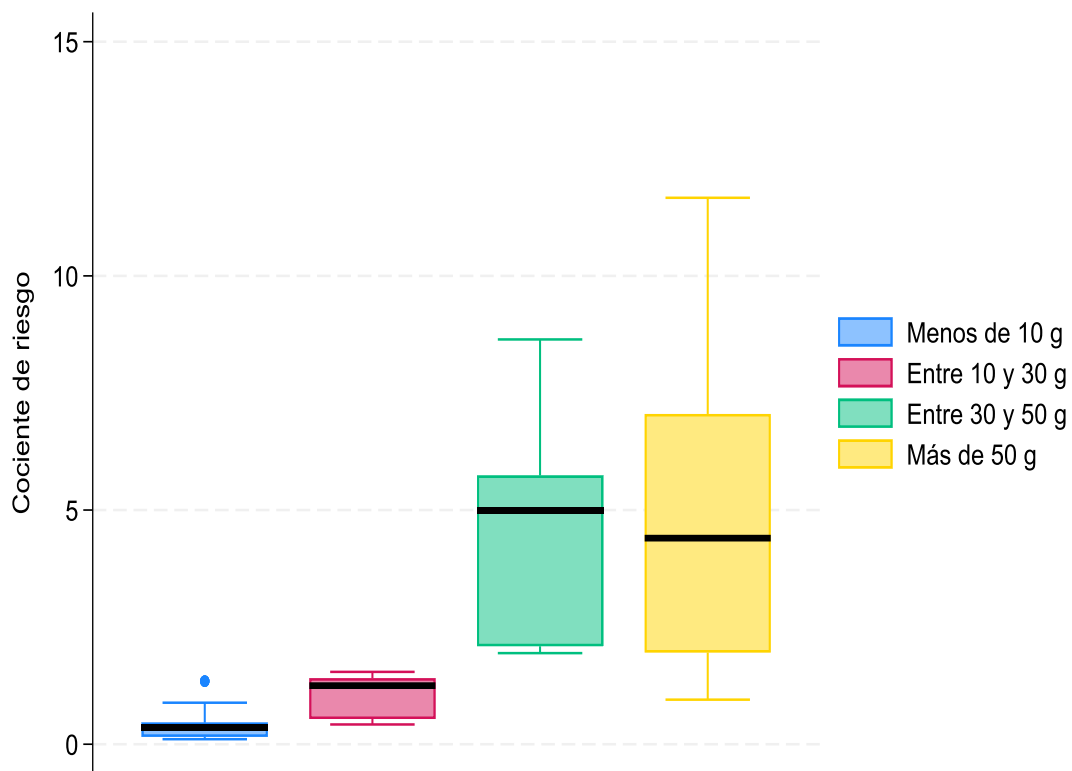


Gráfico 18. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según la cantidad de ají que consumen por comida los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 13.

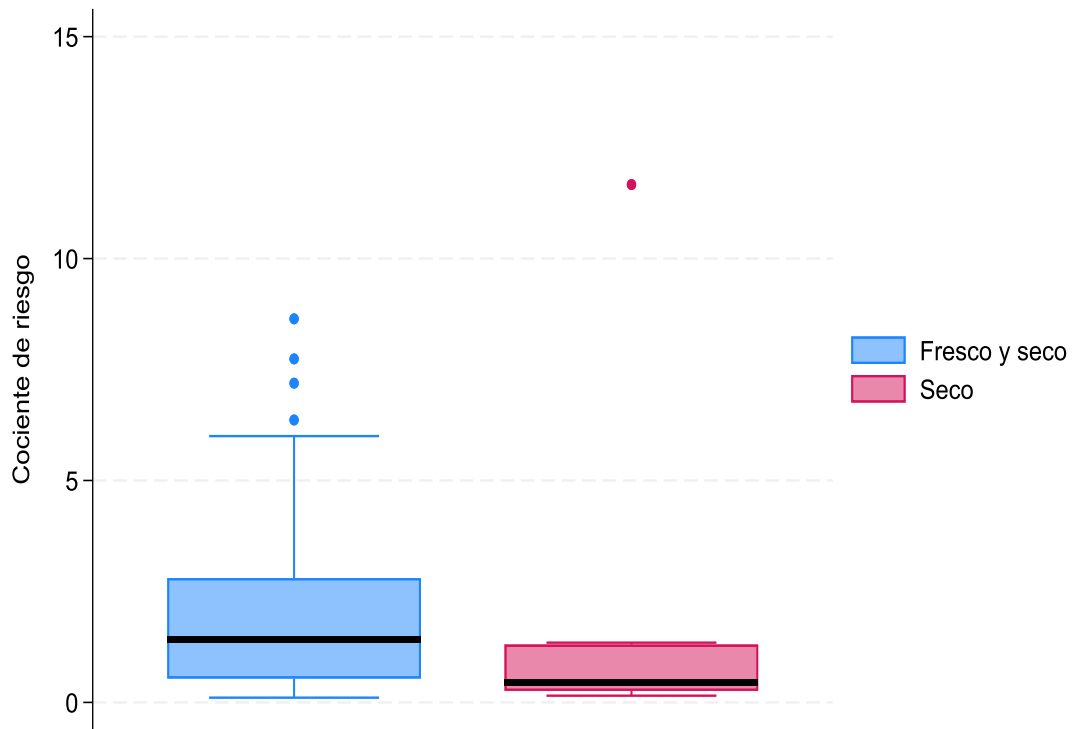


Gráfico 19. Cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según tipo de ají que consumen los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 13.

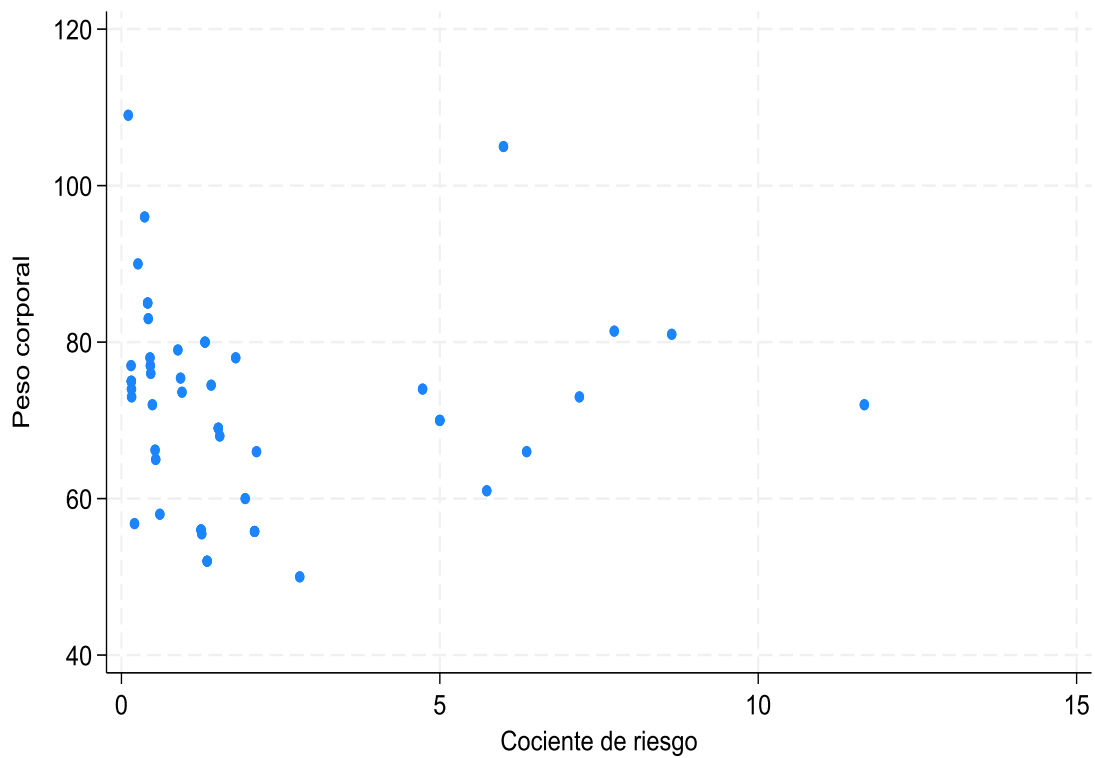


Gráfico 20. Correlación entre el cociente de riesgo para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y el peso corporal de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 13.

Tabla 14. Riesgo cancerígeno de arsénico asociado al consumo de ají amarillo según las características sociodemográficas de los pobladores encuestados (n=49) en el distrito de Ite, 2025.

| Características | Riesgo cancerígeno | Valor p |
|---|--|---------|
| | Mediana (RIC) | |
| Edad | 0.08 | 0,603 |
| Sexo | | 0,006 |
| Masculino | $1,1 \times 10^{-3}$ ($7,9 \times 10^{-4} - 2,7 \times 10^{-3}$) | |
| Femenino | $3,2 \times 10^{-3}$ ($2,4 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-2}$) | |
| Tiempo de residencia | 0.01 | 0,959 |
| Ocupación | | 0,062 |
| Ama de casa | 4×10^{-3} ($2,4 \times 10^{-3} - 1,3 \times 10^{-2}$) | |
| Agricultor | $2,6 \times 10^{-3}$ ($1 \times 10^{-3} - 9 \times 10^{-3}$) | |
| Comerciante | $7,6 \times 10^{-4}$ ($4,4 \times 10^{-4} - 5,3 \times 10^{-3}$) | |
| Operarios de limpieza y/o mantenimiento | $1,2 \times 10^{-3}$ ($7 \times 10^{-4} - 2,9 \times 10^{-3}$) | |
| Fuente de agua de consumo | | |
| Red | $2,9 \times 10^{-3}$ ($8,6 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-2}$) | 0,192 |
| Pozo | $1,4 \times 10^{-3}$ ($2,9 \times 10^{-4} - 2,4 \times 10^{-3}$) | |
| Ambos | $2,5 \times 10^{-3}$ ($8,8 \times 10^{-4} - 3,9 \times 10^{-3}$) | |
| Lugar de residencia | | 0,674 |
| Camiara | $2,7 \times 10^{-3}$ ($2,4 \times 10^{-3} - 2,9 \times 10^{-3}$) | |
| Las Vilcas | 1×10^{-3} ($3,9 \times 10^{-4} - 4,1 \times 10^{-3}$) | |
| Lateral | $1,7 \times 10^{-3}$ ($1 \times 10^{-3} - 2,5 \times 10^{-3}$) | |
| Nuevo Ite | $2,6 \times 10^{-3}$ ($6,4 \times 10^{-4} - 7,8 \times 10^{-3}$) | |
| Otros | $3,4 \times 10^{-3}$ ($9,3 \times 10^{-4} - 5,4 \times 10^{-3}$) | |
| Zona de residencia | | 0,013 |
| Urbana | $1,7 \times 10^{-3}$ ($7,4 \times 10^{-4} - 2,8 \times 10^{-3}$) | |
| Rural | $3,7 \times 10^{-3}$ ($2,4 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-2}$) | |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

En los pobladores encuestados del distrito de Ite ($n = 49$) se obtuvieron valores de p significativos de 0,006 y 0,013 al evaluar el riesgo cancerígeno según el sexo y la zona de residencia, respectivamente. En ambos casos se rechaza la hipótesis nula, por lo que el riesgo cancerígeno difiere de manera significativa en función de estas variables.

En concreto, las mujeres presentan un riesgo cancerígeno mayor que los hombres ($3,2 \times 10^{-3}$ vs. $1,1 \times 10^{-3}$) y los pobladores que residen en zona rural muestran un riesgo superior al de quienes viven en zona urbana ($3,7 \times 10^{-3}$ vs. $1,7 \times 10^{-3}$).

Por otra parte, se obtuvieron valores de p de 0,603, 0,959, 0,062, 0,192 y 0,674 —todos no significativos— al evaluar el riesgo cancerígeno según edad, tiempo de residencia, ocupación, fuente de agua de consumo y localidad de residencia. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula para estas variables y se concluye que no existen diferencias significativas en el riesgo cancerígeno según dichos factores, lo que sugiere que no influyen de manera apreciable en el nivel de riesgo cancerígeno por arsénico asociado al consumo de ají amarillo.

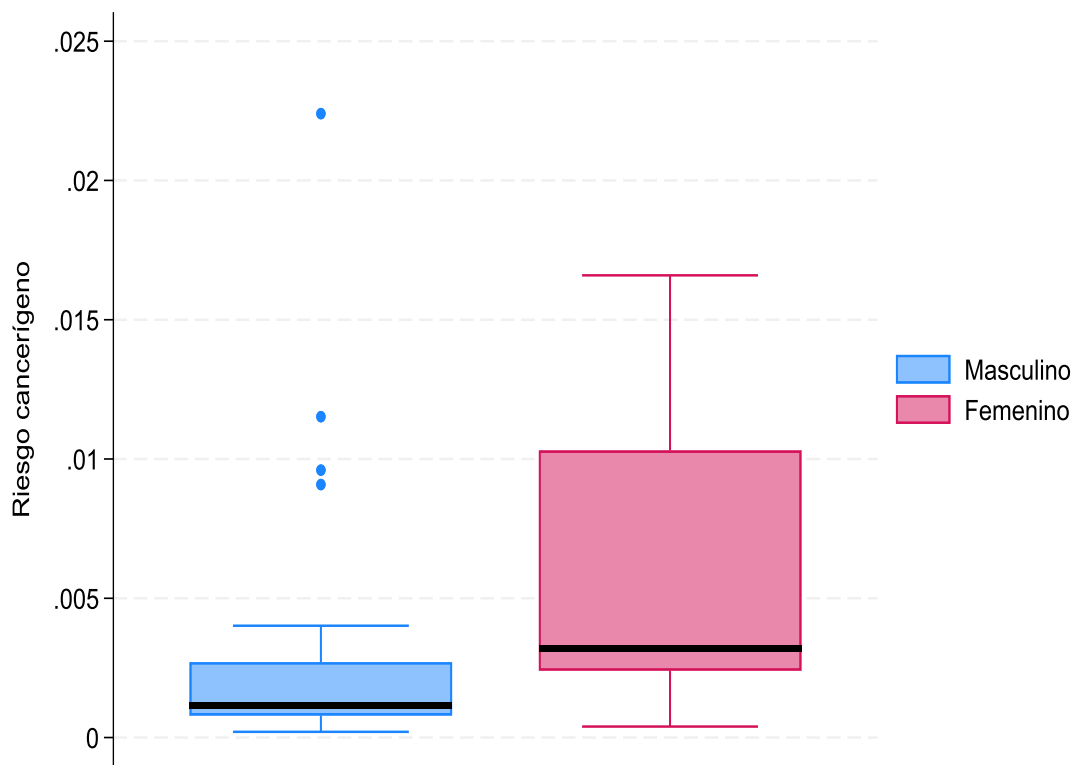


Gráfico 21. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según sexo de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 14.

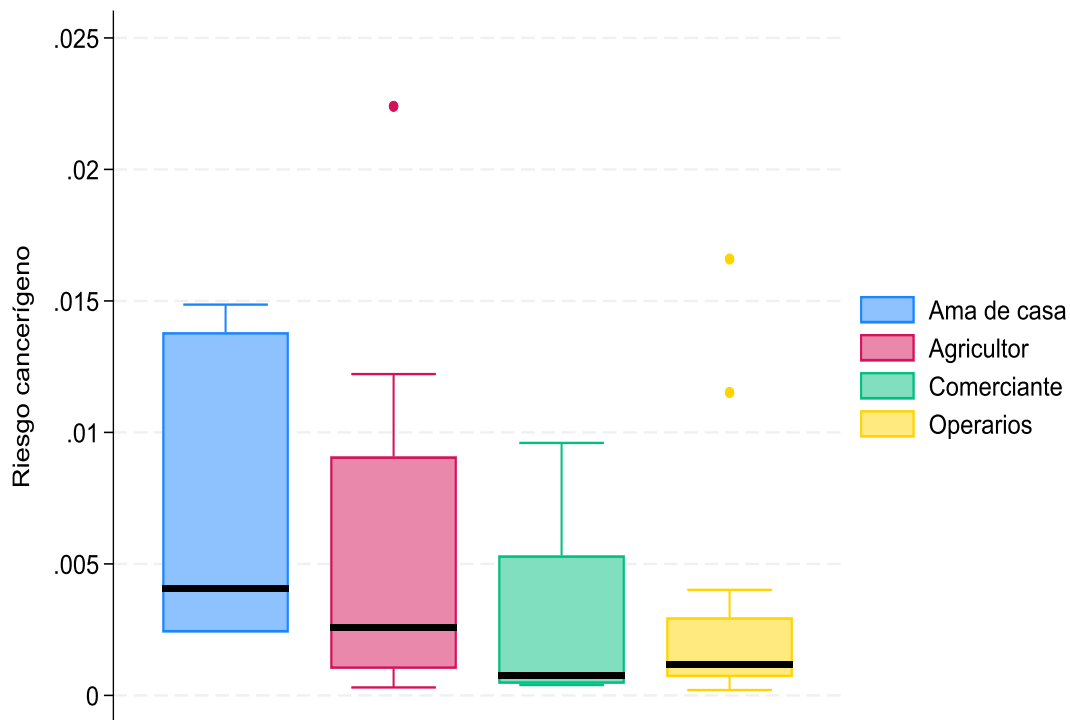


Gráfico 22. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según ocupación laboral de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 14.

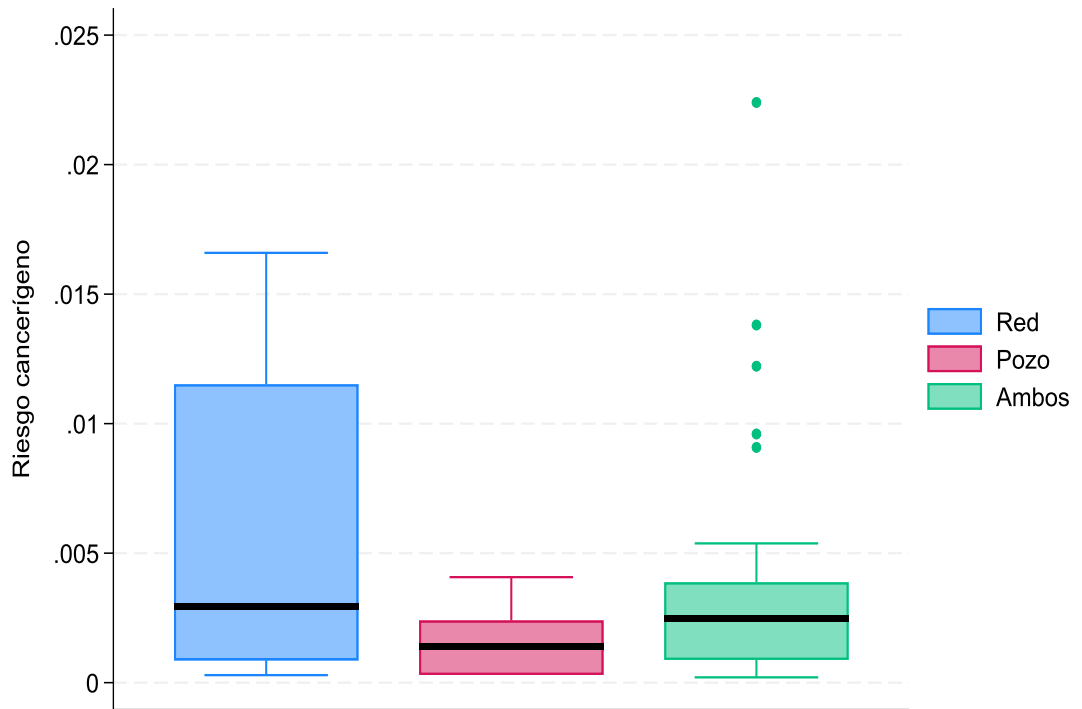


Gráfico 23. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según fuente de agua de consumo de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 14.

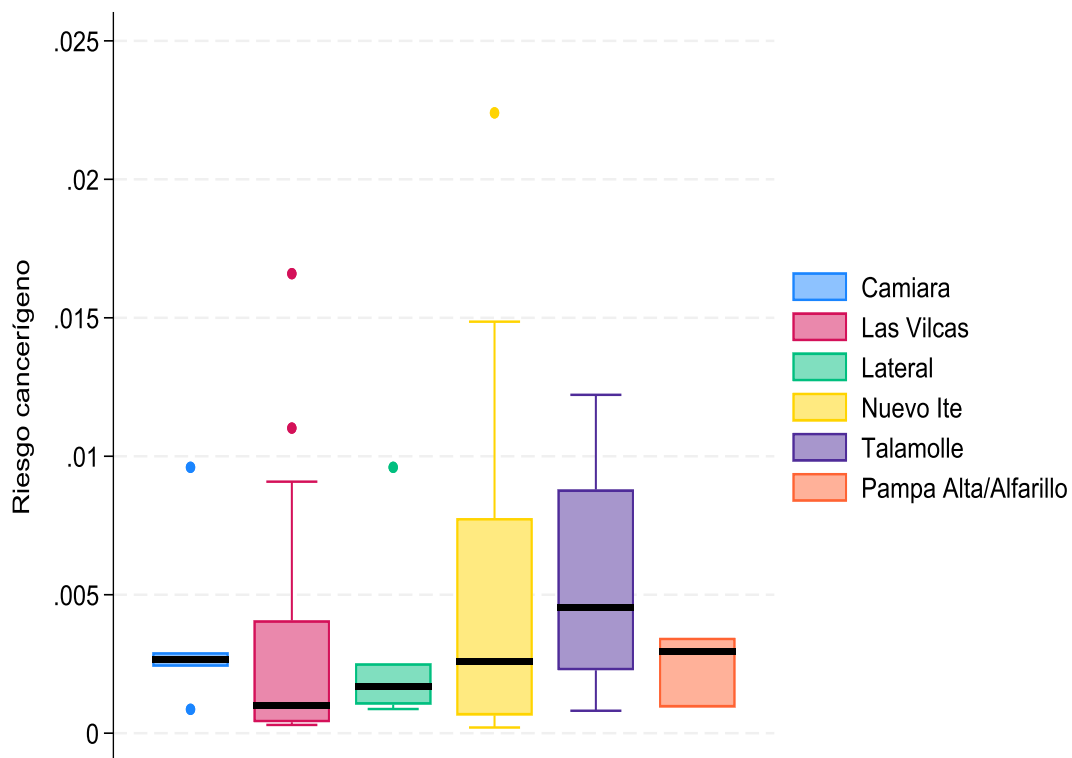


Gráfico 24. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según lugar de residencia de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 14.

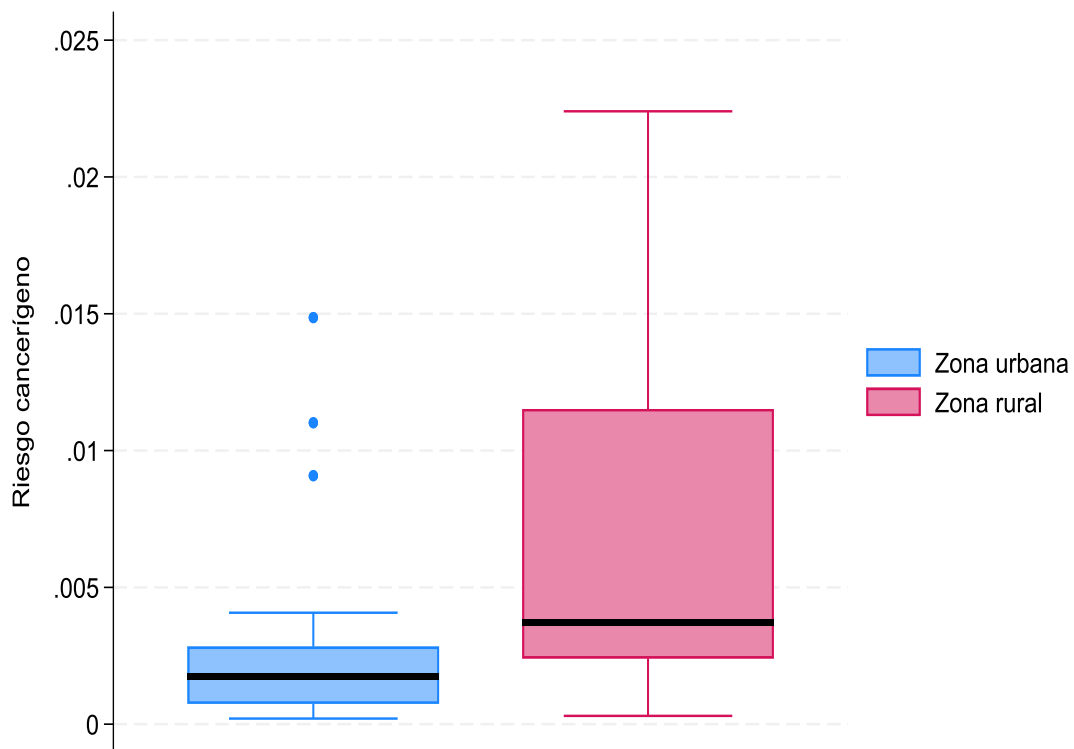


Gráfico 25. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según zona de residencia de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 14.

Tabla 15. Riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según características de consumo y alimentación de los pobladores encuestados (n=49) del distrito de Ite, 2025.

| Características | Riesgo cancerígeno | Valor p |
|--|--|---------|
| | Mediana (RIC) | |
| Frecuencia de consumo semanal | | 0,001 |
| De 4 a 6 veces | $1,9 \times 10^{-2}$ ($1,7 \times 10^{-2} - 2,2 \times 10^{-2}$) | |
| De 1 a 3 veces | $2,9 \times 10^{-3}$ ($2,5 \times 10^{-3} - 9,6 \times 10^{-3}$) | |
| Al menos una vez | 1×10^{-3} ($3,9 \times 10^{-4} - 2,4 \times 10^{-3}$) | |
| Frecuencia de consumo diario | | 0,001 |
| 1 vez | $8,7 \times 10^{-4}$ ($3,1 \times 10^{-4} - 2,5 \times 10^{-3}$) | |
| 2 veces | 4×10^{-3} ($2,4 \times 10^{-3} - 9,6 \times 10^{-3}$) | |
| 3 o más veces | $1,2 \times 10^{-2}$ ($1 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-2}$) | |
| Cantidad de ají que consumo por comida | | 0,001 |
| Menos de 10 g | 7×10^{-4} ($3 \times 10^{-4} - 8,8 \times 10^{-4}$) | |
| Entre 10 y 30 g | $2,4 \times 10^{-3}$ ($1 \times 10^{-3} - 2,7 \times 10^{-3}$) | |
| Entre 30 y 50 g | $9,6 \times 10^{-3}$ ($4 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-2}$) | |
| Más de 50 g | $8,4 \times 10^{-3}$ ($3,8 \times 10^{-3} - 1,4 \times 10^{-2}$) | |
| Tipo de ají que consume | | 0,028 |
| Fresco y seco | $2,7 \times 10^{-3}$ ($1 \times 10^{-3} - 5,4 \times 10^{-3}$) | |
| Seco | $8,7 \times 10^{-4}$ ($4,9 \times 10^{-4} - 2,5 \times 10^{-3}$) | |
| Peso corporal (Kg) | - 0,31 | 0,031 |

Fuente: Microsoft Excel y STATA versión 19.

En los pobladores encuestados del distrito de Ite (n = 49) se obtuvieron valores de p significativos (< 0,05) al evaluar el riesgo cancerígeno según la frecuencia de consumo semanal y diario, la cantidad de ají consumida por ración, el tipo de ají utilizado y el peso corporal. En

todos estos casos se rechaza la hipótesis nula, por lo que el cociente de riesgo difiere de manera significativa en función de dichas variables.

En este contexto, los pobladores que consumen ají con mayor frecuencia —ya sea de 4 a 6 veces por semana ($RC: 1,9 \times 10^{-2}$) o diariamente (3 o más veces al día, $RC = 1,2 \times 10^{-2}$)— presentan un riesgo cancerígeno más elevado que aquellos que lo consumen al menos una vez a la semana o al día.

De igual manera, la cantidad de ají ingerida por ración influye en el incremento del riesgo cancerígeno, siendo los pobladores que consumen más de 50 g por ración quienes alcanzan los valores más altos ($RIC = 8.4 \times 10^{-3}$). Importante también señalar que, el tipo de ají empleado en la preparación de los alimentos también influye en el riesgo; quienes consumen simultáneamente ají seco y fresco presentan un riesgo cancerígeno mayor que aquellos que consumen únicamente ají seco ($2,7 \times 10^{-3}$ vs. $8,7 \times 10^{-4}$).

Respecto al peso corporal, se obtuvo un coeficiente Rho de $-0,31$, lo que indica una correlación negativa moderada entre el riesgo cancerígeno y esta variable. Es decir, a medida que aumenta el peso corporal del poblador, disminuye el riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo.

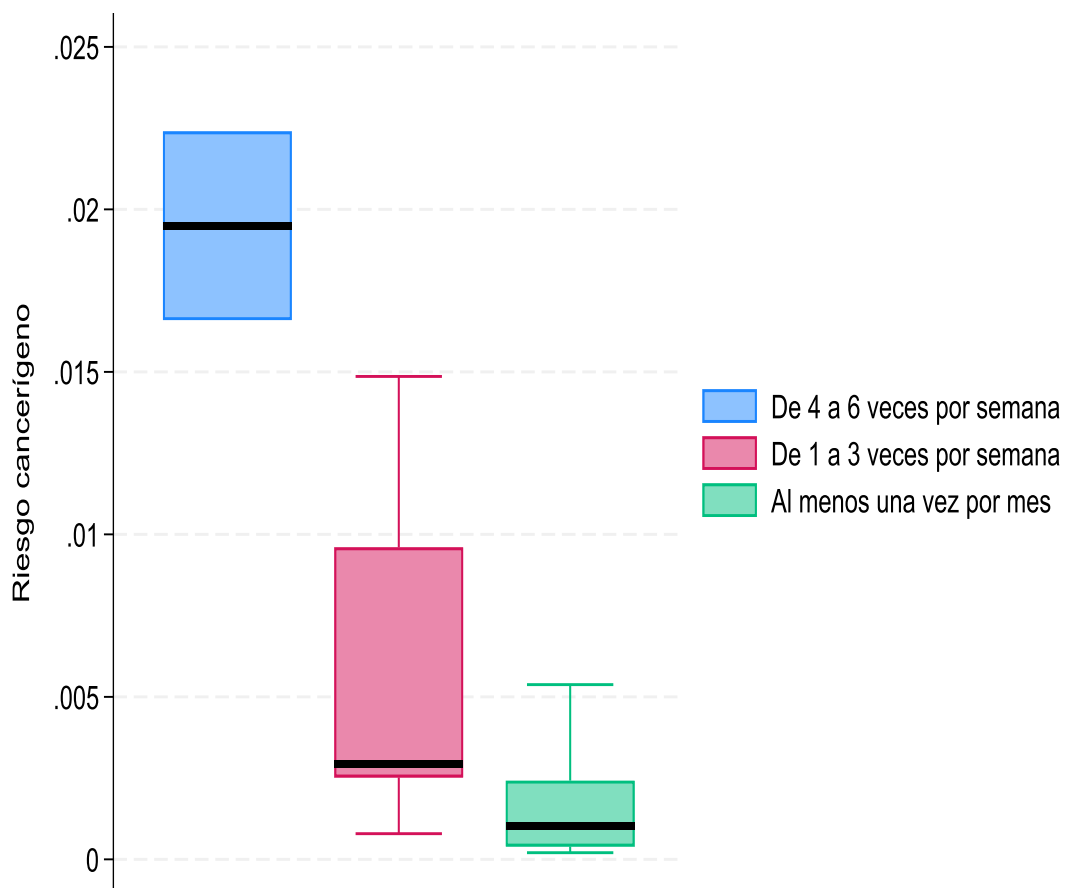


Gráfico 26. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según frecuencia de consumo semanal de ají de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 15.

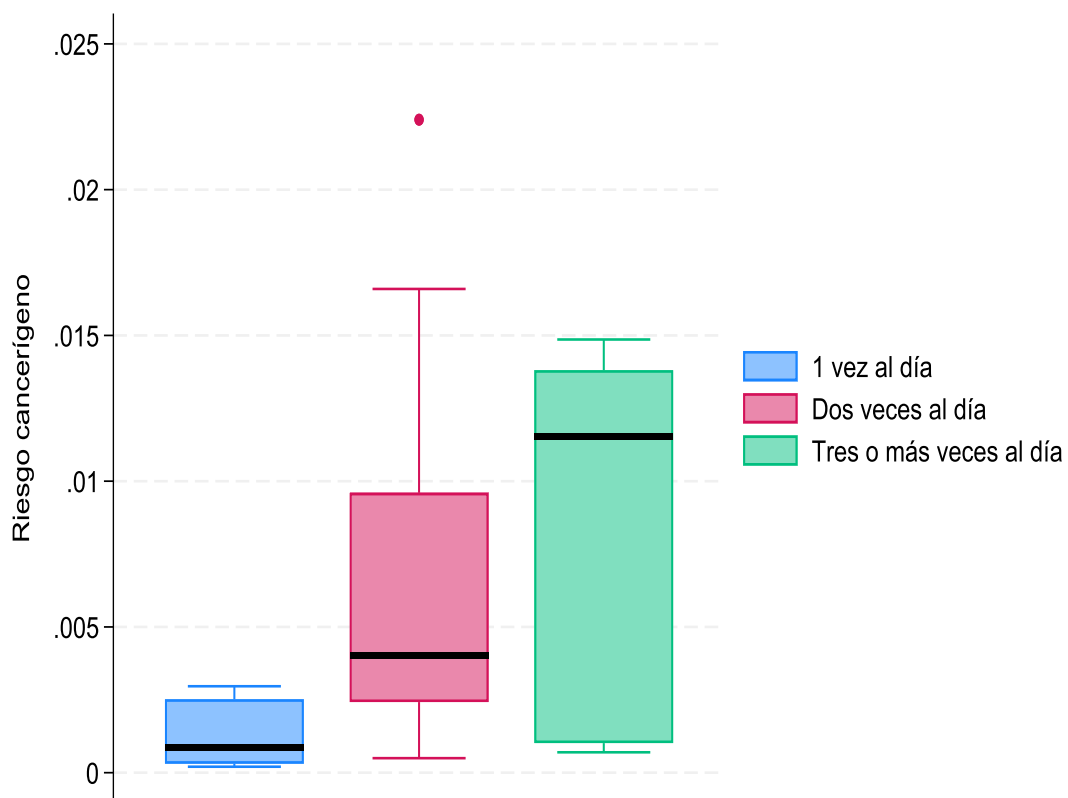


Gráfico 27. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según frecuencia de consumo diario de ají de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 15.

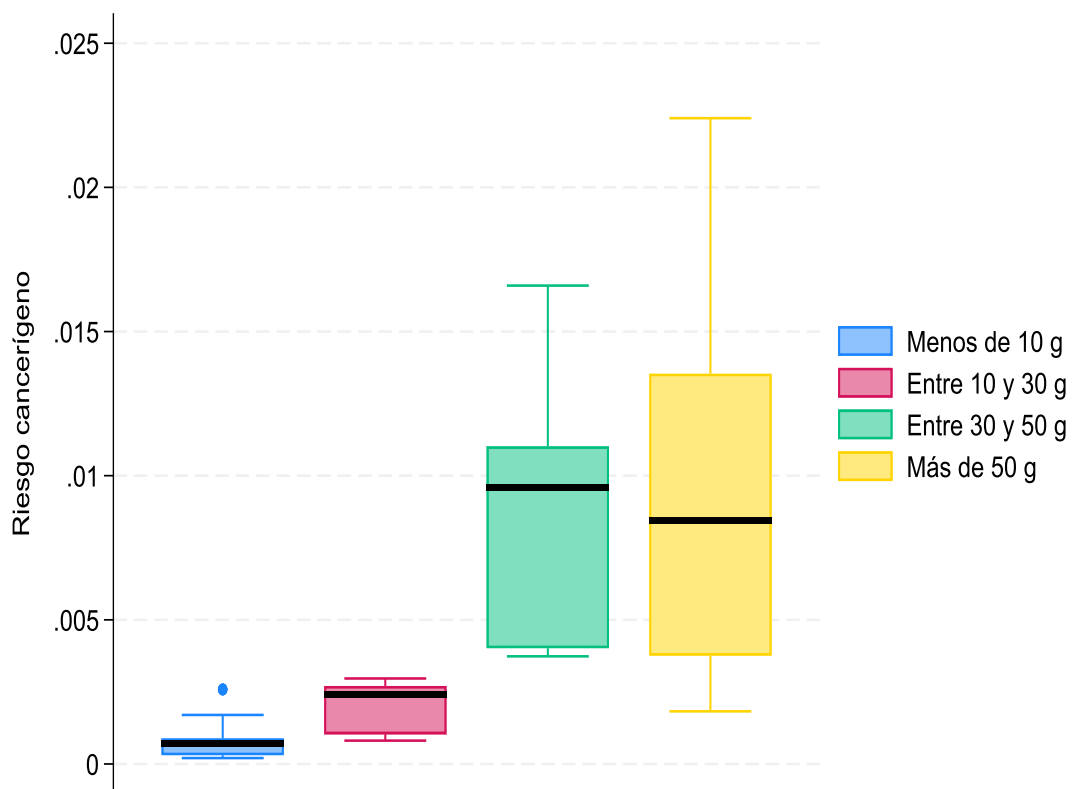


Gráfico 28. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según la cantidad diaria de consumo por ración de ají de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 15.

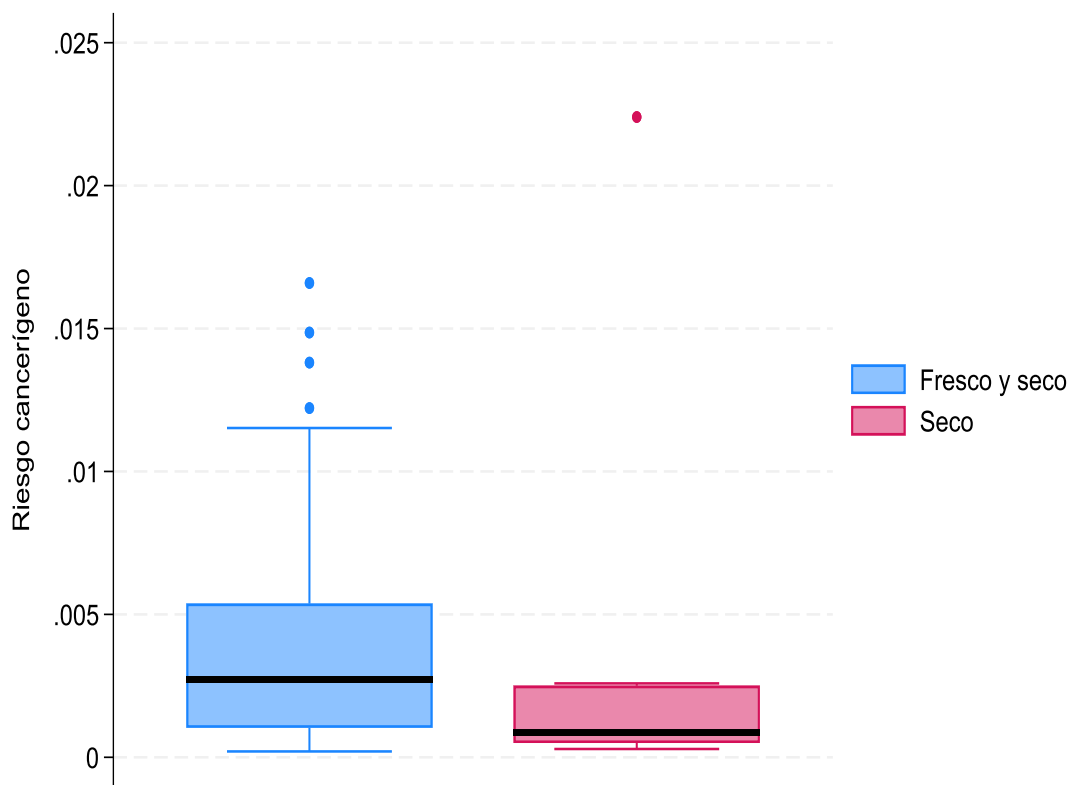


Gráfico 29. Cajas del riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo según el tipo de ají consumido por los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 15.

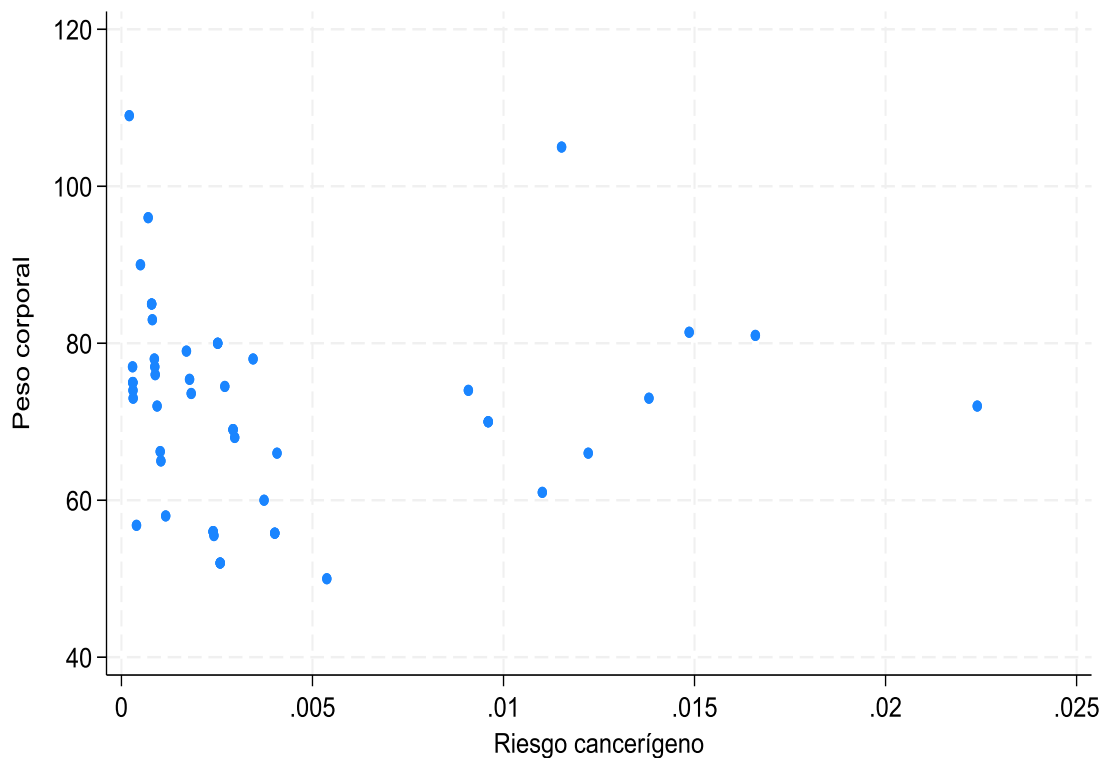


Gráfico 30. Correlación entre el riesgo cancerígeno para arsénico asociado al consumo de ají amarillo y el peso corporal de los pobladores encuestados.

Fuente: Tabla 15.

En el gráfico de dispersión se observa que los valores peso corporal y del cociente de riesgo muestran una tendencia negativa moderada ($Rho: -0,31$) significativa que sugiere dependencia entre ambas variables. Esta correlación se confirma con el valor de $p = 0,031$ obtenido tras aplicar la prueba Rho de Spearman.

DISCUSIÓN

El presente estudio identificó concentraciones elevadas de arsénico en ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producido en el distrito de Ite y un riesgo toxicológico no cancerígeno y cancerígeno significativo asociado a su consumo habitual en la población adulta evaluada. La concentración media de arsénico en las 68 muestras de ají ($0,49 \pm 0,17$ mg/kg) superó el valor de referencia de 0,10 mg/kg utilizado como criterio comparativo establecido por la EPA de los Estados Unidos. Asimismo, todas las muestras estuvieron por encima de dicho umbral, lo que evidencia una contaminación generalizada del cultivo. Este hallazgo se enmarca en un contexto de exposición ambiental ya documentado en Tacna, cuando el ASIS 2023 reportó 0,49 mg/L de arsénico en agua de consumo humano en Ite, casi cincuenta veces el valor guía de la OMS de 10 µg/L. Esta convergencia entre contaminación del agua y del alimento refuerza la hipótesis de una fuente ambiental común y de una exposición crónica acumulativa en la población (8,9).

Al comparar las concentraciones de arsénico en ají con estudios internacionales, se observa que los niveles encontrados en Ite se sitúan en

un rango intermedio, pero clínicamente relevante. Zhou et al. (10) en China reportaron $0,3287 \pm 0,093$ mg/kg de arsénico en chiles secos de Guizhou, con cocientes de riesgo no cancerígeno (THQ/TTHQ) < 1 y riesgos cancerígenos (TCR) $< 10^{-4}$ para todos los grupos etarios, concluyendo que el consumo de chile seco representaba un riesgo aceptable. En nuestro estudio, la concentración media de arsénico en ají fresco (0,49 mg/kg) fue ligeramente superior a la reportada por Zhou et al. (10) y, a diferencia de ese trabajo, tanto el HQ medio (2,15) como el RC medio ($4,1 \times 10^{-3}$) superaron con amplitud los umbrales de referencia de la USEPA (HQ > 1 y RC $> 10^{-4}$). Ello sugiere que, en las condiciones de consumo local (frecuencia alta, raciones de hasta 30–50 g y uso cotidiano de ají en fresco y seco), el ají amarillo constituye un vehículo relevante de exposición a arsénico en la dieta.

Otros estudios en pimientos o especias a base de *Capsicum* muestran escenarios variables, pero consistentes con la idea de que el riesgo depende tanto de la concentración como del patrón de consumo. Por ejemplo, Lucic et al. (13) en Serbia hallaron arsénico en todas las muestras de pimiento (*Capsicum annuum*) fresco, seco y procesado, concluyendo que, en general, el pimiento era seguro para adultos y niños; sin embargo, algunas muestras superaron un riesgo incremental de cáncer (ILCR) de 10^{-4} , señalando que

ciertos productos pueden representar un riesgo inaceptable. De igual manera, Monboonpitak et al. (22) evaluaron hierbas culinarias tailandesas, incluyendo chiles, y encontraron contenidos totales de arsénico entre 3,39 y 119 ng/g, con riesgos cancerígenos por arsénico inorgánico (CR) por debajo de los niveles aceptables en todos los casos. En contraste, estudios en África han documentado concentraciones mucho más altas, como Olusola et al. reportaron hasta 4,02 mg/kg de arsénico en ají verde, con índices de riesgo que exceden los valores de referencia, y Awoyale et al. (20) describieron rangos de 10,18–22,68 mg/kg de arsénico en pimienta en polvo en Nigeria, muy por encima de recomendaciones de la OMS, lo que motivó la recomendación de programas de monitoreo y educación. Estos trabajos, junto con nuestros resultados, muestran que el pimiento/ají puede actuar como un vector relevante de exposición cuando la producción ocurre en contextos de contaminación ambiental.

La evidencia de otros alimentos contaminados con arsénico refuerza la relevancia de nuestros hallazgos. Caicedo-Rivas (19) en Colombia reportó altas concentraciones de As, Hg, Pb y Cd en pescado y vegetales de la cuenca media del río Atrato, con riesgos cancerígenos y no cancerígenos elevados por consumo de pescado contaminado, mientras que el riesgo por verduras fue bajo. De forma similar, Natasha et al. (21) en Pakistán

mostraron que cultivos irrigados con aguas residuales presentaban contenidos de arsénico en plantas de hasta 6,5 mg/kg y que, en niños, el riesgo de cáncer asociado al consumo de trigo superaba 10^{-4} , recomendando diversificación de cultivos para reducir la exposición. Estos estudios coinciden con la situación de Ite, donde la irrigación con agua rica en arsénico, documentada en Tacna, probablemente contribuye a la bioacumulación en el ají amarillo.

En el contexto nacional, los resultados también se alinean con la misma tendencia. Proleon et al. (23) evidenciaron, mediante un metaanálisis, la presencia de arsénico y otros metales tóxicos en frutas, verduras y tubérculos en Perú, especialmente en zonas agrícolas cercanas a ríos contaminados o que utilizan agua subterránea, concluyendo que la población peruana está expuesta a alimentos contaminados y que el riesgo de toxicidad es elevado. En Lima, Allende et al. (24) reportaron concentraciones promedio de arsénico de 0,195 mg/kg en arroz pulido, dentro del límite de 0,20 mg/kg del Codex Alimentarius, pero con cocientes de peligro (HQ) > 1 y riesgos incrementales de cáncer de $4,55-5,11 \times 10^{-5}$, superiores al umbral de 10^{-5} considerado aceptable; es decir, incluso alimentos que cumplen con el límite de concentración pueden representar un riesgo elevado cuando el consumo es crónico. Coincide, también el estudio de Román-Ochoa et al.

(25) en Arequipa, quienes encontraron granos y productos procesados con As y otros metales por encima de los límites del Codex, con índices de riesgo total (HI) entre 1 y 10 para arroz y productos de arroz y riesgos cancerígenos totales (TRT) superiores a 10^{-4} , interpretados como inaceptables. Llallahui et al. (26), por su parte, hallaron en Lima que especias en polvo como ají paprika, ají panca, pimienta y comino presentaban concentraciones promedio de arsénico de 0,46 ppm (rango 0,12–1,59 ppm), superando parámetros de la OMS y sugiriendo que especias y condimentos son otra fuente relevante de exposición.

En este marco, los valores obtenidos en el presente estudio —HQ medio de 2,15 (rango 0,11–11,67) con 55,1 % de la población por encima del umbral de 1, y RC medio de $4,1 \times 10^{-3}$ (rango $2,1 \times 10^{-4}$ – $2,2 \times 10^{-2}$), con todos los valores por encima de 10^{-4} — son consistentes con un escenario de riesgo alto. La USEPA y otras agencias consideran que los riesgos cancerígenos aceptables se sitúan típicamente entre 10^{-6} y 10^{-4} , mientras que valores superiores a 10^{-4} se interpretan como potencialmente inaceptables y prioritarios para la gestión del riesgo. El hecho de que incluso el valor mínimo de RC en nuestra muestra supere 10^{-4} indica que, bajo los patrones de consumo locales, el ají amarillo por sí solo podría contribuir de manera importante al riesgo de cáncer a lo largo de la vida. Además, estos

cálculos se han realizado asumiendo únicamente la exposición vía ají, por lo que el riesgo acumulado al considerar otras fuentes dietarias (arroz, agua, granos, especias) podría ser aún mayor.

La relación entre los patrones de consumo y el riesgo fue clara en este estudio. La frecuencia y cantidad de ají consumida se asociaron significativamente con HQ y RC. Es decir, quienes consumían ají 4–6 veces por semana o tres o más veces al día, y aquellos que ingerían más de 50 g por ración, presentaron los valores más elevados de HQ (hasta 10,5) y RC ($\approx 10^{-2}$). Este hallazgo coincide con la literatura internacional, en la que se describe que la intensidad de consumo puede transformar un alimento con concentraciones “moderadas” de arsénico en un contribuyente importante al riesgo, especialmente cuando la exposición es crónica. El hecho de que el tipo de ají (seco + fresco) también aumente el riesgo respecto al ají solo seco sugiere que la combinación de diferentes formas culinarias puede incrementar la exposición total.

Las diferencias por sexo y zona de residencia son otro aspecto relevante. En este estudio, las mujeres y los habitantes de zona rural presentaron HQ y RC significativamente mayores que los hombres y los

residentes urbanos. Este patrón podría explicarse por una combinación de factores. Por ejemplo, diferencias en el peso corporal (al usar mg/kg-día, un menor peso aumenta el índice de riesgo), posibles variaciones en las porciones de consumo y en la preparación de los alimentos, y una mayor dependencia de productos locales en las zonas rurales. Estudios como el de Caicedo-Rivas (19) en el río Atrato y el de Natasha et al. (21) en Pakistán también han señalado mayor vulnerabilidad en subgrupos específicos (niños, comunidades rurales, poblaciones que dependen de pocos alimentos básicos), reforzando la necesidad de considerar inequidades en la exposición y en la carga de enfermedad asociada.

Desde la perspectiva toxicológica y regulatoria, los resultados son coherentes con las preocupaciones expresadas por organismos internacionales. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), en su opinión de 2009 y su actualización reciente, ha identificado rangos de $BMDL_{01}$ entre 0,3 y 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso/día para cáncer de pulmón, piel y vejiga, concluyendo que la exposición dietaria a arsénico en Europa ya se encuentra en niveles de escaso margen de seguridad. Asimismo, la OMS mantiene un valor guía de 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ para arsénico en agua potable, reconocido como provisional y basado en limitaciones tecnológicas más que en ausencia de riesgo. En alimentos, el Codex ha establecido un límite máximo de 0,20

mg/kg para arsénico inorgánico en arroz pulido, que sirve como referencia indirecta para valorar concentraciones en otros cultivos.

En esa línea, las concentraciones encontradas en el ají de Ite (0,49 mg/kg de arsénico total, probablemente con una fracción significativa de arsénico inorgánico, aunque cuantitativamente incierto) superan ampliamente estos valores de referencia y se sitúan en un contexto regional (Tacna y sur del Perú) donde ya se han descrito alimentos contaminados y riesgos elevados (arroz, granos, especias).

En términos de salud clínica, las manifestaciones autorreportadas por la población —fatiga, cefalea, alteraciones intestinales, neuropatía, caída de cabello— son inespecíficas y no permiten establecer una relación causal directa con la exposición a arsénico; sin embargo, son compatibles con los efectos sistémicos descritos por EFSA y la OMS para exposiciones crónicas (neurotoxicidad, alteraciones cardiovasculares, trastornos metabólicos como diabetes, lesiones cutáneas y cáncer) (1,2). La elevada proporción de personas con diagnóstico de diabetes (73,47 %) también merece atención, dado que el arsénico ha sido asociado a alteraciones del metabolismo de la

glucosa, aunque nuestro diseño transversal y el tamaño muestral no permiten inferir causalidad.

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, el tamaño muestral de pobladores ($n = 49$) es relativamente reducido y no permite extrapolar directamente los resultados a toda la población del distrito o de la región. En segundo lugar, se asumió que todo el arsénico medido en el ají se encontraba en forma inorgánica, lo cual representa un escenario conservador (de peor caso) pero puede sobreestimar el riesgo si la fracción orgánica fuera relevante. Estudios como el de Monboonpitak et al. (22) han mostrado que la fracción inorgánica puede representar entre 22,7 % y 62 % del arsénico total en hierbas, por lo que sería deseable incorporar especiación química en futuras investigaciones.

En tercer lugar, el riesgo se evaluó únicamente para el ají, sin integrar la exposición proveniente de otros alimentos consumidos frecuentemente en el distrito de Ite, que la literatura peruana ya ha documentado como fuentes adicionales de arsénico; en este sentido, las estimaciones de HQ y RC aquí reportadas podrían representar solo una parte del riesgo real.

Pese a estas limitaciones, los resultados aportan evidencia sólida de que el ají amarillo producido en Ite constituye una fuente relevante de exposición a arsénico y que, dadas las frecuencias y cantidades de consumo observadas, tanto el riesgo no cancerígeno ($HQ > 1$ en más de la mitad de los participantes) como el riesgo cancerígeno ($RC > 10^{-4}$ en el 100 % de los casos) se sitúan por encima de los rangos de aceptabilidad propuestos por agencias internacionales.

Finalmente, esta investigación constituye, por tanto, un aporte relevante al cuerpo de evidencia sobre riesgo toxicológico por arsénico en alimentos en el sur del Perú, al documentar por primera vez, en el distrito de Ite, que un cultivo de uso culinario cotidiano como el ají amarillo puede contribuir de manera sustancial a la carga de exposición y al riesgo de efectos adversos en la salud.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se evaluó el riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo en pobladores del distrito de Ite en el año 2025. El cociente de riesgo (HQ) calculado presentó una media de $2,15 \pm 2,63$, valor que supera el umbral de peligrosidad de 1 establecido por la USEPA. De manera concordante, el riesgo cancerígeno (RC) mostró una media de $4,1 \times 10^{-3} \pm 5,1 \times 10^{-3}$, cifra que excede el rango de aceptabilidad de 10^{-6} a 10^{-4} propuesto por dicha agencia.

SEGUNDA: En las muestras de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) producidas en el distrito de Ite y cosechadas en 2025, se obtuvo una concentración media de arsénico de $0,49 \pm 0,17$ mg/kg, superior al valor de referencia de 0,10 mg/kg establecido por la FAO.

TERCERA: Los 49 pobladores encuestados de Ite tuvieron una edad promedio de 52 años, fueron mayoritariamente hombres, con una larga residencia en la zona (aproximadamente 29 años) y trabajo principalmente en limpieza/mantenimiento y agricultura.

La mayoría vive en área urbana, usa simultáneamente agua de red y de pozo, y consume ají amarillo con frecuencia, generalmente hasta 30 g por ración, predominando el uso combinado de ají fresco y seco. El peso corporal promedio fue de 72 kg. Clínicamente, se reportaron con frecuencia síntomas como dolor abdominal, alteraciones del tránsito intestinal, fatiga, cefalea, posible neuropatía y caída de cabello, además de una alta proporción con diagnóstico de diabetes y más de la mitad con alguna atención médica en el último año.

CUARTA: En los pobladores encuestados de Ite (n = 49), tanto el cociente de riesgo (HQ) como el riesgo cancerígeno (RC) por arsénico mostraron diferencias estadísticamente significativas según el sexo y la zona de residencia, siendo mayores en mujeres que en hombres y en habitantes de zona rural que en urbana. Asimismo, ambos índices variaron de forma significativa de acuerdo con la frecuencia de consumo semanal y diario de ají amarillo, la cantidad consumida por ración, el tipo de ají utilizado y el peso corporal, lo que indica que estos factores influyen de manera importante en el nivel de riesgo asociado al consumo de ají.

RECOMENDACIONES

Considerando que las concentraciones de arsénico detectadas en el ají amarillo superan el valor de referencia y que tanto el cociente de riesgo (HQ) como el riesgo cancerígeno (RC) evidencian niveles no aceptables de exposición, se recomienda a la población del distrito de Ite que, evite el consumo habitual de ají amarillo producido en la zona, o que, al menos, reduzca de manera importante su frecuencia y cantidad de ingesta. Esta medida es especialmente pertinente en personas con consumo frecuente, en mujeres y en pobladores de zonas rurales, quienes presentaron mayores niveles de riesgo. Asimismo, se recomienda a las autoridades sanitarias fortalecer la vigilancia del arsénico en alimentos y promover orientaciones alimentarias preventivas dirigidas a la población, a fin de disminuir la exposición crónica a este metaloide.

Asimismo, resulta fundamental que las autoridades sanitarias implementen un sistema de vigilancia del arsénico en alimentos, en particular en productos de alto consumo local como el ají amarillo. Dicho sistema permitiría identificar oportunamente niveles elevados de contaminación y

adoptar medidas de prevención y control, brindando así mayor seguridad a la población del distrito de Ite.

Se recomienda realizar estudios con mayor tamaño muestral de pobladores expuestos y que incluyan varios ciclos agrícolas y otros distritos de la provincia (Ite, Ite y zonas aledañas), incorporando simultáneamente agua de riego y consumo humano, suelo y otros cultivos de importancia local. Esto permitiría caracterizar mejor la variabilidad espacial y temporal de las concentraciones de arsénico y su relación con las prácticas agrícolas.

También se recomienda desarrollar investigaciones de especiación de arsénico inorgánico y orgánico en ají amarillo y en otros alimentos, así como la presencia de otros metales pesados encontrados en fuentes de agua que son utilizados para el riego de cultivos. La especiación permitirá estimar con mayor precisión el riesgo toxicológico y evaluar posibles interacciones o efectos combinados.

Se recomienda, además, diseñar estudios analíticos (cohortes, estudios de casos y controles o seccionales ampliados) que incluyan biomarcadores de exposición (arsénico en orina, cabello, uñas) y desenlaces clínicos específicos (lesiones cutáneas, neuropatía periférica, alteraciones

metabólicas como diabetes, función renal, entre otros.), pero con evaluación clínica exhaustiva realizada por profesionales médicos especialistas, con el fin de fortalecer la evidencia causal entre la exposición crónica y los efectos en salud en la población de Tacna.

Para las autoridades sanitarias locales, se recomienda implementar o consolidar programas de monitoreo rutinario de arsénico en agua de consumo humano y de riego, así como en ají amarillo y otros alimentos de alta frecuencia de consumo en la región de Tacna. Los resultados deben integrarse en un sistema de alerta temprana que permita adoptar medidas correctivas cuando se superen los valores de referencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arsénico [Internet]. [citado 13 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
2. Resumen de Salud Pública: Arsénico (Arsenic) | PHS | ATSDR [Internet]. 2023 [citado 13 de junio de 2025]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html
3. Smedley PL, Kinniburgh DG. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. [citado 1 de mayo de 2025]. ;17(5):517-68.
4. Meharg A, Hartley-Whitaker J. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. *New Phytologist*. 2002;154(1):29-43. [citado 14 de junio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00363.x>
5. WM-Bekele D, Dadebo E, Tilahun G, Gebremariam Z. Health risks associated with exposure to arsenic, lead, and mercury in tomato fruits grown near Lake Hawassa, Ethiopia. *Environmental Challenges*. [citado 1 de abril de 2025];18:101077.
6. Roychowdhury T, Uchino T, Tokunaga H, Ando M. Survey of arsenic in food composites from an arsenic-affected area of West Bengal, India. *Food and Chemical Toxicology*. 1 de noviembre de 2002;40(11):1611-21.
7. Redacción EC. Tacna: familias de Ite recibieron agua con alta concentración de metales dañinos. *El Comercio* [Internet]. 22 de noviembre de 2020 [citado 13 de junio de 2025]; Disponible en:

<https://elcomercio.pe/peru/tacna/tacna-familias-de-ite-recipientes-agua-con-alta-concentracion-de-metales-daninos-nnpp-noticia/>

8. Análisis Situacional ASIS TACNA 2023 [Internet]. [citado 13 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/regiointacna-diresa/informes-publicaciones/4748172-analisis-situacional-asis-tacna-2023>
9. Informe del Monitoreo de Contaminantes 2020.pdf.pdf [Internet]. [citado 13 de junio 2025]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2232377/Informe%20del%20Monitoreo%20de%20Contaminantes%202020.pdf.pdf?utm_source
10. Zhou L qiang, Liu W zheng. Pollution of four heavy metal elements in dried chili peppers in Guizhou Province and its health risk assessment. *Sci Rep.* 1 de agosto de 2024;14:17759.[Internet]. [citado 14 de junio 2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39085336/>
11. Monboonpitak N, Ruangwises S, Buranaphalin S, Ruangwises N. Probabilistic Risk Assessment of Inorganic Arsenic via Consumption of Herbs Collected in Thailand. *Evid Based Complement Alternat Med.* 15 de julio de 2018;2018:8646579. [Internet]. [citado 14 de junio de 2025]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6076897/>
12. Hermosillo-Muñoz M, Valles-Aragón M, Ballinas-Casarrubias M de L, Rocha-Gutiérrez BA, Prieto-Amparan JA. trazabilidad de arsénico en agua de riego agrícola en el centro sur del estado de chihuahua, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 5 de diciembre de 2019;35:81-91. [Internet]. [citado 15 de junio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.10>

13. Lučić M, Miletić A, Savić A, Lević S, Ignjatović IS, Onjia A. Ingesta dietética y evaluación de riesgos para la salud de elementos esenciales y tóxicos en el pimiento (*Capsicum annuum*). Journal of Food Composition and Analysis. 1 de agosto de 2022;111:104598. [Internet]. [citado 13 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157522002162?via%3Dihub>
14. Natasha, Shahid M, Khalid S, Niazi N, Murtaza B, Ahmad N, et al. Health risks of arsenic buildup in soil and food crops after wastewater irrigation. Science of The Total Environment. 10 de junio de 2021;772:145266. [Internet]. [citado 14 junio de 2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33578156/>
15. Ibarcena L. Scribd. [citado 13 de junio de 2025]. Estudio de La Contaminacion Por Metales Ecotoxicos en Sedimento en La Bahia de Ite | PDF | Cadmio | Cobre. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/399435132/Estudio-de-La-Contaminacion-Por-Metales-Ecotoxicos-en-Sedimento-en-La-Bahia-de-Ite>
16. Calculating Hazard Quotients and Cancer Risk Estimates [Internet]. 2025 [citado 12 de junio de 2025]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/pha-guidance/conducting_scientific_evaluations/epcs_and_exposure_calculations/hazardquotients_cancerrisk.html
17. US EPA O. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part A [Internet]. 2015 [citado 12 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

18. US EPA O. Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables [Internet]. 2015 [citado 17 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>
19. Caicedo-Rivas G, Salas-Moreno M, Marrugo-Negrete J. Health Risk Assessment for Human Exposure to Heavy Metals via Food Consumption in Inhabitants of Middle Basin of the Atrato River in the Colombian Pacific. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. enero de 2023;20(1):435. [Internet]. [citado 17 de junio de 2025]. Disponible en : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36612759/>
20. Awoyale W, Zorbari N, Sanni L. Aflatoxin content and heavy metals composition of powdered pepper from selected markets in Kwara state, Nigeria. *Food Science and Preservation*. 2024;31(5):811-7. [Internet]. [citado 17 de junio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.5.811>
21. Natasha null, Shahid M, Khalid S, Niazi N, Murtaza B, Ahmad N, et al. Health risks of arsenic buildup in soil and food crops after wastewater irrigation. *Sci Total Environ*. 10 de junio de 2021;772:145266.
22. Monboonpitak N, Ruangwises S, Buranaphalin S, Ruangwises N. Probabilistic Risk Assessment of Inorganic Arsenic via Consumption of Herbs Collected in Thailand. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2018;2018(1):8646579.
23. Proleon J, Siccha C. Riesgos por contaminación con metales pesados en alimentos en Perú: metaanálisis. 26 de enero de 2022 [citado 13 de junio de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13053/6679>

24. Allende V. Evaluación de riesgo toxicológico al arsénico por consumo de arroz pulido expendido en el mercado productores de Santa Anita – Lima, Perú 2020. 2021.
25. Román-Ochoa Y, Choque Delgado G, Tejada T, Yucra H, Durand A, Hamaker B. Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. *Chemosphere*. julio de 2021;274:129792.
26. Llallahui F, Quispe L. “Determinación de Arsénico, Cadmio y Plomo en especias en polvo: Ají Paprika (*Capsicum annum*, L.), Ají Panca (*Capsicum chinense*), Pimienta (*Piper nigrum*) y Comino (*Cuminum cyminum*), expendidos en el Mercado Caquetá-San Martín de Porres, Lima en el periodo Enero- 2018”. 5 de diciembre de 2018 [citado 13 de junio de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13053/2653>
27. Soto H, Rodriguez L, Olivera M, Arostegui V, Colina C. Determinación de metales pesados en suelo y productos agrícolas de la zona minera la Pastora. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios- UNAMAD [Internet]. marzo de 2019 [citado 13 de junio de 2025]; Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/435>
28. Enriquez Castro dwe. bhigh level of arsenic and its impact on health.
29. Hernandez, Fernandez y Baptista-Metodología Investigación Científica 6ta ed.pdf [Internet]. [citado 13 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wpcontent/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20BaptistaMetodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

30. Cvetkovic-Vega A, Maguiña JL, Soto A, Lama-Valdivia J, López LEC, Cvetkovic-Vega A, et al. Estudios transversales. Revista de la Facultad de Medicina Humana. enero de 2021;21(1):179-85.
31. Zacarías H, Supo J. Metodología de la Investigación Científica: Para Las Ciencias de la Salud y Las Ciencias Sociales. Bioestadístico; 2020. 338 p.
32. Dirección Regional de Agricultura Tacna. Anuario Estadístico Agrícola 2023. Disponible en: <https://cms.agritacna.gob.pe/uploads/statistics/agricola/2024/b76fd885-e791-419b-941c-51a141345c1d.pdf>
33. Resultados Definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario 2012 [Internet]. [citado 13 de junio de 2025]. Disponible en: <https://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
34. Olmos Valentina, Ridolfi Adriana S. Hidroarsenicismo: mecanismos de acción asociados a la toxicidad del arsénico. Acta toxicol. argent. [Internet]. 2018 Mayo [citado 17 de junio 2025] ; 26(1): 32-44. Disponible en: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432018000100004&lng=es.

ANEXOS



Anexo 1

CONSENTIMIENTO INFORMADO



Título del estudio:

*Riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo
(Capsicum baccatum) producido en el distrito de Ite, Tacna – 2025*

Investigador principal: Br. Ana Cecilia Fernandez Poma

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Facultad Ciencias de la
Salud – Escuela Profesional Farmacia y Bioquímica

Correo electrónico: afernandezp@ unjbg.edu.pe

Teléfono de contacto: 982637844

1. Introducción

Usted está siendo invitado(a) a participar en un estudio académico cuyo objetivo es estimar el posible riesgo toxicológico por exposición a arsénico a través del consumo de ají amarillo producido en el distrito de Ite, Tacna. Esta información es necesaria para fines de investigación universitaria, y su participación es voluntaria.

2. ¿En qué consiste su participación?

Se le realizará una breve encuesta sobre sus hábitos de consumo de ají amarillo, en especial sobre la frecuencia y cantidad que consume. El tiempo estimado para responder el cuestionario es de 10 a 15 minutos.

3. Riesgos y beneficios

Riesgos: No hay riesgos físicos ni psicológicos directos. Su información será tratada de forma anónima y confidencial.

Beneficios: Su participación contribuirá al conocimiento sobre la inocuidad alimentaria y salud pública en la región.

4. Confidencialidad

Toda la información que usted brinde será confidencial y anónima. No se publicará su nombre ni ningún dato personal. Los resultados serán usados únicamente con fines académicos.

5. Voluntariedad y retiro

Su participación es completamente voluntaria. Usted puede retirarse del estudio en cualquier momento, sin necesidad de justificar su decisión y sin que esto implique ningún perjuicio.

6. Consentimiento

He leído la información anterior o me ha sido explicada claramente. Comprendo el objetivo del estudio y acepto participar de forma voluntaria.

Nombre del participante:

Firma del participante:

DNI: _____

Fecha: ____ / ____ / 2025

Firma del encuestador:

Nombre del encuestador:

Anexo 2



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA



FICHA DE ENCUESTA – CONSUMO DE AJÍ AMARILLO

“RIESGO TOXICOLÓGICO POR ARSÉNICO ASOCIADO AL CONSUMO DE AJÍ

AMARILLO (CAPSICUM BACCATUM) PRODUCIDO EN EL DISTRITO DE ITE, TACNA – 2025”

Encuestador: _____

Fecha: ____ / ____ / 2025

Código de encuesta: _____

I. Datos generales del encuestado

- Edad: _____ años
- Sexo: Masculino Femenino
- Peso corporal aproximado: _____ kg
- Lugar de residencia:
 - Zona urbana Zona rural
- Tiempo viviendo en la zona: <1 año 1–5 años >5 años
- ¿Consume agua de pozo o de red pública? Pozo Red Ambos

II. Hábitos de consumo de ají amarillo

1. ¿Consume ají amarillo de forma habitual?
 - Sí No (Si responde “No”, finalice la encuesta)
2. ¿Con qué frecuencia consume ají amarillo?
 - Todos los días
 - 4–6 veces por semana

- 1–3 veces por semana
 - Ocasionalmente (menos de una vez por semana)
3. ¿Qué tipo de presentación de ají consume con más frecuencia?
- Ají fresco
 - Ají molido
 - Ají cocido en guisos
 - Otro
4. ¿Qué cantidad de ají amarillo consume aproximadamente en una comida?
- Menos de 10 gramos
 - Entre 10 y 30 gramos
 - Entre 30 y 50 gramos
 - Más de 50 gramos
5. ¿Cuántas veces al día incluye ají amarillo en su alimentación?
- Una vez al día
 - Dos veces al día
 - Tres o más veces al día
6. ¿El ají que consume proviene de cultivos del distrito de Ite?
- Sí, siempre
 - A veces
 - No, viene de otro lugar
 - No lo sé

III. Percepción de riesgos

7. ¿Está usted informado sobre los posibles riesgos para la salud por metales pesados como el arsénico en alimentos?

Sí No

8. ¿Conoce si en Ite hay antecedentes de contaminación por metales pesados en agua o suelo?

Sí No No está seguro

IV. Estado de salud general

Por favor, marca si presentas alguno de los siguientes síntomas o condiciones. Selecciona también la frecuencia.

| Síntoma o condición | Nunca | Ocasionalmente | Frecuentemente |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Lesiones oscuras o engrosamiento en palmas o plantas (hiperqueratosis) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Manchas oscuras en la piel (hiperpigmentación) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Dolor abdominal frecuente | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Náuseas o vómitos sin causa aparente | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Diarrea persistente o alternancia con estreñimiento | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cansancio o debilidad general (fatiga) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Dolor de cabeza constante | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sensación de hormigueo o adormecimiento en manos/pies (neuropatía) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Caída de cabello | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Infecciones frecuentes de piel o heridas que no cicatrizan bien | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Problemas respiratorios (tos crónica, dificultad al respirar) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Pérdida de apetito | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cambios en la coloración de las uñas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

V. Historial médico y exposición

1. ¿Ha sido diagnosticado con alguna de estas enfermedades? (Marque las que apliquen)

Enfermedades renales Diabetes Hipertensión Cáncer Problemas hepáticos Ninguna

2. ¿Ha recibido atención médica por problemas gastrointestinales o dérmicos en los últimos 12 meses?

Sí No

3. ¿Ha estado expuesto(a) a pesticidas, metales pesados o químicos industriales por razones laborales?

Sí No

Anexo 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA | TECNICAS INSTRUMENTOS |
|--|---|---|--|---|---|
| <p>PROBLEMA PRINCIPAL</p> <p>¿Existe riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite, 2025?</p> | <p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite, 2025.</p> | <p>Hipótesis alterna (Ha): Existe riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite, en el año 2025.</p> <p>Hipótesis nula (Ho): No existe riesgo toxicológico por arsénico asociado al consumo de ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite, en el año 2025.</p> | <p>Variable dependiente</p> <p>Concentración de arsénico total en ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingesta diaria de ají amarillo • Concentración total de arsénico en ají amarillo | <p>Tipo de investigación</p> <p>Cuantitativa, básica, analítica</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>Transversal</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Descriptiva</p> <p>Población de estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Población de ají amarillo • Población residente | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de Consentimiento Informado para participar en el estudio. • Encuesta sobre el consumo de ají amarillo • Determinación de arsénico total mediante la técnica analítica de Espectroscopía de Emisión Óptica con Plasma Acoplado |
| <p>PROBLEMAS SECUNDARIOS</p> <p>a) ¿Cuál es la concentración de arsénico en las muestras de ají</p> | <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar las concentraciones de arsénico en ají amarillo</p> | | <p>Variable independiente</p> <p>Riesgo toxicológico por arsénico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hazard Quotient (HQ) | | |

| | | | | |
|--|--|--|---|---------------------------------|
| <p>amarillo producidas en el distrito de Ite, 2025?</p> | <p>(<i>capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite, 2025.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Cancer Risk (CR) | <p>Muestra</p> | <p>Inductivamente (ICP-OES)</p> |
| <p>b) ¿Cuáles son las características sociodemográficas, de consumo, clínicas y antecedentes de los pobladores que consumen ají amarillo del distrito de Ite 2025?</p> | <p>d) Describir las características sociodemográficas, de consumo, clínicas y antecedentes de los pobladores que consumen ají amarillo del distrito de Ite, 2025.</p> | | <p>Muestreo probabilístico simple y estratificado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Población de ají amarillo: 17 composites • Población residente: 49 pobladores | |
| <p>c) ¿Existirán diferencias del riesgo toxicológico para arsénico asociado al consumo de ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite según las características sociodemográficas y de consumo de ají de los pobladores del distrito de Ite, 2025?</p> | <p>e) Evaluar el riesgo toxicológico para arsénico asociado al consumo de ají amarillo (<i>Capsicum baccatum</i>) producido en el distrito de Ite según las características sociodemográficas y de consumo de ají de los pobladores del distrito de Ite, 2025.</p> | | | |

Anexo 4

Flujograma del procedimiento de recolección de muestras de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) – Distrito de Ite, 2025

Paso 1: Identificación y Ubicación de Zonas de Muestreo



IMAGEN 1. Registro fotográfico georeferenciado de las Zonas 1, 2, 3 y 4 en los sectores de muestreo de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) en el distrito de Ite, 2025.

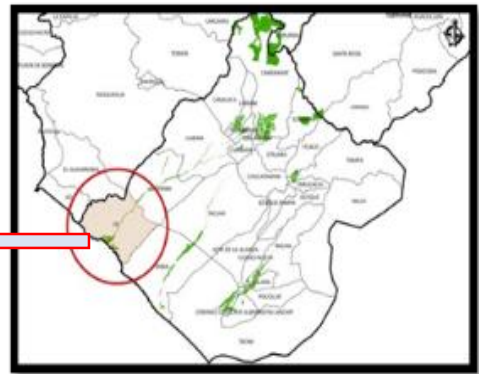


IMAGEN 2. Distrito de Ite, de la provincia Jorge Basadre en la región de Tacna.
Fuente: World map – Satélite

Paso 2: Recorrido y observación de campos de cultivo



IMAGEN 3. Realizó un recorrido por las zonas de cultivo de ají amarillo con el fin de conocer el entorno productivo y las condiciones de los campos de producción.



IMAGEN 4. Parcelas de cultivo de ají amarillo en el distrito de Ite, sector Nuevo Ite,



IMAGEN 5: Se realizo las visitas a las diferentes parcelas de cultivo de ají amarillo del distrito de Ite, (Las Vilcas, Talamolle, Nuevo Ite, Camiara)



Paso 3: Recolección de muestras en campo



IMAGEN 6. Recolección de muestras en la zona 1 de Camiara – distrito ITE.



IMAGEN 7. Recolección de muestras en la zona 1 de camiara – distrito ITE



IMAGEN 8. Recolección de muestras en la zona 1 de camiaira – distrito ITE



-17.816747 LAT
-70.925297 LON
Altitud: 192 yd a.s.l
Elevación: -
6/10/2025 9:52 a. m.
Proveedor de ubicación: Fusionado

IMAGEN 9. Recolección de muestras en la zona 1 de camiaira – distrito ITE



IMAGEN 10. Recolección de muestras en la zona 2 – distrito ITE



-17.831674 LAT
-70.931358 LON
Altitud: 182 yd a.s.l
Elevación: -
6/10/2025 9:57 a. m.
Proveedor de ubicación: Fusionado

IMAGEN 11. Recolección de muestras en la zona 2 – distrito ITE



IMAGEN 12. Recolección de muestras en la zona 3 – distrito ITE



IMAGEN 13. Recolección de muestras en la zona 4 – distrito ITE



Paso 4: Aplicación de encuestas a los productores y pobladores.



IMAGEN 14. Aplicación de la ficha de encuestas sobre el consumo de ají amarillo a los pobladores, en el marco del estudio del riesgo toxicológico por arsénico en el distrito de Ite.



IMAGEN 15. Pesaje del poblador como parte de la evaluación del riesgo toxicológico, realizado con el objetivo de estimar la dosis de exposición al arsénico.



IMAGEN 16. Pesaje del poblador como parte de la evaluación del riesgo toxicológico, realizado con el objetivo de estimar la dosis de exposición al arsénico.



IMAGEN 17. Aplicación de la ficha de encuestas sobre el consumo de ají amarillo a los pobladores, en el marco del estudio del riesgo toxicológico por arsénico en el distrito de Ite.



IMAGEN 18. Aplicación de la ficha de encuestas sobre el consumo de ají amarillo a los pobladores, en el marco del estudio del riesgo toxicológico por arsénico en el distrito de Ite.



IMAGEN 19. Aplicación de la ficha de encuestas sobre el consumo de ají amarillo a los pobladores, en el marco del estudio del riesgo toxicológico por arsénico en el distrito de Ite.

Paso 5: selección, registro y etiquetado de muestras



IMAGEN 20. Muestras de ají amarillo seco provenientes de los diferentes sectores del distrito de Ite, preparadas para su pesaje y registro



IMAGEN 21. Muestras de ají amarillo seco provenientes de los diferentes sectores del distrito de Ite, preparadas para su pesaje y registro



IMAGEN 22. Registro de datos de las muestras de ají amarillo seco tras el proceso de pesaje, empleando controles digitales y fichas de registro para su codificación.



IMAGEN 22. Digitación y sistematización de la información correspondiente a las muestras de ají amarillo seco, empleando un registro digital para asegurar la trazabilidad y organización de los datos.



IMAGEN 23. Registro manual de datos correspondientes a las muestras de ají amarillo seco, asegurando la correcta codificación y trazabilidad previa a su sistematización digital.



IMAGEN 24. Colocación de las muestras de ají amarillo seco en el contenedor isotérmico rotulado para garantizar su conservación durante el traslado al laboratorio.



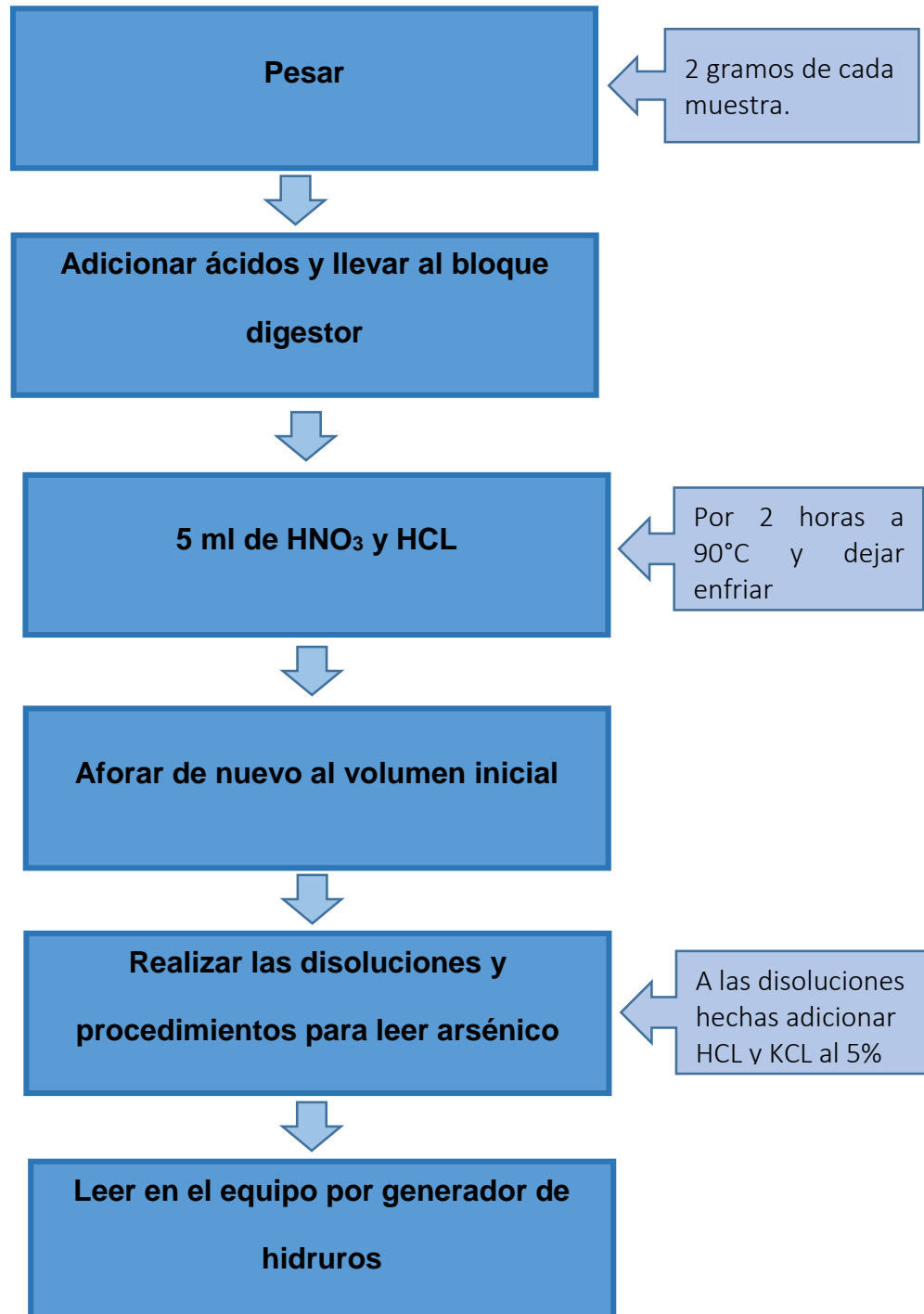
IMAGEN 25. Verificación y organización final de las muestras de ají amarillo seco antes de su envío al laboratorio.



IMAGEN 26. entrega de un contenedor rotulado como "*Muestras para análisis – No comercial*" en la entrada de un establecimiento.

Anexo 5

Flujograma del análisis de arsénico en ají amarillo seco.



Anexo 6

Flujograma del procedimiento de análisis de arsénico (As) por generación de hidruros

Paso 1. Digestión ácida de las muestras



Figura N°01. Digestión ácida en el equipo DigiPREP MS.- Proceso de digestión ácida de las muestras de ají amarillo mediante el equipo DigiPREP MS, utilizado para la mineralización de la matriz vegetal y la liberación del arsénico presente en la muestra.

Paso 2. Sistema de generación de hidruros



Figura N°02. Equipo de generación de hidruros acoplado al espectrofotómetro.

Vista del sistema generador de hidruros acoplado al espectrofotómetro, donde las soluciones digeridas son transformadas en hidruros volátiles para su posterior detección analítica.

Paso 3. Inyección y transporte de la muestra

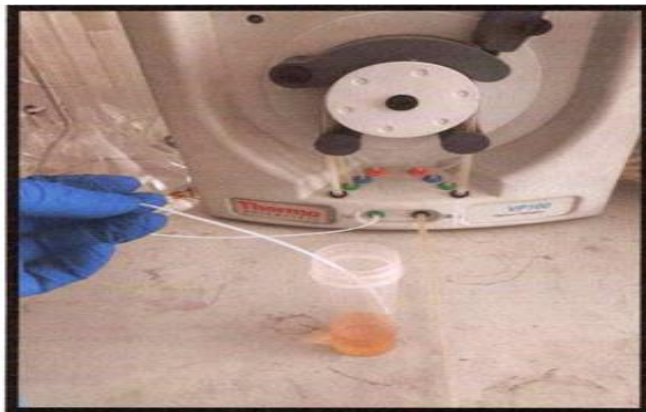


Figura N°03. Conexión de líneas de alimentación de la muestra hacia el módulo VP100.

Preparación y acoplamiento de las líneas de inyección que conducen la muestra digerida hacia el módulo generador de hidruros para su lectura instrumental.

Anexo 7

Tabla 16. Resultados de BHIOS Laboratorio sobre las concentraciones de arsénico identificadas en las muestras de ají amarillo del distrito de Ite, Tacna 2025.

| n | Muestra | Localidad | Arsénico (mg/kg) |
|----|---------|------------|------------------|
| 1 | NI-01 | NUEVO ITE | 0.62 |
| 2 | NI-02 | NUEVO ITE | 0.48 |
| 3 | NI-03 | NUEVO ITE | 0.41 |
| 4 | NI-04 | NUEVO ITE | 0.36 |
| 5 | NI-05 | NUEVO ITE | 0.5 |
| 6 | NI-06 | NUEVO ITE | 0.44 |
| 7 | NI-07 | NUEVO ITE | 0.2 |
| 8 | NI-08 | NUEVO ITE | 0.39 |
| 9 | NI-09 | NUEVO ITE | 0.27 |
| 10 | NI-10 | NUEVO ITE | 0.49 |
| 11 | NI-11 | NUEVO ITE | 0.69 |
| 12 | NI-12 | NUEVO ITE | 0.53 |
| 13 | TA-01 | TALAMOLLE | 0.33 |
| 14 | TA-02 | TALAMOLLE | 0.63 |
| 15 | TA-03 | TALAMOLLE | 0.49 |
| 16 | TA-04 | TALAMOLLE | 0.58 |
| 17 | TA-05 | TALAMOLLE | 0.4 |
| 18 | TA-06 | TALAMOLLE | 0.53 |
| 19 | TA-07 | TALAMOLLE | 0.5 |
| 20 | TA-08 | TALAMOLLE | 0.62 |
| 21 | TA-09 | TALAMOLLE | 0.56 |
| 22 | TA-10 | TALAMOLLE | 0.45 |
| 23 | TA-11 | TALAMOLLE | 0.58 |
| 24 | TA-12 | TALAMOLLE | 0.65 |
| 25 | TA-13 | TALAMOLLE | 0.44 |
| 26 | TA-14 | TALAMOLLE | 0.61 |
| 27 | LV-01 | LAS VILCAS | 0.5 |
| 28 | LV-02 | LAS VILCAS | 0.52 |
| 29 | LV-03 | LAS VILCAS | 0.55 |
| 30 | LV-04 | LAS VILCAS | 0.64 |
| 31 | LV-05 | LAS VILCAS | 0.52 |

| | | | |
|----|-------|------------|------|
| 32 | LV-06 | LAS VILCAS | 0.56 |
| 33 | LV-07 | LAS VILCAS | 0.64 |
| 34 | LV-08 | LAS VILCAS | 0.59 |
| 35 | LV-09 | LAS VILCAS | 0.61 |
| 36 | LV-10 | LAS VILCAS | 0.57 |
| 37 | LV-11 | LAS VILCAS | 0.64 |
| 38 | LV-12 | LAS VILCAS | 0.52 |
| 39 | LV-13 | LAS VILCAS | 0.56 |
| 40 | LV-14 | LAS VILCAS | 0.55 |
| 41 | LV-15 | LAS VILCAS | 0.56 |
| 42 | LV-16 | LAS VILCAS | 0.57 |
| 43 | CA-01 | CAMIARA | 0.67 |
| 44 | CA-02 | CAMIARA | 0.71 |
| 45 | CA-03 | CAMIARA | 0.74 |
| 46 | CA-04 | CAMIARA | 0.73 |
| 47 | CA-05 | CAMIARA | 0.73 |
| 48 | CA-06 | CAMIARA | 0.53 |
| 49 | CA-07 | CAMIARA | 0.28 |
| 50 | CA-08 | CAMIARA | 0.21 |
| 51 | CA-09 | CAMIARA | 0.81 |
| 52 | CA-10 | CAMIARA | 0.28 |
| 53 | CA-11 | CAMIARA | 0.31 |
| 54 | CA-12 | CAMIARA | 0.3 |
| 55 | CA-13 | CAMIARA | 0.35 |
| 56 | CA-14 | CAMIARA | 0.29 |
| 57 | CA-15 | CAMIARA | 0.12 |
| 58 | CA-16 | CAMIARA | 0.28 |
| 59 | CA-17 | CAMIARA | 0.34 |
| 60 | CA-18 | CAMIARA | 0.26 |
| 61 | CA-19 | CAMIARA | 0.24 |
| 62 | CA-20 | CAMIARA | 0.11 |
| 63 | CA-21 | CAMIARA | 0.85 |
| 64 | CA-22 | CAMIARA | 0.23 |
| 65 | CA-23 | CAMIARA | 0.34 |
| 66 | CA-24 | CAMIARA | 0.83 |
| 67 | CA-25 | CAMIARA | 0.34 |
| 68 | CA-26 | CAMIARA | 0.71 |

Fuente: Informe de Ensayos de BHIOS Laboratorio

Anexo 8

Validación de la Encuesta aplicada por juicio de expertos

Opciones de aplicabilidad: Aplicable (x) Aplicable con correcciones () No aplicable ()


observaciones: _____

Apellido y nombre de juez validador: Vizcarra Mamani Henry Jesús

DNI : 44000835

Formación académica : Ing. Agronomo

Especialidad del juez validador : Esp. en proyectos Agrícolas


HENRY JESÚS VIZCARRA MAMANI
INGENIERO AGRÓNOMO
CIP N° 365358

Firma y sello del juez validador

Criterios de evaluación:

- Claridad: si el ítem es comprensible y bien redactado.
- Pertinencia: si el ítem se relaciona directamente con el objetivo del estudio.
- Coherencia: si el ítem está correctamente formulado y estructurado en el contexto.
- Sugerencias: observaciones para mejorar redacción, enfoque o formato.

Escala: 1= deficiente | 2= regular | 3= bueno | 4 = excelente.

Opciones de aplicabilidad: Aplicable (X) Aplicable con correcciones () No aplicable ()

Observaciones: _____

Apellido y nombre de juez validador: Bellido Angulo, Luz Soos

DNI : 29570652

Formación académica : Química Farmacéutica

Especialidad del juez validador : Farmacéutica Hospitalaria


D.F. Luz Bellido Angulo
Hospital Tacna
Red Asistencial Tacna
E.A. Escalante

Firma y sello del juez validador

Criterios de evaluación:

- Claridad: si el ítem es comprensible y bien redactado.
- Pertinencia: si el ítem se relaciona directamente con el objetivo del estudio.
- Coherencia: si el ítem está correctamente formulado y estructurado en el contexto.
- Sugerencias: observaciones para mejorar redacción, enfoque o formato.

Escala: 1= deficiente | 2= regular | 3= bueno | 4 = excelente.

Opciones de aplicabilidad: Aplicable (x) Aplicable con correcciones () No aplicable ()

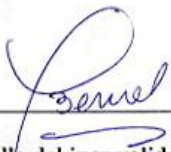
observaciones: Ninguna.

Apellido y nombre de juez validador: Berrios Espejo Jemili del Carmen

DNI : 00411194

Formación académica : Químico Farmacéutico

Especialidad del juez validador : Salud Pública


Firma y sello del juez validador

Criterios de evaluación:

- Claridad: si el ítem es comprensible y bien redactado.
- Pertinencia: si el ítem se relaciona directamente con el objetivo del estudio.
- Coherencia: si el ítem está correctamente formulado y estructurado en el contexto.
- Sugerencias: observaciones para mejorar redacción, enfoque o formato.

Escala: 1= deficiente | 2= regular | 3= bueno | 4 = excelente.

Anexo 9

Para calcular el riesgo no canceroso o cociente de riesgo (*Hazard Quotient* [HQ]):

1. Primero se calcula la Ingesta Diaria Estimada (IDE)

$$IDE = \frac{C \times IR}{BW}$$

Donde:

- C = Concentración de arsénico en ají amarillo: **0,49 mg/Kg**
(promedio de As de las muestras analizadas):
- IR = Ingesta diaria promedio de ají amarillo (kg/día): **0.013 Kg/día**
(para el poblador 1)
- BW = Peso corporal promedio del encuestado (kg): **69 Kg (para el poblador 1)**

Reemplazando y operando:

$$IDE = \frac{0,49 \frac{mg}{Kg} \times 0,013 \frac{Kg}{día}}{69 Kg} = 9,23 \times 10^{-5} \frac{mg}{Kg} día$$

2. Luego se calcula el cociente de riesgo

$$HQ = \frac{IDE}{RfD}$$

Donde:

- IDE = Ingesta diaria estimada: **9,23 x 10⁻⁵ mg/Kg·día para el poblador 1.**
- RfD (Dosis de referencia oral): Valor teórico **0,00006 mg/Kg·día** según lo establecido por la EPA de Estados Unidos, actualizado en enero 2025.

Reemplazando y operando:

$$HQ = \frac{9,23 \times 10^{-5} \frac{mg}{Kg} \cdot día}{0,00006 \frac{mg}{Kg} \cdot día} = 1,53 HQ$$

El cociente de riesgo de 1,53 indica que la exposición estimada a arsénico por el consumo de ají amarillo supera la dosis de referencia para efectos no cancerígenos para el **poblador 1**. Al ser un valor mayor que 1, sugiere la existencia de un riesgo potencial

para la salud asociado a la exposición crónica o al consumo habitual de este alimento.

Para el cálculo del riesgo canceroso (*Cancer Risk* [CR])

$$CR = IDE \times OSF$$

Donde:

- IDE = Ingesta diaria estimada: **$9,23 \times 10^{-5}$ mg/Kg-día para el poblador 1.**
- OSF = *Oral Slope Factor*. Valor teórico **32 (mg/Kg-día)⁻¹** según lo establecido por la EPA de Estados Unidos, actualizado en enero 2025.

Reemplazando y operando:

$$CR = 9,23 \times 10^{-5} \frac{mg}{Kg} \cdot día \times 32 \left(\frac{mg}{Kg} \cdot día \right)^{-1} = 0,00292$$

El valor de CR 0,00292 equivalente a $2,92 \times 10^{-3}$, indica un nivel de riesgo superior al rango de aceptabilidad internacional (10^{-6} – 10^{-4}). Este valor sugiere la existencia de un riesgo

cancerígeno potencialmente importante asociado a la exposición crónica evaluada para el **poblador 1**.

Estos cálculos se realizaron para el poblador 1. Para los 48 pobladores restantes, se siguió el mismo procedimiento, ajustando únicamente los valores correspondientes a la ingesta diaria promedio de ají amarillo (kg/día) y al peso corporal.