Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

Determinación de metales pesados y evaluación del riesgo potencial para la salud en quesos comercializados en la ciudad de Arequipa, 2025

Tesis presentada por:

Galvez Mendoza, Gabriela Isabel

ORCID: 0009-0003-0369-6373

para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico

Asesor:

Mg. Gonzales Condori, Elvis Gilmar

ORCID: 0000-0001-6804-5895

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FARMACIA Y BIOQUIMICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Julio del 2026

Dictamen: 014294-C-EPEyB-2026

Visto el borrador del expediente 014294, presentado por:

2019204462 - **GALVEZ MENDOZA GABRIELA ISABEL**

Titulado:

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD EN QUESOS COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

QUÍMICO FARMACÉUTICO

29213630 - **CARDENAS GARCIA JAIME DANTE**
DICTAMINADOR

29440909 - **MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS**
DICTAMINADOR

45482246 - **ORTIZ ROMERO DERLY DAVID**
DICTAMINADOR

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD EN QUESOS COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	16%	11%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad del Valle de Guatemala Trabajo del estudiante	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	revistamvz.unicordoba.edu.co Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
7	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Trabajo del estudiante	<1%
9	hwbdocs.env.nm.gov Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%
11	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	Jaudenes Marrero, Juan Ramon. "Estudio de la ingesta dietetica de fluoruro en la poblacion Canaria", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2022 Publicación	<1%
13	Submitted to Universidad Católica de Colombia Trabajo del estudiante	<1%
14	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza necesaria en los momentos de cansancio y duda, y por acompañarme en cada paso de este largo camino hacia mi formación profesional.

A mis padres, Ricardo y Valeria, quienes son el pilar fundamental de este logro. Gracias por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible. Este logro también les pertenece.

A mi hermana Cristina, quien es una de mis mayores motivaciones. Como hermana mayor, espero que este esfuerzo y este logro le sirvan de ejemplo para que nunca deje de creer en sí misma y en que los sueños se alcanzan con perseverancia, disciplina y amor.

A mis abuelos, por su cariño, consejos y presencia constante a lo largo de mi vida. Su apoyo y sus enseñanzas han sido una fuente permanente de fortaleza y motivación para seguir adelante.

A todos los mentores que fueron partícipes de este logro, gracias por sus enseñanzas en las aulas y por cada lección aprendida, pues hoy todo ese conocimiento ha dado su fruto.

A todas las personas que estuvieron presentes durante este proceso, brindándome apoyo, palabras de aliento y confianza. Cada uno de ustedes forma parte de este logro.

Finalmente, gracias a mis padres por sus constantes palabras y enseñanzas, en especial por recordarme siempre que “ponga a Dios en mis metas y Dios se encargará de todo”, y por enseñarme que cada esfuerzo tiene su sacrificio, pero también su recompensa.

Agradecimientos

Expreso mi profundo agradecimiento al Mg. Elvis, quien fue mi asesor de tesis, por su orientación, apoyo constante y valiosos aportes durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, los cuales fueron fundamentales para su correcta ejecución y culminación.

Asimismo, agradezco de manera especial a la Mg. Jeaneth, por su apoyo y disposición en el uso y manejo de los equipos durante la realización del trabajo experimental, así como por los conocimientos y recomendaciones brindadas, que contribuyeron significativamente al desarrollo de esta investigación.

A mis docentes, por su dedicación y por la transmisión constante de conocimientos y valores a lo largo de mi formación universitaria, los cuales contribuyeron de manera significativa a mi desarrollo académico y profesional.

A mis compañeros y amigos de estudio, por el acompañamiento, el apoyo mutuo y las experiencias compartidas durante todos los años de carrera. Cada aprendizaje, reto y momento vivido, dentro y fuera de la universidad, formaron parte esencial de este proceso.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de metales de interés toxicológico y evaluar el riesgo para la salud asociado al consumo de quesos artesanales e industriales comercializados en la ciudad de Arequipa durante el año 2025. Se analizaron 40 muestras de queso mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), las cuales fueron caracterizadas mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Asimismo, el riesgo para la salud se evaluó mediante el cálculo de la ingesta diaria estimada (EDI), el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el índice de peligrosidad (HI).

Los resultados evidenciaron concentraciones medias de aluminio (6.06 mg/kg), cobre (3.87 mg/kg), plomo (0.10 mg/kg) y zinc (35.66 mg/kg), con valores máximos de 226.67 mg/kg, 19.00 mg/kg, 1.10 mg/kg y 68.93 mg/kg, respectivamente. Además, algunos metales, entre ellos aluminio, cobre, cromo, estroncio, mercurio, molibdeno y plomo, presentaron concentraciones superiores a los valores de referencia establecidos. El análisis FTIR confirmó la presencia de grupos funcionales asociados a proteínas, lípidos y carbohidratos característicos de la matriz láctea.

La evaluación del riesgo mostró un valor máximo de THQ de 1.964×10^{-3} y un índice de peligrosidad (HI) máximo de 3.744×10^{-3}, ambos inferiores a 1, lo que indica la ausencia de un riesgo no carcinogénico significativo para la población consumidora. En conclusión, aunque algunas muestras presentaron concentraciones elevadas de determinados metales respecto a los valores de referencia, los niveles detectados no representan un riesgo no carcinogénico significativo bajo las condiciones evaluadas. Se recomienda fortalecer la vigilancia sanitaria y el monitoreo continuo de contaminantes metálicos en productos lácteos comercializados en la región.

Palabras Claves: *Queso, metales pesados, evaluación de riesgo*.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the concentration of toxicologically relevant metals and to evaluate the health risk associated with the consumption of artisanal and industrial cheeses commercialized in the city of Arequipa during 2025. A total of 40 cheese samples were analyzed using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) and subsequently characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Health risk assessment was performed by calculating the Estimated Daily Intake (EDI), Target Hazard Quotient (THQ), and Hazard Index (HI).

The results showed mean concentrations of aluminum (6.06 mg/kg), copper (3.87 mg/kg), lead (0.10 mg/kg), and zinc (35.66 mg/kg), with maximum values of 226.67 mg/kg, 19.00 mg/kg, 1.10 mg/kg, and 68.93 mg/kg, respectively. In addition, aluminum, copper, chromium, strontium, mercury, molybdenum, and lead exceeded the established reference values. FTIR analysis confirmed the presence of functional groups associated with proteins, lipids, and carbohydrates, which are characteristic components of the dairy matrix.

The health risk assessment yielded a maximum THQ value of 1.964×10^{-3} and a maximum HI value of 3.744×10^{-3}, both below 1, indicating the absence of significant non-carcinogenic health risk for consumers. In conclusion, although some samples exhibited elevated concentrations of certain metals compared with the established reference values, the detected levels do not represent a significant non-carcinogenic health risk under the evaluated conditions. Continuous sanitary surveillance and monitoring of metallic contaminants in dairy products commercialized in the region are recommended.

Keywords: *Cheese, heavy metals, risk assessment*..

ÍNDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN 1
HIPOTESIS 3
OBJETIVOS 4
OBJETIVO GENERAL 4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
CAPÍTULO I 5
1.MARCO TEÓRICO 6
1.1.QUESO: COMPOSICIÓN Y FACTORES DE CALIDAD 6
1.2.METALES PESADOS EN QUESOS 7
1.2.1.Arsénico 7
1.2.2.Cadmio 7
1.2.3.Cromo 7
1.2.4.Plomo 7
1.2.5.Otros metales de interés (Zn, Cu, Ni, Hg) 8
1.3.RIESGOS PARA LA SALUD ASOCIADOS A METALES PESADOS 8
1.4.CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y PRODUCTOS LÁCTEOS 9
1.5.MÉTODOS ANALÍTICOS APLICADOS AL ANÁLISIS DE QUESOS 10
1.5.1. Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP- MS) 10
1.5.2.Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) 14
1.6. NORMATIVAS INTERNACIONALES SOBRE METALES EN ALIMENTOS 19

1.6.1. FAO 19
1.6.2. OMS 19
1.6.3. Codex Alimentarius 20
CAPITULO II 22
2.MATERIALES Y METODOS 22
2.1. CAMPO DE VERIFICACIÓN 23
2.1.1. LUGAR DE ESTUDIO 23
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 23
2.2.1. POBLACIÓN 23
2.2.2.MUESTRA 23
2.3.PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES 24
2.3.1.Recolección de muestras 24
2.4.CODIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS 25
2.5.PREPARACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE MUESTRAS 34
2.5.1.Acondicionamiento del equipo MARS 6 34
2.5.2.Estandarización de la digestión ácida en MARS 6 35
2.5.3.Conservación de muestras digeridas……
36
2.6.ACONDICIONAMIENTO Y OBTENCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO ULTRAPURO 37
2.7.ANÁLISIS DE METALES PESADOS POR ICP-MS 39
2.8.CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS POR FTIR 40
2.9.EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO (EDI, THQ, HI) 42
2.9.1.Ingesta Diaria Estimada (EDI) 42
2.9.2.Cociente de riesgo objetivo (THQ) 43
2.9.3.Índice de Peligrosidad (HI) 44

2.10.TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS 45
CAPITULO III 47
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN 47
3.1.RECOLECCIÓN Y PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS 47
3.2.RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE ICP-MS 47
3.3.RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN MOLECULAR DE LOS QUESOS MEDIANTE ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR). 51
3.4.RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN CON LÍMITES INTERNACIONALES 54
3.5.EVALUACIÓN DEL RIESGO NO CARCINOGÉNICO ASOCIADO AL CONSUMO DE QUESO (THQ, HQ). 59
3.6.DISCUSIÓN DE RESULTADOS 74
3.6.1.Comparación con estudios andinos y nacionales 74
3.6.2.Evaluación toxicológica y riesgo 75
CAPITULO IV 78
CONCLUSIONES 79
RECOMENDACIONES 81
REFERENCIAS 82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión de estudios con FTIR en quesos (I) 16

Tabla 2. Revisión de estudios con FTIR en quesos (II) 17

Tabla 3. Revisión de estudios con FTIR en quesos. (III) 18

Tabla 4. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M001-M004) 26

Tabla 5. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M005-M013) 27

Tabla 6. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa (M014-M023) 28

Tabla 7. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M024-033) 29

Tabla 8. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M034-M040) 30

Tabla 9.Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en Arequipa ... 31

Tabla 10. Distribución de las muestras de queso recolectadas en Arequipa según tipo de queso. 33

Tabla 11. Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de queso analizadas por ICP-MS (M1–M13). 48

Tabla 12. Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de queso analizadas por ICP-MS (M14–M26). 49

Tabla 13. Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de queso analizadas por ICP-MS (M27–M40). 50

Tabla 14 Comparación entre concentraciones medias de metales totales y límites normativos internacionales. 56
Tabla 15. Comparación entre concentraciones medias de metales totales y límites normativos internacionales. 57
Tabla 16. Comparación entre concentraciones medias de metales totales y límites normativos internacionales. 58
Tabla 17. Evaluación de riesgo toxicológico por ingesta de metales (valores promedio. EDI y THQ).(I) 59
Tabla 18. Evaluación de riesgo toxicológico por ingesta de metales (valores promedio. EDI y THQ).(II) 60
Tabla 19. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (1-10). 64
Tabla 20. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (11-20). 65
Tabla 21. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (21-30). 66
Tabla 22. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (31-40). 67
Tabla 23. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (1-10). 69
Tabla 24. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (11-20). 70
Tabla 25. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (21-30). 71
Tabla 26. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (31-40) 72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio de funcionamiento del ICP-MS 11

Figura 2. Espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). 15

Figura 3. Puesto de venta representativo de recolección de quesos en la ciudad de Arequipa. 25

Figura 4. Rótulo de codificación empleada para la Identificación de las muestras de queso. 30

Figura 5. Mapa de procedencia de las muestras de queso recolectadas en la región Arequipa y otras zonas del Perú. 32

Figura 6. Equipo MARS 6 y sus componentes principales utilizados en el acondicionamiento y digestión de muestras de queso. 34

Figura 7. Distribución de vasos digestores durante la estandarización del método de digestión en el sistema MARS 6. 36

Figura 8. Soluciones digeridas de queso tras el proceso de digestión ácida con HNO_3 y H_2O_2. 36

Figura 9. Tubos Falcon de 50 mL empleados para el almacenamiento de las muestras digeridas. 37

Figura 10.Sistema Savillex DST-1000 y sus componentes principales empleados en la purificación de ácido nítrico grado traza. 38

Figura 11. Preparación de la muestra de queso para análisis FTIR. 41

Figura 12. Equipo FTIR utilizado para la caracterización de quesos. 41

Figura 13.Ejemplo de la muestra de queso recolectado. 47

Figura 14.Espectro FTIR representativo de queso artesanal obtenido en el rango de 4000-600 cm^{-1}. Se observan bandas características asociadas a agua, lípidos, proteínas y carbohidratos. 51

Figura 15. Espectro FTIR representativo de queso industrial obtenido en el rango de 4000-600 cm^{-1}. Se observan bandas características asociadas a agua, lípidos, proteínas y carbohidratos. 53

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección en Mercado San Camilo; B. Recolección en Feria. 87

Anexo 2.Codificación y registro fotográfico de las muestras de queso. 87

Anexo 3.Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa. 97

Anexo 4. Proceso de trituración de las muestras de queso con mortero y pistilo. 97

Anexo 5.A. Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa. .. 98

Anexo 5.B. Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa. ...99

Anexo 5.C. Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa. 100

Anexo 6.A. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 101

Anexo 6.B. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 102

Anexo 6.C. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 103

Anexo 6.D. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 104

Anexo 6.E. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 105

Anexo 6.F. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 106

Anexo 6.G. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 107

Anexo 6.H. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS). 108

Anexo 7.A. Espectros FTIR de quesos (muestras 1–10)…….. 108

Anexo 7.B. Espectros FTIR de quesos (muestras 11–20)…….……...…… 108

Anexo 7.C. Espectros FTIR de quesos (muestras 21–30)……...…….. 109

Anexo 7.D. Espectros FTIR de quesos (muestras 31–40)……...…...…….. 109

Anexo 8. Cálculos de la evaluación del riesgo toxicológico……..110

LISTA DE ABREVIATURAS

Ag: Plata
Al: Aluminio
As: Arsénico
B: Boro
Ba: Bario
Cd: Cadmio
Cr: Cromo
Cu: Cobre
Fe: Hierro
Hg: Mercurio
Li: Litio
Mn: Manganeso
Mo: Molibdeno
Ni: Níquel
Pb: Plomo
Se: Selenio
Sn: Estaño
Sr: Estroncio
Ti: Titanio
U: Uranio
V: Vanadio
Zn: Zinc
EDI: Ingesta diaria estimada (Estimated Daily Intake)
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FTIR: Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier
HI: Índice de peligro (Hazard Index)
ICP-MS: Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente
OMS: Organización Mundial de la Salud
RfD: Dosis de referencia (Reference Dose)
THQ: Cociente de riesgo objetivo (Target hazard

INTRODUCCIÓN

La industria láctea representa una de las actividades agroindustriales más importantes a nivel mundial, tanto por su impacto económico como por su contribución a la seguridad alimentaria y nutricional. Entre los productos derivados de la leche, el queso destaca por su alto valor nutricional, su vida útil relativamente prolongada y su diversidad en formas, texturas y sabores (1).

En el Perú, el queso constituye un alimento fundamental en la dieta de diversas regiones y se produce tanto de manera artesanal como industrial. Su elaboración se concentra principalmente en zonas con tradición ganadera como Puno, Cajamarca, Ayacucho, Arequipa y Junín. En particular, Arequipa destaca por su alta producción y comercialización de quesos, actividad que se desarrolla principalmente a través de mercados locales, ferias agropecuarias y pequeñas plantas procesadoras (2).

Sin embargo, a pesar de su valor nutricional, la inocuidad del queso puede verse comprometida por la presencia de metales pesados, los cuales pueden incorporarse en distintas etapas de la cadena de producción debido a la contaminación del suelo, el agua, los forrajes o el uso de utensilios inadecuados. Diversos estudios han reportado la presencia de estos contaminantes en productos lácteos a nivel internacional, evidenciando concentraciones variables que justifican la necesidad de monitoreo continuo (3).

En el contexto nacional, diversos estudios han reportado la presencia de metales pesados, como plomo y cadmio, en leche y productos lácteos, principalmente en zonas influenciadas por actividades mineras, lo que evidencia la necesidad de fortalecer el monitoreo de estos contaminantes y evaluar su posible presencia en productos derivados como el queso. Asimismo, estudios en productos lácteos han evidenciado la presencia de contaminantes por

encima de los valores de referencia**,** lo que genera preocupación por sus posibles efectos adversos sobre la salud pública y resalta la necesidad de fortalecer las estrategias de vigilancia y control de la inocuidad alimentaria (4).

La exposición a metales pesados puede provocar efectos adversos en la salud humana. Entre ellos, el plomo se asocia con daño neurológico y alteraciones del desarrollo; el cadmio con daño renal y óseo; el arsénico con efectos carcinogénicos; y el mercurio con alteraciones neurológicas severas. Además, metales esenciales como el cobre y el zinc pueden resultar tóxicos cuando se encuentran en concentraciones elevadas. Estos efectos se ven intensificados por el carácter bioacumulativo y persistente de estos elementos (5).

Para evaluar el riesgo asociado al consumo de metales pesados en alimentos, se emplean herramientas toxicológicas como la ingesta diaria estimada (EDI), el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el índice de peligrosidad (HI), las cuales permiten estimar la exposición del consumidor y compararla con niveles considerados seguros según organismos internacionales como la OMS y la US-EPA.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo determinar la concentración de metales pesados en quesos comercializados en la ciudad de Arequipa y evaluar el riesgo potencial para la salud asociado a su consumo. Para ello, se emplearon técnicas instrumentales como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Los resultados obtenidos permitirán generar evidencia científica relevante para la vigilancia de la inocuidad de los productos lácteos, contribuyendo a la protección del consumidor y al fortalecimiento de los estándares sanitarios.

HIPOTESIS

Dado que los quesos pueden incorporar metales provenientes del ambiente, la alimentación animal y los procesos de elaboración, es probable que los quesos comercializados en la ciudad de Arequipa presenten concentraciones detectables de metales de interés toxicológico que puedan ser cuantificadas y evaluadas en términos de riesgo para la salud.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de metales pesados y evaluar el riesgo potencial para la salud humana asociado al consumo de quesos comercializados en la ciudad de Arequipa, 2025.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar la concentración de metales pesados presentes en las muestras mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).
2. Caracterizar los grupos funcionales presentes en los quesos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).
3. Comparar las concentraciones obtenidas con los valores de referencia establecidos por organismos y normas internacionales, como el Codex Alimentarius y otras referencias internacionales aplicables.
4. Estimar el riesgo potencial para la salud asociado al consumo de quesos contaminados mediante el cálculo de índices toxicológicos (EDI, THQ e HI).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1.QUESO: COMPOSICIÓN Y FACTORES DE CALIDAD

El queso es un alimento con una composición nutricional variada que incluye principalmente agua, proteínas, grasas, minerales y cantidades menores de carbohidratos y vitaminas (6). Su contenido de agua depende del tipo de queso, siendo más alto en quesos frescos y menor en los curados. Además, el queso es una fuente importante de minerales, especialmente calcio, y contiene pequeñas cantidades de vitaminas liposolubles como la A, D y B12. Los carbohidratos, principalmente lactosa, se encuentran en bajas concentraciones, especialmente en los quesos curados, donde la lactosa se elimina en gran parte durante el proceso de coagulación. Finalmente, el queso curado también tiene un mayor contenido de sodio (Na) debido a la sal utilizada durante la maduración (6).

La calidad del queso se refiere al conjunto de características que determinan su aceptabilidad, valor y seguridad para el consumidor. Esto incluye propiedades sensoriales como el sabor, la textura, el color y el aroma, así como aspectos nutricionales, microbiológicos y de seguridad alimentaria. La calidad es fundamental en la producción de queso, ya que permite satisfacer las expectativas del consumidor y asegurar la competitividad del producto en el mercado (7). Cada tipo de queso tiene estándares específicos de calidad, definidos por normativas y reglamentaciones nacionales e internacionales, que establecen los parámetros óptimos para su elaboración y comercialización (8).

1.2.METALES PESADOS EN QUESOS

1.2.1.Arsénico

El arsénico (As) es un metaloide que se encuentra en diferentes formas químicas, principalmente en sus estados de oxidación (arsenito, As^{3+}) **y** (arseniato, As^{5+})**.** La forma trivalente es generalmente más tóxica que la pentavalente debido a su mayor afinidad por los grupos sulfhidrilo de las proteínas. Es incoloro, insípido y sus compuestos inorgánicos son altamente solubles en agua, lo que facilita su movilidad en el medio ambiente y su presencia en diversas fuentes de contaminación (9) .

1.2.2. Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado de color plateado que se presenta principalmente en el estado de oxidación (Cd^{2+})**,** el cual es la forma más estable en el ambiente. Posee una elevada persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación en los organismos vivos. Además, puede desplazarse en el suelo y el agua, favoreciendo su absorción por plantas y animales (10).

1.2.3.Cromo

El cromo (Cr) es un elemento metálico que existe en varias formas, siendo las más comunes el cromo trivalente (Cr^{3+}), que es esencial para la nutrición, y el cromo hexavalente, que es tóxico. El cromo hexavalente (Cr^{6+}) es altamente soluble en agua y puede penetrar en los organismos vivos con facilidad, causando efectos adversos (11).

1.2.4. Plomo

El plomo (Pb) es un metal pesado que presenta principalmente los estados de oxidación (Pb^{2+}) **y** (Pb^{4+})**,** siendo el estado Pb^{2+} el más estable y frecuente en el ambiente. Se caracteriza por su alta densidad, ductilidad y resistencia a la corrosión. Aunque es poco soluble en agua, puede adherirse fácilmente a partículas del suelo y bioacumularse en los tejidos de los organismos vivos (12).

1.2.5. Otros metales de interés (Zn, Cu, Ni, Hg)

El zinc (Zn) se encuentra principalmente en el estado de oxidación (Zn^{2+}) y el cobre (Cu) en los estados (Cu^{+}) y (Cu^{2+}). Ambos son elementos traza esenciales para el organismo humano, ya que participan en numerosos procesos enzimáticos y fisiológicos; sin embargo, concentraciones elevadas pueden generar efectos adversos, como alteraciones gastrointestinales y estrés oxidativo (13) .

El níquel (Ni) se presenta predominantemente en el estado de oxidación (Ni^{2+}), mientras que el mercurio (Hg) puede encontrarse en los estados (Hg^{0}), (Hg_2^{2+}) y (Hg^{2+}), siendo este último el más frecuente en compuestos inorgánicos. Ambos son considerados metales potencialmente tóxicos. El níquel puede provocar reacciones alérgicas y efectos carcinogénicos tras exposiciones prolongadas, mientras que el mercurio representa uno de los contaminantes más peligrosos debido a su capacidad de bioacumularse y a sus efectos neurotóxicos (14) .

En productos lácteos como el queso, la presencia de estos metales puede originarse por contaminación durante la ordeña, el procesamiento o el contacto con utensilios metálicos. Por ello, su monitoreo es esencial para garantizar la inocuidad del producto (15).

1.3.RIESGOS PARA LA SALUD ASOCIADOS A METALES PESADOS

Los metales pesados constituyen uno de los principales contaminantes químicos en los alimentos debido a su persistencia en el ambiente, capacidad de bioacumulación y potencial toxicidad incluso a bajas concentraciones. La exposición crónica a estos elementos puede provocar alteraciones en diversos sistemas del organismo, dependiendo del tipo de metal, su concentración y tiempo de exposición (16). El plomo (Pb) y el cadmio (Cd) son considerados altamente tóxicos y carecen de funciones biológicas conocidas. El Pb afecta el sistema

nervioso, renal y hematopoyético, especialmente en niños, mientras que el Cd se acumula en riñones e hígado, ocasionando disfunciones renales y alteraciones óseas. El arsénico (As) y el cromo (Cr), en sus formas inorgánicas, presentan efectos carcinogénicos y mutagénicos reconocidos (17). Por otro lado, algunos elementos como el cobre (Cu), zinc (Zn), Hierro (Fe) y manganeso (Mn) son esenciales para el metabolismo humano, pero su exceso puede generar toxicidad hepática, neurológica o gastrointestinal. Metales como el níquel (Ni) y el mercurio (Hg), aun en pequeñas cantidades, representan riesgos para la salud debido a su potencial alergénico y neurotóxico, respectivamente (18).

El consumo prolongado de alimentos contaminados con metales pesados puede ocasionar efectos crónicos que se manifiestan de forma lenta y acumulativa.

1.4.CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y PRODUCTOS LÁCTEOS

La contaminación ambiental constituye una de las principales fuentes de introducción de metales pesados en la cadena alimentaria. Factores como la actividad industrial, el uso de fertilizantes y plaguicidas, la contaminación del agua y del suelo, así como las emisiones atmosféricas, contribuyen a la acumulación de estos elementos en los ecosistemas agrícolas y ganaderos. En el caso de los productos lácteos, la transferencia de metales pesados puede producirse a través del forraje contaminado, el agua de bebida del ganado, o por contacto con superficies y equipos metálicos durante la ordeña y el procesamiento. Los animales pueden acumular los metales en tejidos y fluidos biológicos, siendo la leche uno de los principales medios de excreción (13). Posteriormente, estos metales pueden concentrarse en derivados lácteos como el queso, debido a su alto contenido de proteínas y grasas que favorecen la fijación de elementos traza Diversos estudios han reportado concentraciones detectables de plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), cobre (Cu), zinc (Zn) y Hierro (Fe) en quesos

artesanales e industriales, lo que evidencia la necesidad de monitorear permanentemente la calidad e inocuidad de estos productos (13).

En regiones con intensa actividad agroindustrial, minera o urbana, como Arequipa, el riesgo de contaminación ambiental es mayor, por lo que resulta esencial establecer estrategias de control y evaluación toxicológica para garantizar la seguridad del consumidor (19).

1.5.MÉTODOS ANALÍTICOS APLICADOS AL ANÁLISIS DE QUESOS

1.5.1. Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP- MS)

La espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) es una técnica analítica multielemental de alta sensibilidad que permite la determinación y cuantificación de la mayoría de los elementos de la tabla periódica en concentraciones que van desde niveles de porcentaje hasta trazas del orden de ppb (µg/L) e incluso ppt (ng/L) (20). La técnica combina una fuente de ionización por plasma de argón acoplado inductivamente con un espectrómetro de masas para la separación y detección de los iones según su relación masa/carga (m/z).

Durante el análisis, la muestra líquida es nebulizada e introducida en el plasma, donde las altas temperaturas (6000–10000 K) provocan procesos de solvatación, vaporización, atomización e ionización de los elementos presentes. Los iones generados son transportados al espectrómetro de masas, donde son separados y cuantificados de acuerdo con su relación masa/carga, produciendo una señal proporcional a la concentración del elemento en la muestra (21).

El ICP-MS es ampliamente utilizado para el análisis de muestras ambientales, alimentarias, biológicas, geológicas y clínicas debido a su elevada sensibilidad, precisión y capacidad de análisis multielemental. Para su determinación, las muestras suelen someterse previamente a procesos de digestión ácida por vía húmeda, empleando mezclas de ácidos y sistemas de calentamiento o microondas que permiten la completa solubilización de la matriz analizada

(22)

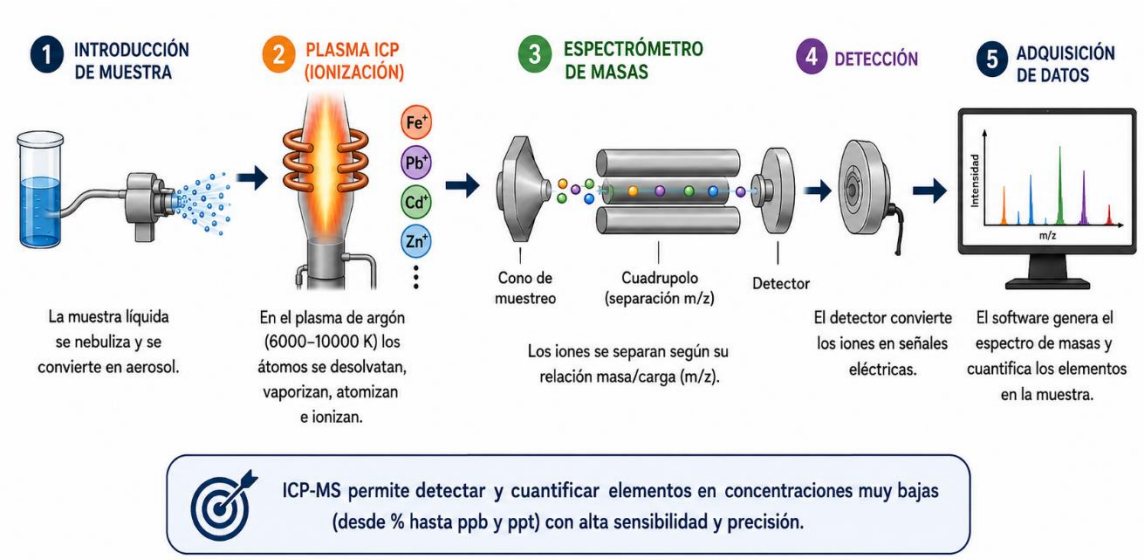


Figura 1. Principio de funcionamiento del ICP-MS

1.5.1.1.Fundamento

La espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) es una técnica analítica de alta sensibilidad utilizada para la detección y cuantificación de elementos químicos, incluidos metales pesados, en diversas matrices. Su principio se basa en la ionización de los átomos presentes en la muestra mediante un plasma de argón generado por inducción electromagnética a altas temperaturas. Los iones producidos son extraídos y dirigidos hacia un espectrómetro de masas, donde se separan según su relación masa/carga (m/z) y posteriormente son detectados y cuantificados. La intensidad de la señal obtenida es proporcional a la concentración del elemento presente en la muestra, permitiendo su determinación con alta precisión y sensibilidad (23).La cuantificación de los elementos se realiza mediante una curva de calibración obtenida a partir de soluciones patrón de concentración conocida (24). La

relación entre la intensidad de la señal instrumental y la concentración del analito se expresa mediante la siguiente fórmula **(Fórmula 1).**

$$y = a + bx \qquad (1)$$

Donde:

- y : representa la intensidad de la señal analítica registrada por el detector, expresada generalmente en cuentas por segundo (counts per second, CPS)
- b: es la pendiente de la curva de calibración, que representa la sensibilidad del método
- x: corresponde a la concentración del analito.
- a: es el intercepto de la recta, correspondiente a la respuesta instrumental cuando la concentración del analito es igual a cero.

A partir de esta relación, el software del ICP-MS determina automáticamente la concentración del elemento presente en la muestra mediante el despeje de la variable x **(Fórmula 2).**

$$x = \frac{y - a}{b} \qquad (2)$$

1.5.1.2. Componentes

El sistema ICP-MS está constituido por los siguientes componentes principales:

•Nebulizador: Convierte la muestra líquida en un aerosol fino que es transportado hacia el plasma mediante un flujo de argón.

•Antorcha de plasma: Dispositivo donde se genera y mantiene el plasma de argón a temperaturas que pueden superar los 6000 K, favoreciendo la atomización e ionización de los elementos presentes en la muestra.

•Interfaz de extracción iónica: Formada por conos metálicos (cono de muestreo y cono skimmer) que permiten transferir los iones desde el plasma hacia el sistema de vacío del espectrómetro.

•Analizador de masas: Separa los iones de acuerdo con su relación masa/carga (m/z), permitiendo la identificación de los diferentes elementos presentes en la muestra.

•Detector: Registra los iones separados por el analizador de masas y transforma la señal en datos cuantificables.

•Sistema de control y procesamiento de datos: Controla el funcionamiento del equipo y procesa la información obtenida para generar los resultados analíticos (21).

1.5.1.3. La validación y calibración del método

La calibración y validación del método ICP-MS son etapas fundamentales para garantizar la confiabilidad de los resultados analíticos. La calibración se realiza mediante soluciones patrón de concentración conocida, a partir de las cuales se construye una curva de calibración lineal que relaciona la intensidad de la señal analítica con la concentración de cada elemento, permitiendo la cuantificación de los analitos presentes en las muestras (25).

Por su parte, la validación del método tiene como finalidad demostrar que el procedimiento analítico es adecuado para el propósito previsto. Para ello, se evalúan parámetros de desempeño como la linealidad, que verifica la existencia de una relación lineal entre la señal instrumental y la concentración del analito; la exactitud, que determina la proximidad entre el valor obtenido y el valor verdadero o de referencia; la precisión, que evalúa la reproducibilidad de los resultados mediante análisis repetidos; la sensibilidad, que corresponde a la capacidad del método para detectar pequeñas variaciones en la concentración del analito; el límite de

detección (LD), definido como la menor concentración que puede detectarse, aunque no necesariamente cuantificarse con exactitud; y el límite de cuantificación (LC), que corresponde a la menor concentración que puede cuantificarse con precisión y exactitud aceptables (26) . En el presente estudio, las determinaciones fueron realizadas por el laboratorio CERPER, empleando métodos analíticos previamente validados y procedimientos de aseguramiento de la calidad, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos para el análisis de metales en las muestras de queso.

1.5.2.Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica analítica instrumental empleada para la identificación y caracterización de compuestos químicos, basada en la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas de una muestra. Esta técnica permite identificar los grupos funcionales presentes mediante el análisis de los espectros de absorción infrarroja, los cuales son característicos de cada sustancia (27).

1.5.2.1. Fundamento de la técnica FTIR

El fundamento de la espectroscopía FTIR se basa en la capacidad de las moléculas para absorber radiación infrarroja a frecuencias específicas, lo que provoca vibraciones moleculares de estiramiento y flexión en los enlaces químicos. Estas vibraciones dependen de la naturaleza del enlace y de la estructura molecular, generando un patrón de absorción único que actúa como una huella espectral del compuesto analizado (27).

A diferencia de los métodos infrarrojos convencionales, la FTIR permite registrar simultáneamente todas las frecuencias del espectro infrarrojo. La señal obtenida se transforma matemáticamente mediante la transformada de Fourier, obteniéndose un espectro de absorbancia o transmitancia en función del número de onda (cm^{-1}).

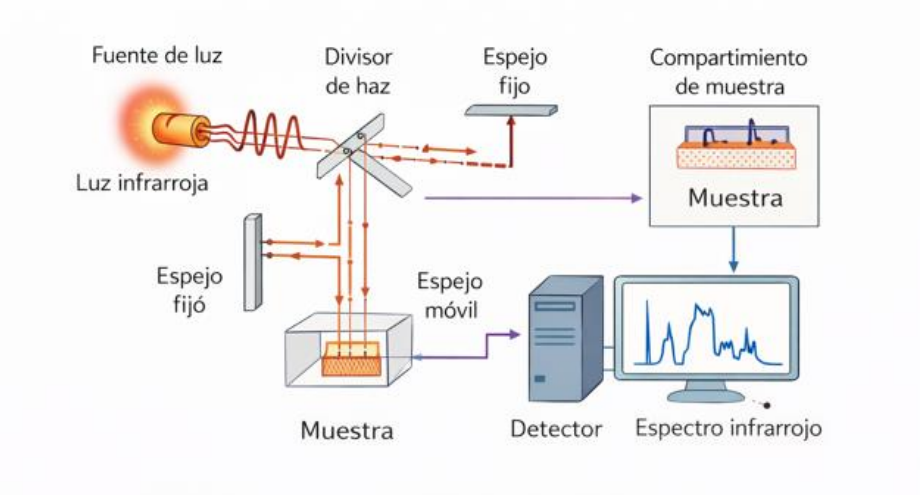


Figura 2. Espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).

1.5.3. Componentes principales del espectrómetro FTIR

Un espectrómetro FTIR está compuesto por una fuente de radiación infrarroja, un interferómetro generalmente de Michelson, un compartimento para la muestra, un detector y un sistema computarizado. La fuente emite radiación infrarroja que es modulada por el interferómetro, produciendo un interferograma. Esta radiación interactúa con la muestra, donde se absorben determinadas frecuencias, y posteriormente es detectada y procesada por el software del equipo para generar el espectro infrarrojo final (28).

1.5.2.3. Revisión de estudios con FTIR en quesos

Tabla 1. Revisión de estudios con FTIR en quesos (I)

Referencias	Grupo	Número de onda (Cm^{-1})	Vibración	Interpretación
(29)	O-H	3770 – 3048	Vibraciones de estiramiento	Humedad
	N-H	3330-3060	Vibraciones de estiramiento	
	C-H	2900	Vibraciones de estiramiento	Ácidos grasos
	C=O	1740-1669		Ácidos grasos
	$R-NH_2$ y R_2NH	1770-1479		Proteínas
	R-COOR' y cadenas alifáticas	1361-1199		Ácidos grasos
	C-C y C=O	1185-1153		
	$R-NH_2$ y R_2NH	1700-1500		
(30)		1 765 -1 730 y 3 000 – 2 800		Lípidos
		3 700 – 3 000 y 1 700 -1 600		Agua
(31)	O-H	3 743 – 3 842	Vibraciones de estiramiento	

Tabla 2. Revisión de estudios con FTIR en quesos (II)

Referencias	Grupo	Número de onda (Cm^{-1})	Vibración	Interpretación
(32)		3000-2800		Grasa
		1800-1000		Proteína
	C-H	3000-2800	Vibración de Estiramiento	
	C=O	1740	Vibraciones de estiramiento	
	$R\text{-}NH_2$	1640		
	R_2NH	1540		
	C-H		Vibraciones de flexión	lípidos, ácidos orgánicos, aminoácidos y derivados de carbohidratos
	C-O-H	1800-1900	Vibraciones de flexión	
	C-O		Vibraciones de estiramiento	
	NH_2	1650-1540		
(33)		1765-1730		Lípidos
		3000-2800		
		3700-3000		Absorción del agua
		1700-1600		
	C-O	1175	Vibraciones de estiramiento	
	C=O	1750		
	C-H	3000 – 2800	Vibraciones de estiramiento	

Tabla 3. Revisión de estudios con FTIR en quesos. (III)

Referencias	Grupo	Número de onda (Cm^{-1})	Vibración	Interpretación
(33)	O-H	3600-3000	Vibraciones de estiramiento	
	C-H	3000-2800	Vibraciones de estiramiento	
	C=O	1900-1700		Ácidos y esteres
	$R-NH_2$ y R_2NH	1700-1500		Proteínas
	R-COOR' y cadenas alifáticas	1500-1300		Ácidos Grasos
	C-C	1200-800	Vibraciones de estiramiento	Ácidos Carboxílicos
	O-H	3700-3000	Vibraciones de estiramiento	
	CH_3	2995-2920	Vibraciones de estiramiento	
	CH_2	2850	Vibraciones de estiramiento	
	C=O	1745		
		1453	Vibración de Flexión	Aminoácidos ácidos
		1425		
	$(-CH(CH_3)]$	1390-1429		
	C-H	1315	Vibración de Flexión	
	C-O	1159		Grasas
	C-O	1120-1040	Vibraciones de estiramiento	
	O-H		Vibraciones de Flexión	Ácidos orgánicos y lactosa residual

1.6. NORMATIVAS INTERNACIONALES SOBRE METALES EN ALIMENTOS

1.6.1. FAO

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) desempeña un papel fundamental en la vigilancia y control de contaminantes en los alimentos. A través de sus comités técnicos, promueve la evaluación del riesgo de sustancias químicas presentes en la cadena alimentaria y proporciona bases científicas para la evaluación del riesgo y el establecimiento de valores de referencia.

En el caso de los metales pesados, la FAO, en coordinación con la OMS, ha desarrollado evaluaciones conjuntas del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), en las cuales se establecen valores de referencia basados en la ingesta tolerable, como la ingesta semanal tolerable provisional (PTWI) o la ingesta mensual tolerable provisional (PTMI), según el metal evaluado. Estos valores son utilizados como base científica para establecer límites en productos alimenticios, incluyendo los lácteos (34).

1.6.2. OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene como objetivo proteger la salud humana frente a la exposición a contaminantes ambientales y alimentarios. En su marco de seguridad alimentaria, la OMS establece guías sobre la presencia de metales pesados en alimentos, considerando sus efectos toxicológicos y la bioacumulación en el organismo. La OMS ha indicado que el consumo crónico de metales como el plomo (Pb) y el cadmio (Cd) puede causar alteraciones neurológicas, renales y metabólicas, por lo que recomienda mantener las concentraciones en niveles lo más bajos posibles. Asimismo, promueve la adopción de políticas públicas que fortalezcan los sistemas de vigilancia alimentaria y el control de la contaminación industrial y agrícola que afecta la producción de alimentos (35).

1.6.3. Codex Alimentarius

Codex Alimentarius, elaborado de manera conjunta por la FAO y la OMS, constituye el principal referente internacional en materia de normas de inocuidad alimentaria. Su objetivo es proteger la salud de los consumidores y asegurar prácticas leales en el comercio de alimentos.

En relación con los metales pesados, el Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS 193-1995) establece límites máximos permisibles (LMP) para diversos contaminantes químicos, entre ellos el plomo, cadmio, mercurio y arsénico, en productos de origen animal y vegetal. Si bien el Codex no presenta límites específicos para el queso, se emplean los valores de referencia establecidos para productos lácteos y derivados, los cuales sirven como base comparativa en los estudios de contaminación por metales pesados (19).

CAPÍTULO II

CAPITULO II

2. MATERIALES Y METODOS

Material de vidrio

- Fiolas de 50 mL
- Micropipetas de 10–100 µL
- Pipetas de 10 mL
- Tubos tipo Falcon de 50 mL

Reactivos químicos

- Ácido nítrico (HNO_3) 65 % destilado (Merck, Alemania)
- Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) 30% (Merck, Alemania)
- Agua ultrapura tipo I (resistividad de 18.2 MΩ·cm)
- Alcohol isopropílico (C_3H_8O), pureza ≥ 99 %

Aparatos y equipos

- Sistema de digestión por microondas (CEM Corporation, modelo MARS 6)
- Espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (Agilent Technologies, modelo 7900)
- Estufa de secado (Faithful)
- Espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) (Agilent Technologies, modelo Cary 630, con accesorio ATR de diamante)

Otros materiales

- Mascarilla de protección
- Guantes de nitrilo
- Cooler de transporte y gel refrigerante

2.1. CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.1.1. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación titulado “Determinación de metales pesados y evaluación del riesgo potencial para la salud en quesos comercializados en la ciudad de Arequipa mediante técnicas instrumentales (ICP-MS, FTIR)” , se desarrolló en el “Laboratorio de Investigación del Proyecto Mercurio” de la Universidad Católica de Santa María (Arequipa, Perú), donde se realizaron las etapas de preparación de muestras, incluyendo la digestión ácida con el sistema de microondas MARS 6 , así como el análisis mediante FTIR. Los análisis de metales pesados se llevaron a cabo en el Laboratorio Certificado CERPER (Arequipa, Perú), mediante la técnica de ICP-MS, siguiendo protocolos de calidad establecidos.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1. POBLACIÓN

La población estuvo conformada por los quesos comercializados en la ciudad de Arequipa, tanto de origen artesanal, elaborados por pequeños productores y distribuidos en mercados y ferias locales, como de origen industrial, producidos por empresas lácteas formalmente establecidas y comercializados en supermercados y tiendas de abarrotes.

2.2.2.MUESTRA

Se empleó un muestreo no probabilístico por cuotas para la selección de las muestras, estableciéndose una muestra total de 40 quesos comercializados en la ciudad de Arequipa, de los cuales 20 correspondieron a quesos artesanales y 20 a quesos industriales. La selección se realizó en los puntos de comercialización considerados en el estudio, tomando en cuenta los criterios de inclusión establecidos, entre ellos que los productos correspondieran a queso y no presentaran ingredientes adicionales que pudieran modificar la composición de la matriz analizada, como hierbas, especias u otros componentes. La distribución de las muestras

permitió incluir de manera equilibrada ambos tipos de queso para la determinación y comparación de las concentraciones de metales pesados.

2.3.PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

2.3.1.Recolección de muestras

Las muestras de queso se recolectaron en cuatro puntos de Arequipa: Mercado San Camilo, Feria del Altiplano, Supermercado Tottus y Supermercado Plaza Vea, los cuales constituyen importantes centros de abasto de la ciudad (Figura 3). Se consideraron quesos de producción artesanal e industrial, tanto nacionales como internacionales, con el objetivo de obtener una representación inicial de los productos consumidos en la región. La selección de las muestras se realizó en función de los criterios establecidos en el muestreo por cuotas, asegurando la inclusión de diferentes tipos de queso según su origen y forma de comercialización. Cada muestra fue adquirida en su envase original o, en el caso de los quesos artesanales, en las condiciones habituales de venta.

Cada muestra fue identificada con un código único, registrando información sobre el lugar de adquisición, tipo de queso y fecha de compra en una ficha de recolección diseñada para este estudio. Posteriormente, las muestras fueron transportadas en un cooler bajo condiciones de refrigeración (4 ± 2 °C) hasta el laboratorio, donde se almacenaron en refrigeración hasta su análisis.



Figura 3. Puesto de venta representativo de recolección de quesos en la ciudad de Arequipa.

2.4. CODIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Con el fin de garantizar la trazabilidad de las muestras y evitar sesgos durante el análisis, cada muestra recolectada fue identificada mediante un código numérico correlativo (001–040). La codificación se realizó en el momento de la recolección, colocando una tarjeta de identificación en cada muestra, lo que permitió un adecuado registro y organización durante las etapas de transporte, almacenamiento y análisis en laboratorio (Figura 4). Asimismo, en las Tabla 4,5,6,7 y 8 se presentan la codificación, la procedencia y las principales características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa. Con el fin de garantizar la confidencialidad del origen y evitar sesgos en el análisis, cada muestra recolectada fue identificada mediante un código numérico correlativo (001-040).

Tabla 4. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M001-M004)

Código de Muestra	Tipo de queso	Origen (Distrito/Provincia)	Fecha de recolección	Lugar de adquisición	Tipo de producción
001	Paria	Chuquibamba – Arequipa	27/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
002	Paria	Moquegua	27/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
003	Andino	Majes	27/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
004	Tilsit	Azángaro – Puno	27/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal

Tabla 5. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M005-M013)

Código de Muestra	Tipo de queso	Origen (Distrito/Provincia)	Fecha de recolección	Lugar de adquisición	Tipo de producción
005	Paria	Chuta- Puno	27/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
006	Paria	Cusco	27/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
007	Gouda Ahumado	Cerro Colorado-Arequipa	27/08/2025	Mercado San Camilo	Industrial
008	Parmesano	Majes	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
009	Paria	Pampacolca	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
010	Tilsit	Chuquibamba – Arequipa	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
011	Andino	Azángaro-Puno	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
012	Parmesano	Ayaviri- Puno	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
013	Pasteurizado	Chuquibamba – Arequipa	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal

Tabla 6. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa (M014-M023)

Código de Muestra	Tipo de queso	Origen (Distrito/Provincia)	Fecha de recolección	Lugar de adquisición	Tipo de producción
014	Pasteurizado	Puno	28/08/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
015	Gouda	Puno	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
016	Edam	Puno	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
017	Mozzarella	Moquegua	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
018	Mozzarella	Majes	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
019	Edam	Chuquibamba	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
020	Danbo	Majes	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
021	Gouda	Cerro Colorado	29/08/2025	Feria del Altiplano	Industrial
022	Massdam	Holanda	29/08/2025	Supermercado Tottus	Industrial
023	Edam	Países Bajos	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial

Tabla 7. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M024-033)

.Código de Muestra	Tipo de queso	Origen (Distrito/Provincia)	Fecha de recolección	Lugar de adquisición	Tipo de producción
024	Emmeltad Paysan Breton	Francia	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
025	Tilsiter	Suiza	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
026	Fundido Procesado	Austria	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
027	Edam	Lima	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
028	Danbo	Argentina	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
029	Cheddar	Estados Unidos	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
030	Fundido	Junín	01/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
031	Ahumado	Huancayo	02/09/2025	Supermercado Plaza Vea	Industrial
032	Gruyere	Holanda	02/09/2025	Tottus	Artesanal
033	Oveja curado	España	02/09/2025	Tottus	Artesanal

Tabla 8. Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en la ciudad de Arequipa.(M034-M040)

Código de Muestra	Tipo de queso	Origen (Distrito/Provincia)	Fecha de recolección	Lugar de adquisición	Tipo de producción
034	Fresco serrano	Huancayo	02/09/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
035	Cheddar	Cajamarca	02/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
036	Danbo	Junín	02/09/2025	Supermercado Tottus	Industrial
037	Cabra	Majes	02/09/2025	Feria del Altiplano	Artesanal
038	Cabra	Huancayo	02/09/2025	Feria del Altiplano	Artesanal
039	Cabra	Puno	02/09/2025	Mercado San Camilo	Artesanal
040	Oveja	Puno	02/09/2025	Mercado San Camilo	Artesanal

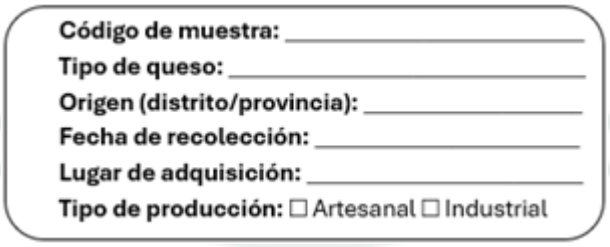


Figura 4. Rótulo de codificación empleada para la Identificación de las muestras de queso.

Tabla 9.Codificación y características de las muestras de queso recolectadas en Arequipa

Procedencia (Distrito/Provincia)	N° de muestras	Tipo de producción predominante
Arequipa (Chuquibamba, Cerro Colorado, Majes, Pampacolca)	12	Artesanal / Industrial
Cajamarca	1	Industrial
Cusco	1	Artesanal
Junín (Huancayo)	5	Industrial / Artesanal
Lima	1	Industrial
Moquegua	2	Artesanal / Industrial
Puno (Azángaro, Ayaviri, Chuta, Puno)	9	Artesanal / Industrial
Argentina	1	Industrial
Austria	1	Industrial
España	1	Artesanal
Estados Unidos	1	Industrial
Francia	1	Industrial
Holanda	2	Industrial / Artesanal
Países Bajos	1	Industrial
Suiza	1	Industrial
Total	40	—

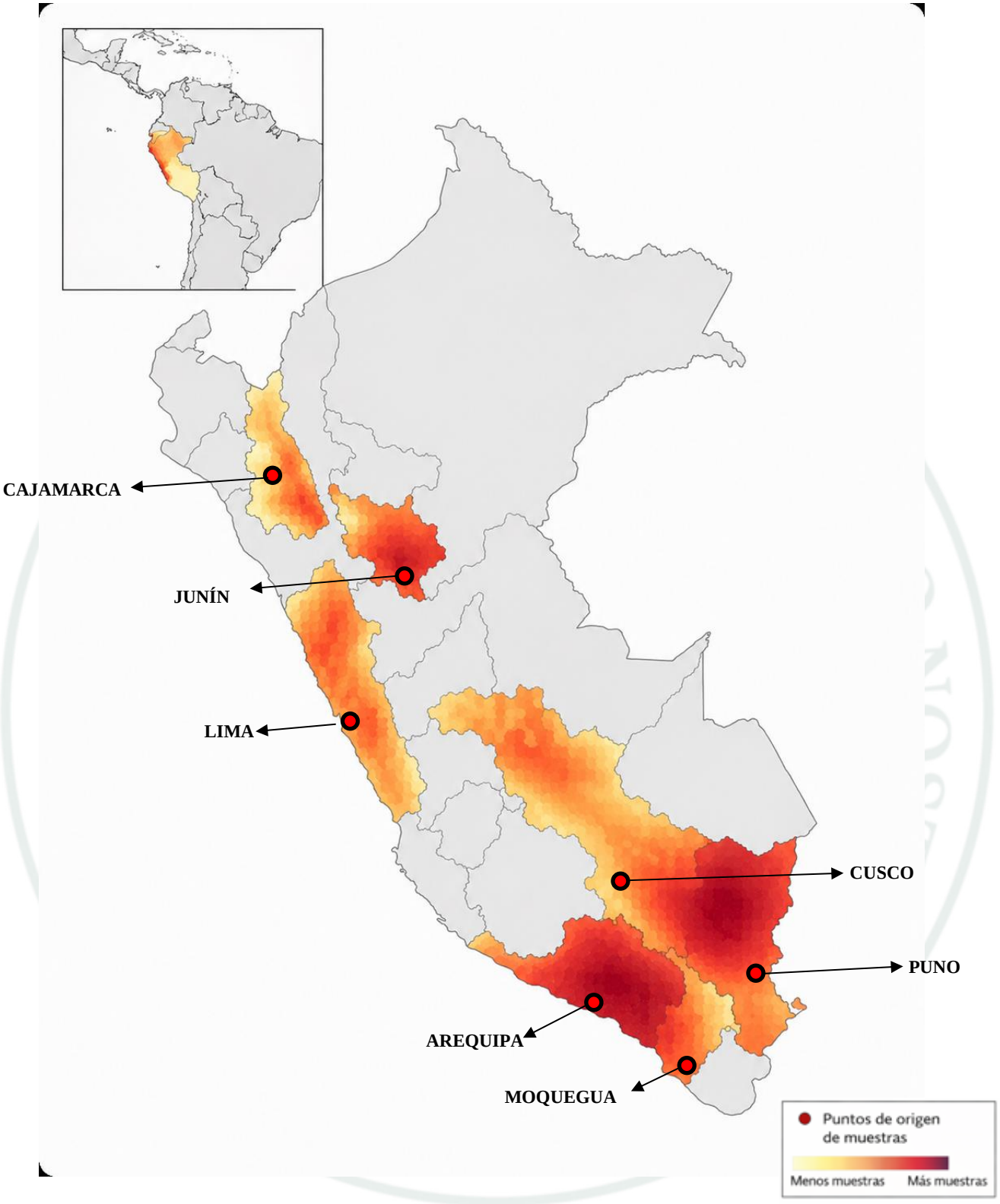


Figura 5. Mapa de procedencia de las muestras de queso recolectadas en la región Arequipa y otras zonas del Perú.

Tabla 10. Distribución de las muestras de queso recolectadas en Arequipa según tipo de queso.

Tipo de queso	N° de muestras	Tipo de producción predominante
Andino	2	Artesanal
Cabra	3	Artesanal
Cheddar	2	Industrial
Danbo	3	Industrial
Edam	4	Industrial
Emmental (Paysan Breton)	1	Industrial
Fresco serrano	1	Artesanal
Fundido / Fundido procesado	2	Industrial
Gouda / Gouda Ahumado	3	Industrial
Gruyere	1	Artesanal
Massdam	1	Industrial
Mozzarella	2	Industrial
Oveja / Oveja curado	2	Artesanal
Paria	6	Artesanal
Parmesano	2	Artesanal
Pasteurizado	2	Artesanal
Tilsit / Tilsiter	3	Artesanal / Industrial
Total	**40**	—

2.5.PREPARACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE MUESTRAS

2.5.1.Acondicionamiento del equipo MARS 6

Se realizó el acondicionamiento del sistema de digestión por microondas (CEM Corporation, modelo MARS 6) (Figura 6), con la finalidad de garantizar su correcto funcionamiento previo al análisis de las muestras.

Inicialmente, se efectuó la limpieza externa e interna del equipo utilizando un paño suave con detergente neutro, seguido de enjuague con agua destilada para eliminar residuos, dejando secar a temperatura ambiente. Posteriormente, se prepararon ocho vasos de digestión de politetrafluoroetileno (PTFE) con capacidad de 55 mL, en los cuales se adicionaron 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3).

Los vasos fueron cerrados herméticamente mediante sus respectivos sistemas de sellado y colocados en sus fundas de seguridad, asegurando una distribución uniforme dentro del rotor del equipo, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Finalmente, se ejecutó el programa de limpieza automática mediante el sistema One Touch, el cual opera bajo condiciones controladas de temperatura y presión. Este procedimiento permitió acondicionar el sistema, minimizando riesgos de contaminación y garantizando condiciones óptimas para el proceso de digestión de las muestras.

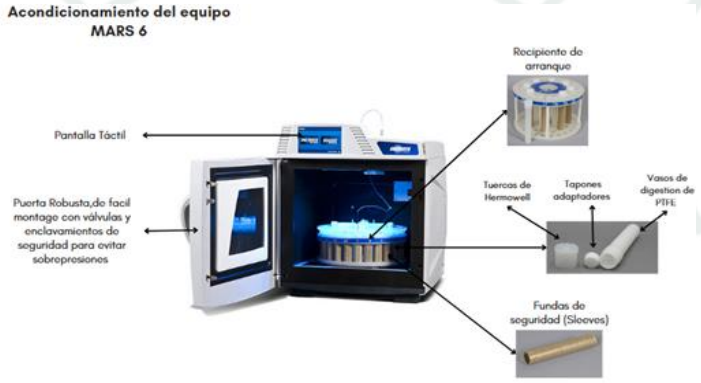


Figura 6. Equipo MARS 6 y sus componentes principales utilizados en el acondicionamiento y digestión de muestras de queso.

2.5.2.Estandarización de la digestión ácida en MARS 6

Se realizó una prueba de optimización del método de digestión ácida utilizando el sistema de digestión por microondas MARS 6, con el propósito de establecer las condiciones adecuadas para el tratamiento de las muestras de queso destinadas al análisis de metales pesados.

Para ello, se emplearon ocho vasos digestores de PTFE, de los cuales seis contenían aproximadamente 0.15 g de muestra de queso, a los que se adicionaron 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) y 20 µL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (Figura 7). Los dos vasos restantes fueron preparados como blancos del método, conteniendo únicamente los reactivos en las mismas proporciones.

Las muestras fueron sometidas a un programa de digestión en el equipo MARS 6, bajo las siguientes condiciones: potencia de 800 W, tiempo de rampa de 20 minutos, tiempo de mantenimiento de 25 minutos y temperatura máxima de 200 °C.

Posteriormente, se evaluó la eficiencia del proceso de digestión considerando la claridad de las soluciones obtenidas, el volumen final y la ausencia de residuos sólidos visibles. Los resultados evidenciaron que el uso de 0.15 g de muestra permitió una adecuada mineralización, obteniéndose soluciones claras y estables, sin evidencias de sobrepresión en los vasos digestores (Figura 8).

Este procedimiento permitió establecer las condiciones óptimas para la digestión de las muestras, asegurando la reproducibilidad del método y la seguridad del proceso durante el análisis.

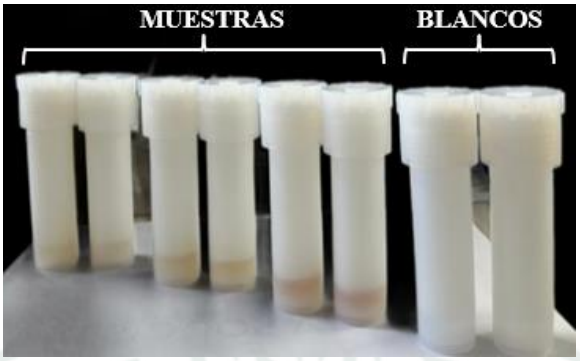


Figura 7. Distribución de vasos digestores durante la estandarización del método de digestión en el sistema MARS 6.



Figura 8. Soluciones digeridas de queso tras el proceso de digestión ácida con HNO_3 y H_2O_2.

2.5.3. Conservación de muestras digeridas

Las soluciones obtenidas tras la digestión ácida en el sistema MARS 6 fueron transferidas a tubos tipo Falcon de 50 mL, previamente esterilizados y de un solo uso. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C hasta su envío al laboratorio acreditado CERPER para su análisis mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (Figura 9).

Este procedimiento permitió preservar la integridad de las muestras y evitar posibles contaminaciones o alteraciones en su composición antes del análisis instrumental.

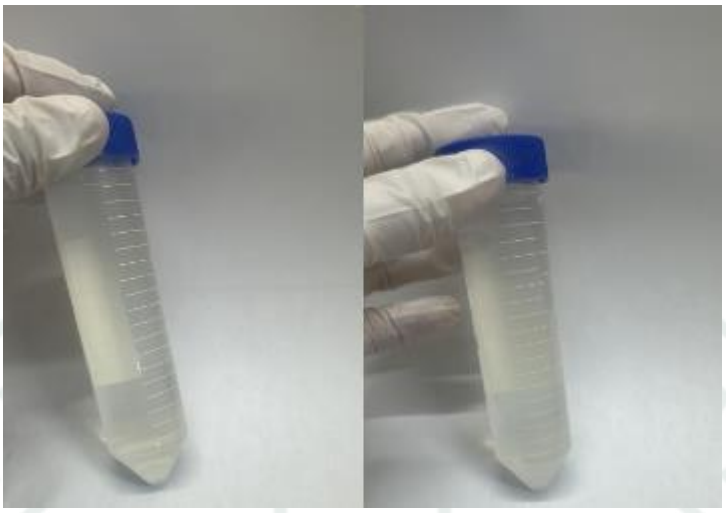


Figura 9. Tubos Falcon de 50 mL empleados para el almacenamiento de las muestras digeridas.

2.6.ACONDICIONAMIENTO Y OBTENCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO ULTRAPURO

Se realizó la limpieza y acondicionamiento del sistema Savillex DST-1000

(Figura 10), equipo destinado a la purificación de ácidos minerales, específicamente ácido nítrico (HNO_3), para su uso en análisis de metales traza mediante técnicas como ICP-MS. Este sistema emplea la tecnología de destilación sub-boiling, que permite obtener ácido grado traza a partir de reactivos comerciales, reduciendo significativamente el riesgo de contaminación en el análisis y favoreciendo una reducción significativa en los costos operativos y mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en el laboratorio.

Previo a su uso, se utilizó un paño con detergente para la limpieza externa del equipo. Una vez limpio, se colocó ácido nítrico en el frasco de evaporación del DST-1000, iniciando el proceso de destilación sub-boiling. Durante este proceso, el ácido en el depósito se calienta suavemente, generando vapor de ácido de alta pureza que se condensa en la parte superior del recipiente (condensador), se acumula en un canal que recorre la parte inferior del sistema y finalmente es

recolectado mediante un tubo de PFA (perfluoroalcoxi) en una botella de Purillex™ PFA. El diseño del recipiente, tanto en tamaño como en forma, favorece una condensación eficiente, eliminando la necesidad de utilizar agua de enfriamiento. Sin alcanzar su punto de ebullición, generando vapores que se condensan en una zona fría y son recolectados en otro recipiente, ya libres de impurezas metálicas. El sistema operó de forma continua durante varias horas, permitiendo obtener una cantidad suficiente de ácido ultrapuro para ser utilizado en la digestión de las muestras.

Este procedimiento es esencial para garantizar que los reactivos utilizados no introduzcan errores en la determinación de metales pesados, especialmente cuando se trabaja con niveles traza. La correcta limpieza del sistema DST-1000 y la obtención de ácido grado traza aseguran resultados confiables y reproducibles, siendo una parte fundamental del protocolo analítico en estudios de contaminación de alimentos.

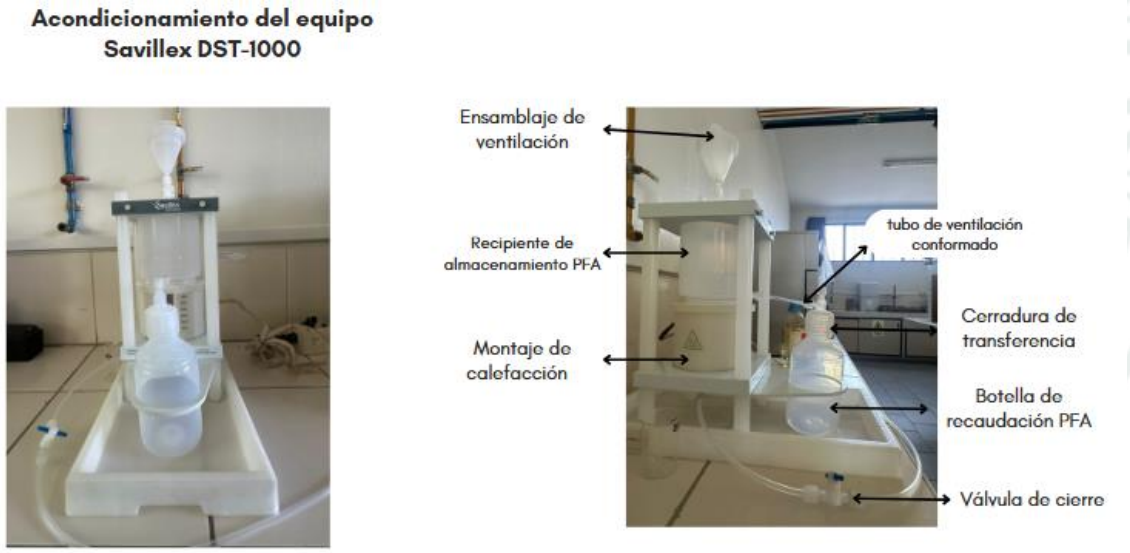


Figura 10.Sistema Savillex DST-1000 y sus componentes principales empleados en la purificación de ácido nítrico grado traza.

2.7. ANÁLISIS DE METALES PESADOS POR ICP-MS

El análisis de metales pesados en las muestras de queso se realizó mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), técnica instrumental que permite la determinación simultánea de múltiples elementos con alta sensibilidad y precisión .

Las muestras fueron previamente digeridas por vía húmeda utilizando ácido nítrico (HNO_3) y peróxido de Hidrógeno (H_2O_2), y posteriormente aforadas con agua ultrapura para su análisis .

El procedimiento analítico se llevó a cabo en el laboratorio CERPER (Centro de Certificación y Control de Calidad del Perú), entidad acreditada que garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Para el control de calidad analítica, se empleó un blanco preparado bajo las mismas condiciones de digestión y análisis que las muestras, con el fin de verificar la ausencia de contaminación.

Se determinaron las concentraciones de diversos metales y elementos traza, incluyendo aluminio (Al), arsénico (As), bario (Ba), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño (Sn), estroncio (Sr), Hierro (Fe), litio (Li), manganeso (Mn), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), plomo (Pb), selenio (Se), titanio (Ti), uranio (U), vanadio (V) y zinc (Zn), expresadas en mg/kg de muestra húmeda.

El límite de detección (LOD) corresponde a la menor concentración de un analito que puede ser detectada por el método analítico, aunque no necesariamente cuantificada con precisión. Por su parte, el límite de cuantificación (LOQ) representa la menor concentración que puede determinarse con precisión y exactitud aceptables bajo las condiciones establecidas del método

(Fórmula 3 y 4)

$$\boldsymbol{LoD = \frac{3 \times SDblanco}{pendiente}} \qquad \textbf{(3)}$$

$$LoQ = \frac{10 \times SDblanco}{pendiente} \quad (4)$$

Donde:

- SD: desviación estándar de la respuesta del blanco.

En el presente estudio, los análisis instrumentales fueron realizados por el laboratorio acreditado CERPER. Los valores de LOD reportados corresponden a los establecidos durante la validación del método del laboratorio. Los valores de LOQ no fueron proporcionados en el informe de ensayo; sin embargo, su fundamento teórico se presenta para describir el procedimiento general de validación de métodos analíticos.

Los resultados fueron interpretados considerando los límites de detección del método analítico. Las concentraciones inferiores al límite de detección fueron reportadas de acuerdo con los criterios establecidos por el laboratorio.

2.8. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS POR FTIR

Para el análisis de la composición molecular de las muestras de queso se empleó la técnica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Previo al análisis, las muestras fueron sometidas a un proceso de acondicionamiento con el fin de eliminar la humedad y facilitar la obtención de espectros reproducibles. Para ello, se colocaron en una estufa a 60 °C durante tres días. Posteriormente, las muestras secas fueron trituradas en un mortero de porcelana hasta obtener un polvo homogéneo y fino, adecuado para el análisis espectroscópico (Figura 11).

El análisis FTIR se realizó en un espectrofotómetro de transformada de Fourier, operando en un rango de 4000–600 cm^{-1}. El polvo de queso fue colocado directamente en la celda del equipo

con el accesorio de reflectancia total atenuada (ATR), evitando el uso de reactivos adicionales (Figura 12).

Esta caracterización permitió identificar los principales grupos funcionales presentes en los quesos, asociados a proteínas, lípidos y carbohidratos, los cuales constituyen la base para la posterior comparación entre quesos artesanales e industriales.

Con el fin de evitar interferencias entre mediciones, el cristal de diamante del ATR fue limpiado antes y después de cada análisis utilizando alcohol isopropílico y papel libre de pelusa. Este procedimiento garantizó la eliminación de residuos de las muestras anteriores, preservando la reproducibilidad y exactitud de los resultados obtenidos.



Figura 11. Preparación de la muestra de queso para análisis FTIR.



Figura 12. Equipo FTIR utilizado para la caracterización de quesos.

2.9. EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO (EDI, THQ, HI)

Para estimar el riesgo potencial para la salud asociado al consumo de quesos contaminados con metales pesados, se calcularon los siguientes parámetros: Ingesta Diaria Estimada (EDI), Cociente de riesgo objetivo (THQ) e Índice de Peligrosidad (HI)

2.9.1. Ingesta Diaria Estimada (EDI)

La Ingesta Diaria Estimada de metales (EDI) es un valor relacionado con la concentración de metales en los productos lácteos, el consumo diario de queso y el peso corporal, lo cual influye en la tolerancia a los contaminantes (29).

La EDI de metales se calculó mediante la fórmula **(Fórmula 5).**

$$EDI = \frac{C \times IR}{BW} \qquad (5)$$

Donde:

-C (mg/kg, en peso húmedo): concentración de metales pesados en el queso

-IR (kg/día): representa el consumo diario promedio de queso

-BW (kg): peso corporal del consumidor

Para el cálculo, se consideró un consumo promedio de queso de 0.022 kg/día en adultos y un peso corporal promedio de 60 kg.

2.9.2. Cociente de riesgo objetivo (THQ)

El cociente de riesgo objetivo (THQ) es un indicador que permite evaluar el riesgo potencial para la salud asociado a la exposición a metales pesados a través del consumo de alimentos.

El THQ se calculó según la siguiente ecuación **(Fórmula 6).**

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \qquad (6)$$

Donde:

- EDI : Ingesta diaria estimada.
- RfD (mg/kg día): Dosis de referencia

Un valor de THQ < 1 indica que no existe un riesgo significativo para la salud, mientras que valores ≥ 1 reflejan una posible preocupación toxicológica.

Las dosis de referencia (RfD) empleadas fueron:

- Al: 1.43×10^{-1} mg/kg·día
- Cd: 1×10^{-3} mg/kg·día
- Pb: 3.5×10^{-3} mg/kg·día
- Zn: 3×10^{-1} mg/kg·día
- Cu: 4×10^{-2} mg/kg·día
- Fe: 3×10^{-1} mg/kg·día
- As: 3×10^{-4} mg/kg·día
- Cr: 3×10^{-3} mg/kg·día
- Ni: 2×10^{-2} mg/kg·día
- Mn: 1.4×10^{-1} mg/kg·día
- Mo: 5×10^{-3} mg/kg·día

- Ag : 5×10^{-3} mg/kg·día
- Hg : 1×10^{-4} mg/kg·día
- V: 1.4×10^{-4} mg/kg·día
- Ba: 2×10^{-3} mg/kg·día
- Sn: 0.9 mg/kg·día
- B: 0.2 mg/kg·día
- U: 3×10^{-5} mg/kg·día

En el caso de algunos elementos analizados como Sr, Ti, Li y Se, no se encontraron valores de dosis de referencia (RfD) disponibles para la evaluación del riesgo no carcinogénico; por ello, fueron reportados únicamente en términos de concentración y exposición diaria estimada, sin cálculo de THQ.

2.9.3. Índice de Peligrosidad (HI)

El índice de peligrosidad (HI, por sus siglas en inglés *Hazard Index*) se calculó como la suma de los cocientes de riesgo objetivo (THQ) de los metales analizados, con el fin de evaluar el efecto combinado de la exposición a múltiples contaminantes **(Fórmula 7).**

$$\mathbf{HI=\sum THQ} \qquad \textit{(7)}$$

Donde:

HI < 1 indica que no existe un riesgo significativo para la salud.

HI ≥ 1 indica una posible preocupación toxicológica.

2.10. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El procesamiento y análisis de los resultados obtenidos se realizó utilizando el programa Microsoft Excel 2019. Los datos experimentales correspondientes a las concentraciones de los metales Al, As, Ba, B, Cd, Cu, Cr, Sn, Sr, Fe, Li, Mn, Hg, Mo, Ni, Ag, Pb, Se, Ti, U, V y Zn (expresados en mg/kg de muestra húmeda) fueron organizados en hojas de cálculo, asignando códigos a cada una de las 40 muestras analizadas.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, determinando los valores de media, desviación estándar, valores mínimos y máximos para cada metal. Estos parámetros permitieron evaluar la distribución de los resultados y la variabilidad entre las muestras.

Asimismo, se elaboraron gráficos de barras comparativos para visualizar las concentraciones de los metales en las diferentes muestras, facilitando la identificación de los elementos mayoritarios y la presencia de metales potencialmente tóxicos en niveles detectables.

Este tratamiento estadístico permitió obtener una interpretación cuantitativa clara y confiable de los resultados analíticos, sirviendo de base para la evaluación del riesgo toxicológico y la comparación con los límites establecidos por normativas internacionales.

CAPÍTULO III

CAPITULO III

3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.RECOLECCIÓN Y PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

Se recolectaron un total de 40 muestras de queso, correspondientes a 20 muestras artesanales y 20 industriales, durante el periodo comprendido entre el 27 de agosto y el 2 de septiembre de 2025.

Las muestras presentaron variabilidad en su peso y presentación, con unidades que oscilaron aproximadamente entre 200 g y 1 kg, reflejando la diversidad de productos disponibles en el mercado. Todas las muestras fueron codificadas y almacenadas en refrigeración hasta su posterior análisis (Figura 13).



Figura 13.Ejemplo de la muestra de queso recolectado.

3.2. RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE ICP-MS

Se determinaron las concentraciones de 22 elementos en 40 muestras de queso comercializadas en la ciudad de Arequipa, mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los resultados se expresaron en mg/kg y se presentan en las Tablas 11,12 y 13.

Tabla 11. Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de queso analizadas por ICP-MS (M1–M13).

Parámetro	Límite de Detección (mg/kg)	M1 (mg/kg)	M2 (mg/kg)	M3 (mg/kg)	M4 (mg/kg)	M5 (mg/kg)	M6 (mg/kg)	M7 (mg/kg)	M8 (mg/kg)	M9 (mg/kg)	M10 (mg/kg)	M11 (mg/kg)	M12 (mg/kg)	M13 (mg/kg)
Aluminio (Al)	1.000	226.667	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	7.000	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Arsénico (As)	0.010	0.447	0.096	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Bario (Ba)	0.023	0.733	2.033	0.317	3.467	1.400	3.467	0.430	0.667	1.667	0.967	0.537	2.533	3.533
Boro (B)	0.667	10.000	4.433	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Cadmio (Cd)	0.017	0.130	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Cobre (Cu)	0.013	3.167	1.933	2.067	2.533	2.800	4.900	7.933	5.200	8.833	6.300	8.167	11.733	14.767
Cromo (Cr)	0.100	1.130	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Estaño (Sn)	0.010	7.533	2.167	1.320	1.137	0.930	2.000	1.433	2.767	2.167	0.960	1.260	1.073	0.553
Estroncio (Sr)	0.017	7.400	9.400	7.200	12.333	7.633	10.133	7.000	9.367	6.900	8.900	6.100	8.233	7.433
Hierro (Fe)	0.030	51.333	1.800	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.780	N.D.*	2.600	0.607	N.D.*
Litio (Li)	0.017	0.167	1.217	0.108	0.267	1.003	0.807	0.320	0.155	0.310	0.207	0.220	0.427	2.133
Manganeso (Mn)	0.020	0.157	N.D.*	N.D.*	0.247	N.D.*	0.330	N.D.*	0.233	2.317	N.D.*	0.250	0.223	1.093
Mercurio (Hg)	0.001	0.750	0.053	0.027	0.021	0.019	0.025	0.010	0.023	0.010	0.010	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Molibdeno (Mo)	0.013	N.D.*	0.090	N.D.*	0.103	0.117	0.183	N.D.*	0.113	0.247	0.163	N.D.*	N.D.*	0.140
Níquel (Ni)	0.007	N.D.*	0.190	N.D.*	0.049	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.133	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Plata (Ag)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Plomo (Pb)	0.013	0.217	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.140	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.227
Selenio (Se)	0.020	0.170	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.400	N.D.*	N.D.*	0.187	0.300	N.D.*
Titanio (Ti)	0.033	1.600	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Uranio (U)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Vanadio (V)	0.010	0.333	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Zinc (Zn)	0.013	28.600	30.200	38.567	47.700	31.900	34.067	37.933	53.000	37.000	33.767	37.233	43.000	35.200

***N.D.** = no detectado; concentración inferior al límite de detección (LOD) del método analítico.

Nota: Las concentraciones expresadas en mg/kg fueron obtenidas a partir de los valores reportados por el laboratorio CERPER en mg/L, mediante la aplicación de un factor de conversión de 333.33, calculado en función del volumen final de digestión (50 mL) y la masa de muestra (0.15 g). Los valores indicados como N.D. corresponden a concentraciones menores al límite de detección (LOD) del método analítico.

Tabla 12. Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de queso analizadas por ICP-MS (M14–M26).

Parámetro	Límite de Detección (mg/kg)	M14 (mg/kg)	M15 (mg/kg)	M16 (mg/kg)	M17 (mg/kg)	M18 (mg/kg)	M19 (mg/kg)	M20 (mg/kg)	M21 (mg/kg)	M22 (mg/kg)	M23 (mg/kg)	M24 (mg/kg)	M25 (mg/kg)	M26 (mg/kg)
Aluminio (Al)	1.000	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	8.667
Arsénico (As)	0.010	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.068	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Bario (Ba)	0.023	2.100	3.000	4.133	1.000	1.033	0.667	0.633	0.567	2.333	6.233	1.033	1.133	0.530
Boro (B)	0.667	N.D.*	N.D.*	N.D.*	4.167	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Cadmio (Cd)	0.017	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Cobre (Cu)	0.013	19.000	0.803	1.333	0.687	0.740	0.853	0.543	0.533	3.067	3.923	9.767	11.400	3.267
Cromo (Cr)	0.100	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Estaño (Sn)	0.010	0.460	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Estroncio (Sr)	0.017	9.967	8.767	10.333	6.467	5.467	7.033	7.000	9.433	5.400	7.737	4.400	1.867	1.600
Hierro (Fe)	0.030	1.510	9.933	N.D.*	N.D.*	N.D.*	1.817	N.D.*	1.490	8.433	5.207	N.D.*	9.367	48.333
Litio (Li)	0.017	0.723	0.263	0.533	1.317	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.227	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.360	0.105
Manganeso (Mn)	0.020	0.420	0.883	0.957	0.207	0.347	0.397	0.183	0.973	0.323	0.378	0.170	0.313	0.223
Mercurio (Hg)	0.001	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Molibdeno (Mo)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.103	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.110	N.D.*
Níquel (Ni)	0.007	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.217	0.147
Plata (Ag)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.119	0.090
Plomo (Pb)	0.013	0.107	N.D.*	0.143	N.D.*	0.083	0.193	0.250	0.137	0.107	0.165	0.110	1.103	0.153
Selenio (Se)	0.020	0.310	0.167	N.D.*	0.257	N.D.*	N.D.*	0.267	0.143	0.147	0.367	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Titanio (Ti)	0.033	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.700	0.440
Uranio (U)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Vanadio (V)	0.010	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Zinc (Zn)	0.013	30.900	43.567	50.000	35.433	38.367	38.400	40.767	41.033	51.333	68.933	58.000	49.000	19.800

***N.D.** = no detectado; concentración inferior al límite de detección (LOD) del método analítico.

Nota: Las concentraciones expresadas en mg/kg fueron obtenidas a partir de los valores reportados por el laboratorio CERPER en mg/L, mediante la aplicación de un factor de conversión de 333.33, calculado en función del volumen final de digestión (50 mL) y la masa de muestra (0.15 g). Los valores indicados como N.D. corresponden a concentraciones menores al límite de detección (LOD) del método analítico.

Tabla 13. Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de queso analizadas por ICP-MS (M27–M40).

Parámetro	Límite de Detección (mg/kg)	M27 (mg/kg)	M28 (mg/kg)	M29 (mg/kg)	M30 (mg/kg)	M31 (mg/kg)	M32 (mg/kg)	M33 (mg/kg)	M34 (mg/kg)	M35 (mg/kg)	M36 (mg/kg)	M37 (mg/kg)	M38 (mg/kg)	M39 (mg/kg)	M40 (mg/kg)
Aluminio (Al)	1.000	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Arsénico (As)	0.010	N.D.*	0.070	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.097	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Bario (Ba)	0.023	0.900	2.500	0.700	1.800	N.D.*	0.527	1.433	N.D.*	1.067	2.100	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.16
Boro (B)	0.667	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	4.700	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Cadmio (Cd)	0.017	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Cobre (Cu)	0.013	4.367	4.300	5.500	0.437	0.260	0.777	0.417	N.D.*	N.D.*	0.163	N.D.*	1.183	1.063	N.D.*
Cromo (Cr)	0.100	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Estaño (Sn)	0.010	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Estroncio (Sr)	0.017	5.700	12.000	3.433	4.567	3.167	1.567	10.833	2.633	7.167	11.000	3.133	7.367	7.167	3.633
Hierro (Fe)	0.030	0.233	1.093	1.100	2.900	N.D.*	N.D.*	31.000	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Litio (Li)	0.017	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.156	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.840	N.D.*	0.670	0.200	N.D.*	0.607
Manganeso (Mn)	0.020	0.223	0.207	0.270	0.213	0.667	N.D.*	N.D.*	N.D.*	46.133	N.D.*	2.577	N.D.*	N.D.*	2.667
Mercurio (Hg)	0.001	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Molibdeno (Mo)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Níquel (Ni)	0.007	0.250	N.D.*	N.D.*	0.049	N.D.*	N.D.*	0.673	N.D.*	N.D.*	0.583	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Plata (Ag)	0.013	N.D.*	0.162	N.D.*	0.121	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Plomo (Pb)	0.013	0.220	0.130	0.300	0.157	N.D.*	N.D.*	0.120	N.D.*	N.D.*	0.093	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Selenio (Se)	0.020	N.D.*	0.140	0.313	N.D.*	0.443	N.D.*	0.130	0.143	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Titanio (Ti)	0.033	0.303	N.D.*	N.D.*	2.043	0.473	0.563	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.033	N.D.*	N.D.*
Uranio (U)	0.013	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.094	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	0.013	N.D.*	N.D.*
Vanadio (V)	0.010	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*	N.D.*
Zinc (Zn)	0.013	51.333	38.100	26	32.467	16.600	22.533	36.000	22.533	16.400	34.633	19.133	19.433	19.067	18.5

***N.D.** = no detectado; concentración inferior al límite de detección (LOD) del método analítico.

Nota: Las concentraciones expresadas en mg/kg fueron obtenidas a partir de los valores reportados por el laboratorio CERPER en mg/L, mediante la aplicación de un factor de conversión de 333.33, calculado en función del volumen final de digestión (50 mL) y la masa de muestra (0.15 g). Los valores indicados como N.D. corresponden a concentraciones menores al límite de detección (LOD) del método analítco

3.3.RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN MOLECULAR DE LOS QUESOS MEDIANTE ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).

El análisis mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) permitió identificar los grupos funcionales presentes en las muestras de queso artesanales e industriales. En las Figuras 14 y 15 se muestran los espectros representativos obtenidos en el rango comprendido entre 4000 y 600 cm^{-1} para quesos artesanales e industriales, respectivamente, donde se observan las principales bandas de absorción asociadas a proteínas, lípidos y carbohidratos.

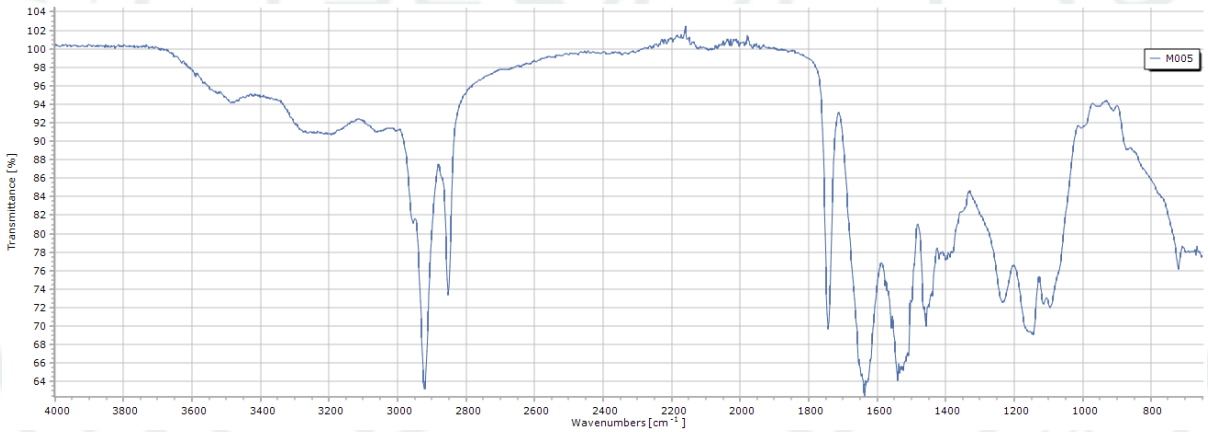


Figura 14.Espectro FTIR representativo de queso artesanal obtenido en el rango de 4000-600 cm^{-1}. Se observan bandas características asociadas a agua, lípidos, proteínas y carbohidratos.

El análisis de los espectros FTIR permitió Identificar las principales bandas de absorción características de los componentes del queso. Se observó una banda ancha en la región comprendida entre 3300 y 3000 cm^{-1}, asociada a vibraciones de estiramiento de grupos O–H y N–H, correspondientes principalmente al contenido de agua y proteínas.

Asimismo, se Identificaron señales en el intervalo de 1740 a 1650 cm^{-1}, atribuidas al estiramiento de grupos carbonilo (C=O), característicos de lípidos y enlaces peptídicos de las proteínas.

En la región entre 1470 y 1400 cm^{-1} se observaron bandas asociadas a deformaciones de los grupos CH_2 y CH_3, propias de los lípidos.

Finalmente, en la región de la huella digital, comprendida entre 1200 y 900 cm^{-1}, se evidenciaron bandas relacionadas con vibraciones de enlaces C–O y C–C, asociadas a carbohidratos, principalmente lactosa residual.

Estas características espectrales confirman la presencia de los principales componentes del queso, como proteínas, lípidos y carbohidratos.

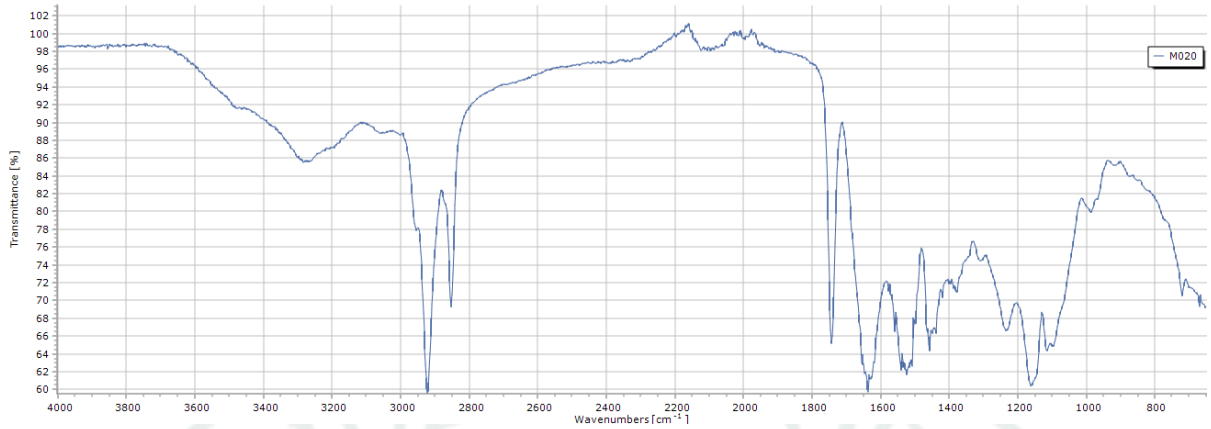


Figura 15. Espectro FTIR representativo de queso industrial obtenido en el rango de 4000-600 cm^{-1}. Se observan bandas características asociadas a agua, lípidos, proteínas y carbohidratos.

El espectro correspondiente a los quesos industriales presenta bandas de absorción similares a las observadas en los quesos artesanales, confirmando la presencia de los principales grupos funcionales característicos de proteínas, lípidos y carbohidratos.

En la región comprendida entre 3300 y 3000 cm^{-1} se observa una banda ancha asociada a grupos O–H y N–H, relacionada con el contenido de agua y proteínas. Asimismo, en el intervalo de 1740 a 1650 cm^{-1} se identifican señales correspondientes al estiramiento de grupos carbonilo (C=O), vinculados a lípidos y enlaces peptídicos.

En la región de 1470 a 1400 cm^{-1} se evidencian deformaciones de grupos CH_2 y CH_3, propias de los lípidos, mientras que en la región de la huella digital (1200 a 900 cm^{-1}) se observan bandas asociadas a enlaces C–O y C–C, relacionadas con carbohidratos como la lactosa.

En comparación con los quesos artesanales, se aprecian ligeras variaciones en la intensidad y definición de las bandas, lo que podría estar asociado a diferencias en la composición, el contenido de humedad y los procesos de elaboración.

3.4. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN CON LÍMITES INTERNACIONALES

Para la comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidas en las muestras de queso se utilizaron valores de referencia provenientes de organismos y fuentes internacionales reconocidos, considerando los valores disponibles para cada elemento analizado. El contraste se realizó comparando las concentraciones medias obtenidas, expresadas en mg/kg, con el respectivo valor de referencia. Cuando la concentración media fue superior al valor de referencia establecido, se consideró que el metal excedía dicho valor; cuando fue igual o inferior, se consideró que se encontraba dentro del valor de referencia. Las fuentes correspondientes a los valores utilizados se consignaron en las Tablas 14, 15 y 16.

Las Tablas 14, 15 y 16 presentan la comparación entre las concentraciones medias de los metales determinados en las muestras de queso y los valores de referencia utilizados. Para expresar las concentraciones de los metales pesados se empleó la media aritmética como medida de tendencia central, debido a que permite representar mediante un único valor la concentración promedio obtenida a partir del conjunto de muestras analizadas y facilita la comparación entre los diferentes metales y sus respectivos valores de referencia. Asimismo, se empleó la desviación estándar como medida de dispersión, con la finalidad de describir la variabilidad de las concentraciones obtenidas respecto a su valor promedio. Este análisis permite identificar los metales cuyas concentraciones se encuentran dentro o fuera de los valores de referencia establecidos para el consumo humano. Asimismo, se incluye una clasificación cualitativa del nivel de cumplimiento en relación con los valores de referencia utilizados.

Respecto a la desviación estándar, se observaron diferencias en la variabilidad de las concentraciones de los metales pesados analizados. Los mayores valores de desviación estándar en términos absolutos correspondieron al aluminio (35.38 mg/kg), zinc (12.196 mg/kg), hierro (11.81 mg/kg) y manganeso (7.25 mg/kg), evidenciando una mayor dispersión de sus concentraciones entre las muestras evaluadas. En comparación, elementos como arsénico (0.074 mg/kg), cadmio (0.021 mg/kg), molibdeno (0.064 mg/kg) y plata (0.038 mg/kg) presentaron menores valores de desviación estándar. Estas diferencias deben interpretarse considerando la magnitud de las concentraciones de cada elemento y su respectivo valor medio.

La variabilidad observada entre las muestras puede estar relacionada con la heterogeneidad propia de los quesos analizados y con diferencias en factores asociados a su origen y elaboración, tales como las materias primas empleadas, las condiciones de procesamiento, el almacenamiento y la posible exposición a fuentes ambientales de los elementos analizados. Estas condiciones pueden generar diferencias en la incorporación y concentración de determinados metales en los productos. Por ello, la desviación estándar permitió complementar la interpretación de la media aritmética, evidenciando que las concentraciones de los metales presentaron diferentes grados de dispersión entre las muestras de queso evaluadas.

Tabla 14 Comparación entre concentraciones medias de metales totales y límites normativos internacionales.

Metal	Media (mg/kg)	Desv. Estándar (mg/kg)	Mínimo (mg/kg)	Máximo (mg/kg)	Valor de referencia (mg/kg)	Comparación
Aluminio (Al)	6.058	35.38	0.00	226.67	1.00	Supera el valor ref.
Arsénico (Ar)	0.019	0.074	0.00	0.45	0.10	Dentro del valor ref.
Bario (Ba)	1.43	1.35	0.00	6.23	2.00	Dentro del valor ref.
Boro (B)	0.583	1.93	0.00	10.00	1.00	Dentro del valor ref.
Cadmio (Cd)	0.003	0.021	0.00	0.13	0.01	Dentro del valor ref.
Cobre (Cu)	3.868	4.489	0.00	19.00	0.01	Supera el valor ref.
Cromo (Cr)	0.028	0.179	0.00	1.13	0.0016	Supera el valor ref.
Estaño (Sn)	0.64	1.352	0.00	7.53	50.00	Dentro del valor ref.
Estroncio (Sr)	6.922	3.02	0.00	12.33	--------	---------

Tabla 15. Comparación entre concentraciones medias de metales totales y límites normativos internacionales.

Metal	Media (mg/kg)	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo	Valor de referencia (mg/kg)	Comparación
Hierro (Fe)	4.488	11.81	0.00	51.33	45.00	Dentro del valor ref.
Litio (Li)	0.334	0.46	0.00	2.13	-------	--------
Manganeso (Mn)	1.590	7.25	0.00	46.13	11.00	Dentro del valor ref.
Mercurio (Hg)	0.024	0.118	0.00	0.75	0.01	Supera el valor ref.
Molibdeno (Mo)	0.034	0.064	0.00	0.25	0.002	Supera el valor ref.
Níquel (Ni)	0.057	0.148	0.00	0.67	5.00	Dentro del valor ref.
Plata (Ag)	0.012	0.038	0.00	0.16	0.01	Ligeramente superior
Plomo (Pb)	0.104	0.185	0.00	1.10	0.02	Supera el valor ref.

Tabla 16. Comparación entre concentraciones medias de metales totales y límites normativos internacionales.

Metal	Media (mg/kg)	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo	Valor de referencia (mg/kg)	Comparación
Selenio (Se)	0.097	0.136	0.00	0.44	-----	-------
Titanio (Ti)	0.154	0.427	0.00	2.04	-----	-------
Uranio (U)	0.003	0.015	0.00	0.09	0.03	Dentro del valor ref.
Vanadio (V)	0.008	0.052	0.00	0.33	0.02	Dentro del valor ref.
Zinc (Zn)	35.661	12.196	0.00	68.93	40.00	Dentro del valor ref.

A partir de la comparación presentada en las Tablas 14, 15 y 16, se observa que algunos metales presentan concentraciones que superan los valores de referencia máximos permisibles establecidos por las fuentes correspondientes, mientras que otros se mantienen dentro de los valores de referencia. Asimismo, se evidencian variaciones entre los diferentes metales analizados, lo que refleja una distribución heterogénea en las muestras de queso evaluadas.

3.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO NO CARCINOGÉNICO ASOCIADO AL CONSUMO DE QUESO (THQ, HQ).

Las tablas 17,18, presentan la evaluación del riesgo toxicológico no carcinogénico por ingesta de metales presentes en muestras de queso, mediante el cálculo de la ingesta diaria estimada (EDI) y el cociente de riesgo objetivo (THQ). Estos indicadores permiten estimar el nivel de exposición de la población a los metales analizados y evaluar si dicha exposición representa un riesgo potencial para la salud.

Tabla 17. Evaluación de riesgo toxicológico por ingesta de metales (valores promedio. EDI y THQ).(I)

Símbolo	Promedio (mg/kg)	EDI (mg/kg·día)	THQ
Al	6.06	2.47×10^{-3}	1.55×10^{-2}
As	1.90×10^{-2}	7.12×10^{-6}	2.38×10^{-2}
Ba	1.43	5.26×10^{-4}	2.62×10^{-1}
B	5.83×10^{-1}	2.31×10^{-4}	1.07×10^{-3}
Cd	3.00×10^{-3}	1.19×10^{-6}	1.19×10^{-3}
Cu	3.87	1.42×10^{-3}	3.55×10^{-2}
Cr	2.80×10^{-2}	1.03×10^{-5}	3.45×10^{-3}
Sn	6.44×10^{-1}	2.36×10^{-4}	2.62×10^{-4}
Sr	6.92	2.54×10^{-3}	---
Fe	4.49	1.64×10^{-3}	5.49×10^{-3}
Li	3.34×10^{-1}	1.22×10^{-4}	---

Tabla 18. Evaluación de riesgo toxicológico por ingesta de metales (valores promedio. EDI y THQ).(II)

Símbolo	Promedio (mg/kg)	EDI (mg/kg·día)	THQ
Mn	1.59	5.82×10^{-4}	4.16×10^{-3}
Hg	2.40×10^{-2}	8.69×10^{-6}	8.70×10^{-2}
Mo	3.40×10^{-2}	1.25×10^{-5}	2.51×10^{-3}
Ni	5.70×10^{-2}	2.10×10^{-5}	1.05×10^{-3}
Ag	1.20×10^{-2}	4.50×10^{-6}	9.01×10^{-4}
Pb	1.04×10^{-1}	3.81×10^{-5}	1.09×10^{-2}
Se	9.70×10^{-2}	3.70×10^{-5}	---
Ti	1.54×10^{-1}	6.10×10^{-5}	---
U	3.00×10^{-3}	1.09×10^{-6}	3.27×10^{-2}
V	8.00×10^{-3}	3.30×10^{-6}	2.18×10^{-2}
Zn	3.57×10^{1}	1.31×10^{-2}	4.36×10^{-2}
Índice Peligrosidad (HI)	---	---	5.54×10^{-1}

A partir de los resultados presentados, se observa que los valores de THQ obtenidos para los metales evaluados fueron inferiores a la unidad en la mayoría de las muestras. Asimismo, el índice de peligrosidad (HI) promedio presentó un valor inferior a 1 ($5{,}54 \times 10^{-1}$), lo que indica que, en promedio, la exposición combinada a los metales evaluados no representa un riesgo no carcinogénico significativo bajo las condiciones consideradas en el presente estudio. Sin embargo, se identificaron valores de HI superiores a 1 en las muestras M1, M23 y M30, por lo

que estas muestras representan situaciones puntuales que requieren especial consideración en la evaluación del riesgo

3.6.METALES CON MAYOR RELEVANCIA TOXICOLÓGICA

Los metales cobre (Cu), mercurio (Hg) y zinc (Zn) presentaron valores promedio de THQ inferiores a la unidad, con valores de $3{,}55 \times 10^{-2}$, $8{,}69 \times 10^{-2}$ y $4{,}36 \times 10^{-2}$, respectivamente. Estos resultados indican que, en promedio, la exposición a estos metales a través del consumo de queso no representa un riesgo no carcinogénico significativo bajo las condiciones evaluadas. No obstante, se identificaron valores individuales de THQ superiores a la unidad en determinadas muestras, particularmente para mercurio en M1 (2,75), por lo que estos resultados puntuales deben ser considerados en la evaluación del riesgo.

• **Cobre (Cu):** presentó un THQ promedio de $3{,}55 \times 10^{-2}$, inferior a 1, indicando que, en promedio, no se evidencia un riesgo no carcinogénico significativo asociado a la exposición a este metal.

• **Mercurio (Hg):** presentó un THQ promedio de $8{,}69 \times 10^{-2}$, inferior a 1. Sin embargo, en la muestra M1 se obtuvo un THQ de 2,75, superior a la unidad, constituyendo el valor individual más elevado registrado para este metal.

• **Zinc (Zn):** presentó un THQ promedio de $4{,}36 \times 10^{-2}$, inferior a 1, indicando que, en promedio, no se evidencia un riesgo no carcinogénico significativo bajo las condiciones evaluadas.

En términos generales, los valores promedio de THQ fueron inferiores a la unidad; sin embargo, se identificaron algunos valores individuales superiores a 1. Asimismo, el índice de

peligrosidad (HI) promedio fue de $5{,}54 \times 10^{-1}$, inferior a 1, aunque las muestras M1, M23 y M30 presentaron valores individuales de HI superiores a la unidad.

3.7.METALES SIN RIESGO NO CARCINOGÉNICO

Los elementos cadmio (Cd), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni) y plomo (Pb) presentaron valores promedio de THQ inferiores a la unidad (THQ < 1), con valores de $1{,}19 \times 10^{-3}$, $3{,}45 \times 10^{-3}$, $5{,}49 \times 10^{-3}$, $4{,}16 \times 10^{-3}$, $1{,}05 \times 10^{-3}$ y $1{,}09 \times 10^{-2}$, respectivamente. Estos resultados indican que, en promedio, la exposición estimada mediante el consumo de queso se mantuvo por debajo de las dosis de referencia consideradas para cada elemento.

• **Plomo (Pb):** Presentó un THQ promedio de $1{,}09 \times 10^{-2}$, inferior a 1. Sin embargo, se identificaron diferencias entre las muestras analizadas, por lo que resulta pertinente mantener el seguimiento de este elemento debido a su importancia toxicológica.

• **Hierro (Fe) y manganeso (Mn):** Presentaron valores promedio de THQ de $5{,}49 \times 10^{-3}$ y $4{,}16 \times 10^{-3}$, respectivamente, ambos inferiores a la unidad. Bajo las condiciones de exposición consideradas, estos valores no evidencian un riesgo no carcinogénico significativo en términos promedio.

• **Cadmio (Cd), cromo (Cr) y níquel (Ni):** Presentaron valores promedio de THQ de $1{,}19 \times 10^{-3}$, $3{,}45 \times 10^{-3}$ y $1{,}05 \times 10^{-3}$, respectivamente, todos inferiores a 1, lo que indica que la exposición estimada se mantuvo por debajo de las dosis de referencia empleadas en el cálculo del riesgo.

3.8.ÍNDICE DE PELIGROSIDAD (HI)

El índice de peligrosidad (HI) promedio calculado fue de $5{,}54 \times 10^{-1}$, valor inferior a la unidad, lo que indica que, en promedio, la exposición combinada a los metales evaluados mediante el consumo de queso no representa un riesgo no carcinogénico significativo bajo las condiciones consideradas en el presente estudio. No obstante, se identificaron valores de HI superiores a la unidad en las muestras M1, M23 y M30, por lo que estas muestras constituyen situaciones puntuales que deben ser consideradas en la evaluación del riesgo. En este sentido, se recomienda mantener el monitoreo de la calidad de los productos lácteos y de la presencia de metales en estos alimentos.

Tabla 19. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (1-10).

Muestras Metales	EDI M1	EDI M2	EDI M3	EDI M4	EDI M5	EDI M6	EDI M7	EDI M8	EDI M9	EDI M10
Al	8.311 × 10-2					2.567 × 10-3				
As	1.638 × 10-4	3.52 × 10-5								
Ba	2.689 × 10-4	7.456 × 10-4	1.161 × 10-4	1.271 × 10-3	5.133 × 10-4	1.271 × 10-3	1.577 × 10-4	2.444 × 10-4	6.111 × 10-4	3.544 × 10-4
B	3.667 × 10-3	1.626 × 10-3								
Cd	4.767 × 10-5									
Cu	1.161 × 10-3	7.089 × 10-4	7.578 × 10-4	9.289 × 10-4	1.027 × 10-3	1.797 × 10-3	2.909 × 10-3	1.907 × 10-3	3.239 × 10-3	2.31 × 10-3
Cr	4.143 × 10-4									
Sn	2.762 × 10-3	7.944 × 10-4	4.84 × 10-4	4.168 × 10-4	3.41 × 10-4	7.333 × 10-4	5.256 × 10-4	1.014 × 10-3	7.944 × 10-4	3.52 × 10-4
Sr	2.713 × 10-3	3.447 × 10-3	2.64 × 10-3	4.522 × 10-3	2.799 × 10-3	3.716 × 10-3	2.567 × 10-3	3.434 × 10-3	2.53 × 10-3	3.263 × 10-3
Fe	1.882 × 10-2	6.6 × 10-4							2.86 × 10-4	
Li	6.136 × 10-5	4.461 × 10-4	3.96 × 10-5	9.778 × 10-5	3.679 × 10-4	2.958 × 10-4	1.173 × 10-4	5.671 × 10-5	1.137 × 10-4	7.578 × 10-5
Mn	5.744 × 10-5			9.044 × 10-5		1.21 × 10-4		8.556 × 10-5	8.494 × 10-4	
Hg	2.75 × 10-4	1.943 × 10-5	9.9 × 10-6	7.7 × 10-6	6.967 × 10-6	9.167 × 10-6	3.667 × 10-6	8.556 × 10-6	3.654 × 10-6	3.569 × 10-6
Mo		3.3 × 10-5		3.789 × 10-5	4.278 × 10-5	6.722 × 10-5		4.156 × 10-5	9.044 × 10-5	5.989 × 10-5
Ni		6.967 × 10-5		1.797 × 10-5					4.877 × 10-5	
Ag										
Pb	7.944 × 10-5							5.133 × 10-5		
Se	6.233 × 10-5							1.467 × 10-4		
Ti	5.867 × 10-4									
U										
V	1.222 × 10-4									
Zn	1.049 × 10-2	1.107 × 10-2	1.414 × 10-2	1.749 × 10-2	1.17 × 10-2	1.249 × 10-2	1.391 × 10-2	1.943 × 10-2	1.357 × 10-2	1.238 × 10-2

Tabla 20. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (11-20).

Muestras Metales	EDI M11	EDI M12	EDI M13	EDI M14	EDI M15	EDI M16	EDI M17	EDI M18	EDI M19	EDI M20
Al										
As								2.493 × 10-5		
Ba	1.968 × 10-4	9.289 × 10-4	1.296 × 10-3	7.7 × 10-4	1.1 × 10-3	1.516 × 10-3	3.667 × 10-4	3.789 × 10-4	2.444 × 10-4	2.322 × 10-4
B							1.528 × 10-3			
Cd										
Cu	2.994 × 10-3	4.302 × 10-3	5.414 × 10-3	6.967 × 10-3	2.946 × 10-4	4.889 × 10-4	2.518 × 10-4	2.713 × 10-4	3.129 × 10-4	1.992 × 10-4
Cr										
Sn	4.62 × 10-4	3.936 × 10-4	2.029 × 10-4	1.687 × 10-4						
Sr	2.237 × 10-3	3.019 × 10-3	2.726 × 10-3	3.654 × 10-3	3.214 × 10-3	3.789 × 10-3	2.371 × 10-3	2.004 × 10-3	2.579 × 10-3	2.567 × 10-3
Fe	9.533 × 10-4	2.224 × 10-4		5.537 × 10-4	3.642 × 10-3				6.661 × 10-4	
Li	8.067 × 10-5	1.564 × 10-4	7.822 × 10-4	2.652 × 10-4	9.656 × 10-5	1.956 × 10-4	4.828 × 10-4			
Mn	9.167 × 10-5	8.189 × 10-5	4.009 × 10-4	1.54 × 10-4	3.239 × 10-4	3.508 × 10-4	7.578 × 10-5	1.271 × 10-4	1.454 × 10-4	6.722 × 10-5
Hg										
Mo			5.133 × 10-5					3.789 × 10-5		
Ni										
Ag										
Pb			8.311 × 10-5	3.911 × 10-5		5.256 × 10-5		3.056 × 10-5	7.089 × 10-5	9.167 × 10-5
Se	6.844 × 10-5	1.1 × 10-4		1.137 × 10-4	6.111 × 10-5		9.411 × 10-5			9.778 × 10-5
Ti										
U										
V										
Zn	1.365 × 10-2	1.577 × 10-2	1.291 × 10-2	1.133 × 10-2	1.597 × 10-2	1.833 × 10-2	1.299 × 10-2	1.407 × 10-2	1.408 × 10-2	1.495 × 10-2

Tabla 21. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (21-30).

Muestras Metales	EDI M21	EDI M22	EDI M23	EDI M24	EDI M25	EDI M26	EDI M27	EDI M28	EDI M29	EDI M30
Al						3.178 × 10-3				
As								2.579 × 10-5		
Ba	2.078 × 10-4	8.556 × 10-4	2.286 × 10-3	3.789 × 10-4	4.156 × 10-4	1.943 × 10-4	3.3 × 10-4	9.167 × 10-4	2.567 × 10-4	6.6 × 10-4
B										
Cd										
Cu	1.956 × 10-4	1.124 × 10-3	1.439 × 10-3	3.581 × 10-3	4.18 × 10-3	1.198 × 10-3	1.601 × 10-3	1.577 × 10-3	2.017 × 10-3	1.601 × 10-4
Cr										
Sn										
Sr	3.459 × 10-3	1.98 × 10-3	2.837 × 10-3	1.613 × 10-3	6.844 × 10-4	5.867 × 10-4	2.09 × 10-3	4.4 × 10-3	1.259 × 10-3	1.674 × 10-3
Fe	5.463 × 10-4	3.092 × 10-3	1.909 × 10-3		3.434 × 10-3	1.772 × 10-2	8.556 × 10-5	4.009 × 10-4	4.033 × 10-4	1.063 × 10-3
Li	8.311 × 10-5				1.32 × 10-4	3.838 × 10-5				5.72 × 10-5
Mn	3.569 × 10-4	1.186 × 10-4	1.385 × 10-4	6.233 × 10-5	1.149 × 10-4	8.189 × 10-5	8.189 × 10-5	7.578 × 10-5	9.9 × 10-5	7.822 × 10-5
Hg										
Mo					4.033 × 10-5					
Ni					7.944 × 10-5	5.39 × 10-5	9.167 × 10-5			1.797 × 10-5
Ag					4.351 × 10-5	3.3 × 10-5		5.928 × 10-5		4.449 × 10-5
Pb	5.011 × 10-5	3.911 × 10-5	6.05 × 10-5	4.033 × 10-5	4.046 × 10-4	5.622 × 10-5	8.067 × 10-5	4.767 × 10-5	1.1 × 10-4	5.744 × 10-5
Se	5.256 × 10-5	5.378 × 10-5	1.344 × 10-4					5.133 × 10-5	1.149 × 10-4	
Ti					2.567 × 10-4	1.613 × 10-4	1.112 × 10-4			7.492 × 10-4
U										3.447 × 10-5
V										
Zn	1.505 × 10-2	1.882 × 10-2	2.528 × 10-2	2.127 × 10-2	1.797 × 10-2	7.26 × 10-3	1.882 × 10-2	1.397 × 10-2	9.533 × 10-3	1.19 × 10-2

Tabla 22. Resultados de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) por muestra (31-40).

Muestras Metales	EDI M31	EDI M32	EDI M33	EDI M34	EDI M35	EDI M36	EDI M37	EDI M38	EDI M39	EDI M40
Al										
As							3.544 × 10-5			
Ba		1.931 × 10-4	5.256 × 10-4		3.911 × 10-4	7.7 × 10-4				5.867 × 10-5
B							1.723 × 10-3			
Cd										
Cu	9.533 × 10-5	2.848 × 10-4	1.528 × 10-4			5.989 × 10-5		4.339 × 10-4	3.899 × 10-4	
Cr										
Sn										
Sr	1.161 × 10-3	5.744 × 10-4	3.972 × 10-3	9.656 × 10-4	2.628 × 10-3	4.033 × 10-3	1.149 × 10-3	2.701 × 10-3	2.628 × 10-3	1.332 × 10-3
Fe			1.137 × 10-2							
Li					3.08 × 10-4		2.457 × 10-4	7.333 × 10-5		2.224 × 10-4
Mn	2.444 × 10-4				1.692 × 10-2		9.448 × 10-4			9.778 × 10-4
Hg										
Mo										
Ni			2.469 × 10-4			2.139 × 10-4				
Ag										
Pb			4.4 × 10-5			3.422 × 10-5				
Se	1.626 × 10-4		4.767 × 10-5	5.256 × 10-5						
Ti	1.736 × 10-4	2.066 × 10-4						1.222 × 10-5		
U								4.889 × 10-6		
V										
Zn	6.087 × 10-3	8.262 × 10-3	1.32 × 10-2	8.262 × 10-3	6.013 × 10-3	1.27 × 10-2	7.016 × 10-3	7.126 × 10-3	6.991 × 10-3	6.783 × 10-3

De las Tablas 19,20,21 y 22, correspondientes a los valores de ingesta diaria estimada (EDI), se observó variabilidad en la exposición a los elementos analizados entre las 40 muestras de queso evaluadas. Los mayores valores de EDI correspondieron al aluminio (Al) en la muestra M1, con $8{,}311 \times 10^{-2}$ mg/(kg·día); al zinc (Zn) en la muestra M23, con $2{,}528 \times 10^{-2}$ mg/(kg·día); al hierro (Fe) en la muestra M1, con $1{,}882 \times 10^{-2}$ mg/(kg·día); y al manganeso (Mn) en la muestra M35, con $1{,}692 \times 10^{-2}$ mg/(kg·día). En contraste, elementos como cadmio (Cd), mercurio (Hg) y molibdeno (Mo) presentaron valores de EDI inferiores en comparación con los elementos antes señalados. Estos resultados reflejan la variabilidad de las concentraciones de los elementos detectados en las muestras de queso y permitieron estimar la exposición diaria potencial de los consumidores. Los valores de EDI obtenidos constituyeron la base para la posterior evaluación del riesgo no carcinogénico mediante el cálculo del cociente de riesgo objetivo (THQ) y del índice de peligrosidad (HI)

Tabla 23. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (1-10).

Muestra / Metales	THQ M1	THQ M2	THQ M3	THQ M4	THQ M5	THQ M6	THQ M7	THQ M8	THQ M9	THQ M10
Al	5.812 × 10-1					1.795 × 10-2				
As	5.459 × 10-1	1.173 × 10-1								
Ba	1.344 × 10-1	3.728 × 10-1	5.806 × 10-2	6.356 × 10-1	2.567 × 10-1	6.356 × 10-1	7.883 × 10-2	1.222 × 10-1	3.056 × 10-1	1.772 × 10-1
B	1.833 × 10-2	8.128 × 10-3								
Cd	4.767 × 10-2									
Cu	2.903 × 10-2	1.772 × 10-2	1.894 × 10-2	2.322 × 10-2	2.567 × 10-2	4.492 × 10-2	7.272 × 10-2	4.767 × 10-2	8.097 × 10-2	5.775 × 10-2
Cr	1.381 × 10-1									
Sn	3.069 × 10-3	8.827 × 10-4	5.378 × 10-4	4.631 × 10-4	3.789 × 10-4	8.148 × 10-4	5.84 × 10-4	1.127 × 10-3	8.827 × 10-4	3.911 × 10-4
Fe	6.274 × 10-2	2.2 × 10-3							9.533 × 10-4	
Mn	4.103 × 10-4			6.46 × 10-4		8.643 × 10-4		6.111 × 10-4	6.067 × 10-3	
Hg	2.75	1.943 × 10-1	9.9 × 10-2	7.7 × 10-2	6.967 × 10-2	9.167 × 10-2	3.667 × 10-2	8.556 × 10-2	3.654 × 10-2	3.569 × 10-2
Mo		6.6 × 10-3		7.578 × 10-3	8.556 × 10-3	1.344 × 10-2		8.311 × 10-3	1.809 × 10-2	1.198 × 10-2
Ni		3.483 × 10-3		8.983 × 10-4					2.438 × 10-3	
Ag										
Pb	2.27 × 10-2							1.467 × 10-2		
U										
V	8.73 × 10-1									
Zn	3.496 × 10-2	3.691 × 10-2	4.714 × 10-2	5.83 × 10-2	3.899 × 10-2	4.164 × 10-2	4.636 × 10-2	6.478 × 10-2	4.522 × 10-2	4.127 × 10-2
HI	4.66	7.604 × 10-1	2.237 × 10-1	8.037 × 10-1	3.999 × 10-1	8.289 × 10-1	2.352 × 10-1	3.449 × 10-1	4.967 × 10-1	3.243 × 10-1

Tabla 24. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (11-20).

Muestra / Metales	THQ M11	THQ M12	THQ M13	THQ M14	THQ M15	THQ M16	THQ M17	THQ M18	THQ M19	THQ M20
Al										
As								8.311 × 10-2		
Ba	9.839 × 10-2	4.644 × 10-1	6.478 × 10-1	3.85 × 10-1	5.5 × 10-1	7.578 × 10-1	1.833 × 10-1	1.894 × 10-1	1.222 × 10-1	1.161 × 10-1
B							7.639 × 10-3			
Cd										
Cu	7.486 × 10-2	1.076 × 10-1	1.354 × 10-1	1.742 × 10-1	7.364 × 10-3	1.222 × 10-2	6.294 × 10-3	6.783 × 10-3	7.822 × 10-3	4.981 × 10-3
Cr										
Sn	5.133 × 10-4	4.373 × 10-4	2.254 × 10-4	1.874 × 10-4						
Fe	3.178 × 10-3	7.415 × 10-4		1.846 × 10-3	1.214 × 10-2				2.22 × 10-3	
Mn	6.548 × 10-4	5.849 × 10-4	2.863 × 10-3	1.1 × 10-3	2.313 × 10-3	2.506 × 10-3	5.413 × 10-4	9.079 × 10-4	1.039 × 10-3	4.802 × 10-4
Hg										
Mo			1.027 × 10-2					7.578 × 10-3		
Ni										
Ag										
Pb			2.375 × 10-2	1.117 × 10-2		1.502 × 10-2		8.73 × 10-3	2.025 × 10-2	2.619 × 10-2
U										
V										
Zn	4.551 × 10-2	5.256 × 10-2	4.302 × 10-2	3.777 × 10-2	5.325 × 10-2	6.111 × 10-2	4.331 × 10-2	4.689 × 10-2	4.693 × 10-2	4.983 × 10-2
HI	2.231 × 10-1	6.263 × 10-1	8.633 × 10-1	6.112 × 10-1	6.251 × 10-1	8.486 × 10-1	2.411 × 10-1	3.434 × 10-1	2.005 × 10-1	1.976 × 10-1

Tabla 25. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (21-30).

Muestra / Metales	THQ M21	THQ M22	THQ M23	THQ M24	THQ M25	THQ M26	THQ M27	THQ M28	THQ M29	THQ M30
Al						2.222 × 10-2				
As								8.596 × 10-2		
Ba	1.039 × 10-1	4.278 × 10-1	1.143	1.894 × 10-1	2.078 × 10-1	9.717 × 10-2	1.65 × 10-1	4.583 × 10-1	1.283 × 10-1	3.3 × 10-1
B										
Cd										
Cu	4.889 × 10-3	2.811 × 10-2	3.596 × 10-2	8.953 × 10-2	1.045 × 10-1	2.994 × 10-2	4.003 × 10-2	3.942 × 10-2	5.042 × 10-2	4.003 × 10-3
Cr										
Sn										
Fe	1.821 × 10-3	1.031 × 10-2	6.364 × 10-3		1.145 × 10-2	5.907 × 10-2	2.852 × 10-4	1.336 × 10-3	1.344 × 10-3	3.544 × 10-3
Mn	2.549 × 10-3	8.468 × 10-4	9.891 × 10-4	4.452 × 10-4	8.206 × 10-4	5.849 × 10-4	5.849 × 10-4	5.413 × 10-4	7.071 × 10-4	5.587 × 10-4
Hg										
Mo					8.067 × 10-3					
Ni					3.972 × 10-3	2.695 × 10-3	4.583 × 10-3			8.983 × 10-4
Ag					8.702 × 10-3	6.6 × 10-3		1.186 × 10-2		8.898 × 10-3
Pb	1.432 × 10-2	1.117 × 10-2	1.729 × 10-2	1.152 × 10-2	1.156 × 10-1	1.606 × 10-2	2.305 × 10-2	1.362 × 10-2	3.143 × 10-2	1.641 × 10-2
U										1.149
V										
Zn	5.015 × 10-2	6.274 × 10-2	8.425 × 10-2	7.089 × 10-2	5.989 × 10-2	2.42 × 10-2	6.274 × 10-2	4.657 × 10-2	3.178 × 10-2	3.968 × 10-2
HI	1.776 × 10-1	5.41 × 10-1	1.288	3.618 × 10-1	5.208 × 10-1	2.363 × 10-1	2.963 × 10-1	6.576 × 10-1	2.44 × 10-1	1.553

Tabla 26. Resultados del cociente de riesgo objetivo (THQ) por muestra (31-40)

Muestra / Metales	THQ M31	THQ M32	THQ M33	THQ M34	THQ M35	THQ M36	THQ M37	THQ M38	THQ M39	THQ M40
Al										
As							1.181 × 10-1			
Ba		9.656 × 10-2	2.628 × 10-1		1.956 × 10-1	3.85 × 10-1				2.933 × 10-2
B							8.617 × 10-3			
Cd										
Cu	2.383 × 10-3	7.119 × 10-3	3.819 × 10-3			1.497 × 10-3		1.085 × 10-2	9.747 × 10-3	
Cr										
Sn										
Fe			3.789 × 10-2							
Mn	1.746 × 10-3				1.208 × 10-1		6.748 × 10-3			6.984 × 10-3
Hg										
Mo										
Ni			1.234 × 10-2			1.069 × 10-2				
Ag										
Pb			1.257 × 10-2			9.778 × 10-3				
U								1.63 × 10-1		
V										
Zn	2.029 × 10-2	2.754 × 10-2	4.4 × 10-2	2.754 × 10-2	2.004 × 10-2	4.233 × 10-2	2.339 × 10-2	2.375 × 10-2	2.33 × 10-2	2.261 × 10-2
HI	2.442 × 10-2	1.312 × 10-1	3.734 × 10-1	2.754 × 10-2	3.364 × 10-1	4.493 × 10-1	1.569 × 10-1	1.976 × 10-1	3.305 × 10-2	5.892 × 10-2

De las Tablas 23,24.25 y 26, correspondientes al cociente de riesgo objetivo (THQ), se observó que la mayoría de los valores obtenidos fueron inferiores a la unidad. Sin embargo, se identificaron algunos valores superiores a 1, principalmente para mercurio (Hg) en la muestra M1, con un THQ de 2,750, seguido de uranio (U) en la muestra M30, con un THQ de 1,149, y bario (Ba) en la muestra M23, con un THQ de 1,143. Estos resultados indican que, para determinadas combinaciones de metal y muestra, la exposición estimada supera el valor de referencia establecido para el THQ, lo que evidencia una posible preocupación por riesgo no carcinogénico bajo las condiciones de exposición consideradas.

3.6.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron la presencia de diversos elementos metálicos en los quesos comercializados en Arequipa. Se detectaron concentraciones de plomo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), aluminio (Al) y molibdeno (Mo), mientras que el cadmio (Cd) y el arsénico (As) se encontraron por debajo del límite de detección en la mayoría de los análisis. Estos resultados evidencian variabilidad en la presencia y concentración de los elementos metálicos entre las muestras de queso evaluadas.

Estos hallazgos presentan similitudes con lo reportado por Al Sidawi et al. (36), quienes determinaron la presencia de diversos metales pesados en leche y queso producidos en la región de Kvemo Kartli, Georgia, encontrando concentraciones que, para algunos elementos, superaron los valores establecidos por la normativa europea. En comparación con dicho estudio, los niveles de plomo encontrados en los quesos analizados en Arequipa fueron menores. Esta diferencia podría estar relacionada con las características ambientales, las fuentes de exposición y las condiciones de producción propias de cada zona.

Por otro lado, en el presente estudio, el cobre y el cromo presentaron concentraciones máximas superiores a los valores de referencia internacionales utilizados para la comparación. La presencia de estos elementos podría estar relacionada con factores ambientales o con las condiciones de procesamiento y manipulación de los quesos. Sin embargo, debido a que en el presente estudio no se evaluaron directamente las fuentes de contaminación, no es posible establecer una causa específica. Estos resultados resaltan la importancia del control de las condiciones de producción y de la vigilancia de la presencia de elementos metálicos en los productos lácteos.

3.6.1. Comparación con estudios andinos y nacionales

Los valores de plomo y cadmio encontrados en los quesos comercializados en Arequipa fueron inferiores a los reportados en estudios realizados en zonas con influencia de actividades minero-metalúrgicas de los Andes centrales del Perú, donde se han registrado concentraciones considerablemente más elevadas de estos elementos (38). Asimismo, los resultados obtenidos permiten realizar una comparación con investigaciones nacionales sobre productos lácteos, considerando las diferencias en el tipo de producto, procedencia y condiciones de producción. Estas diferencias pueden estar relacionadas con las características ambientales de las zonas estudiadas, las fuentes de exposición y las condiciones de procesamiento de los productos lácteos.

3.6.2.Evaluación toxicológica y riesgo

El cálculo de la ingesta diaria estimada (EDI) y del cociente de riesgo objetivo (THQ) permitió evaluar la exposición a los elementos metálicos mediante el consumo de queso. La mayoría de los valores de THQ fueron inferiores a la unidad; sin embargo, se identificaron valores superiores a 1 en algunas combinaciones de metal y muestra. El mayor valor correspondió al mercurio (Hg) en la muestra M1, con un THQ de 2,750, seguido del uranio (U) en la muestra M30, con un THQ de 1,149, y del bario (Ba) en la muestra M23, con un THQ de 1,143. Estos resultados indican que, para determinadas muestras, la exposición estimada a algunos elementos metálicos supera el valor de referencia utilizado para la evaluación del riesgo no carcinogénico.

Asimismo, se identificaron concentraciones elevadas de algunos elementos metálicos en determinadas muestras, particularmente de mercurio, aluminio, bario y uranio. Estos resultados constituyen un aspecto relevante desde el punto de vista sanitario y resaltan la importancia de

mantener un monitoreo continuo de la presencia de elementos metálicos en los productos lácteos comercializados en la ciudad de Arequipa.

La evaluación mediante el índice de peligrosidad (HI) mostró que la mayoría de las muestras presentaron valores inferiores a la unidad; sin embargo, las muestras M1, M23 y M30 presentaron valores de HI superiores a 1, con 5,242; 1,288 y 1,544, respectivamente. Estos resultados sugieren una posible preocupación por riesgo no carcinogénico en dichas muestras bajo las condiciones de exposición consideradas en el presente estudio.

3.6.3.Bioacumulación

Diversos estudios han señalado que la presencia de elementos metálicos en productos lácteos puede estar relacionada con su ocurrencia en el suelo, el agua y los forrajes, debido a la transferencia de estos elementos a través de la cadena alimentaria. En este contexto, las condiciones ambientales de las zonas de producción pueden influir en la concentración de elementos metálicos presentes en la leche y sus derivados.

En el presente estudio se observaron concentraciones variables de plomo entre las muestras de queso analizadas. Sin embargo, debido a que no se evaluaron directamente las concentraciones de estos elementos en el suelo, agua o forraje de las zonas de procedencia, no es posible establecer una relación directa entre las concentraciones encontradas en los quesos y una fuente ambiental específica.

Por ello, los resultados obtenidos permiten considerar la influencia de factores ambientales y de las condiciones de producción como posibles factores asociados a la presencia de elementos

metálicos en los quesos. La comparación con estudios realizados en otras regiones también evidencia que las características geográficas y ambientales pueden contribuir a las diferencias observadas en la concentración de estos elementos en productos lácteos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

1. Se logró cuantificar las concentraciones de metales en las 40 muestras de queso analizadas, registrándose los valores máximos para aluminio (226,67 mg/kg), zinc (68,93 mg/kg), hierro (51,33 mg/kg) y manganeso (46,13 mg/kg). Asimismo, se evidenció la presencia de plomo (1,10 mg/kg), mercurio (0,75 mg/kg), cromo (1,13 mg/kg) y molibdeno (0,25 mg/kg), evidenciando variabilidad en las concentraciones de los elementos determinados en los productos evaluados.

2. Mediante la caracterización por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), se identificaron bandas características en las regiones de 3300–3000 cm^{-1}, 1740–1650 cm^{-1}, 1470–1400 cm^{-1} y 1200–900 cm^{-1}, correspondientes a grupos funcionales asociados principalmente con agua, proteínas, lípidos y carbohidratos, confirmando la presencia de componentes característicos de los quesos artesanales e industriales analizados.

3. Al comparar las concentraciones de los metales analizados con los valores de referencia internacionales utilizados en el estudio, se determinó que siete metales presentaron concentraciones máximas superiores a los límites establecidos. Los valores máximos correspondieron al aluminio (226,67 mg/kg), cobre (19,00 mg/kg), cromo (1,13 mg/kg), estroncio (12,33 mg/kg), mercurio (0,75 mg/kg), molibdeno (0,25 mg/kg) y plomo (1,10 mg/kg), mientras que los demás metales evaluados se mantuvieron dentro de los valores de referencia disponibles.

4. Se estimó la exposición a los metales mediante la ingesta diaria estimada (EDI) y se evaluó el riesgo no carcinogénico mediante el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el índice de peligrosidad (HI). Los mayores valores de EDI correspondieron al aluminio en la muestra M1

(8,311 × 10^{-2} mg/(kg·día)), zinc en la muestra M23 (2,528 × 10^{-2} mg/(kg·día)), hierro en la muestra M1 (1,882 × 10^{-2} mg/(kg·día)) y manganeso en la muestra M35 (1,692 × 10^{-2} mg/(kg·día)). El mayor valor individual de THQ correspondió al mercurio en la muestra M1 (2,75). Asimismo, el HI promedio fue de 5,54 × 10^{-1}, valor inferior a la unidad. Sin embargo, se identificaron valores de HI superiores a 1 en las muestras M1, M23 y M30, por lo que, si bien el riesgo no carcinogénico promedio fue inferior a la unidad, estas muestras representan situaciones puntuales que requieren especial consideración.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda fortalecer la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) durante la elaboración de quesos, especialmente en las etapas de selección y control de las materias primas, procesamiento, almacenamiento y envasado. Esta recomendación se sustenta en la variabilidad observada en las concentraciones de metales pesados entre las muestras analizadas, por lo que resulta pertinente reforzar las medidas de control que permitan reducir posibles fuentes de incorporación de estos elementos durante la elaboración y manipulación de los productos.

2. Se recomienda realizar un monitoreo periódico de las concentraciones de metales pesados en los quesos comercializados en la ciudad de Arequipa, priorizando el seguimiento de aluminio, cobre, cromo, estroncio, mercurio, molibdeno y plomo, cuyos valores máximos superaron los valores de referencia utilizados en el presente estudio. Este monitoreo permitiría generar información complementaria para el seguimiento de la calidad e inocuidad de los quesos comercializados.

3. Se recomienda desarrollar investigaciones posteriores que amplíen el número de muestras, los puntos de comercialización y el periodo de muestreo, así como estudios orientados a identificar las posibles fuentes de incorporación de los metales pesados en los quesos. Asimismo, se sugiere profundizar la evaluación del riesgo toxicológico en las muestras que presentaron valores de HI superiores a 1, particularmente M1, M23 y M30, con la finalidad de obtener mayor información sobre las condiciones que podrían estar asociadas con estos resultados.

REFERENCIAS

1. Z. Alinezhad. M. Hashemi. y S. B. Tavakoly Sany. «Concentration of heavy metals in pasteurized and sterilized milk and health risk assessment across the globe: A systematic review». PLOS ONE. vol. 19. n.o 2. p. e0296649. feb. 2024. doi: 10.1371/journal.pone.0296649.
2. T. Flores. V. G. Andía Flores. E. Chura Zea. y J. Mamani Paredes. «Cheese value chain in the highlands of Southern Peru: critical success factors». J. Agribus. Dev. Emerg. Econ.. vol. 15. n.o 1. pp. 185-205. ene. 2025. doi: 10.1108/JADEE-11-2022-0253.
3. A. Boudebbouz. S. Boudalia. A. Bousbia. S. Habila. M. I. Boussadia. y Y. Gueroui. «Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review». Sci. Total Environ.. vol. 751. p. 141830. ene. 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141830.
4. J. Castro-Bedriñana. D. Chirinos-Peinado. E. Ríos-Ríos. G. Castro-Chirinos. P. Chagua-Rodríguez. y G. De La Cruz-Calderón. «Lead. Cadmium. and Arsenic in Raw Cow's Milk in a Central Andean Area and Risks for the Peruvian Populations». Toxics. vol. 11. n.o 10. p. 809. sep. 2023. doi: 10.3390/toxics11100809.
5. A. Ismail. M. Riaz. S. Akhtar. J. E. Goodwill. y J. Sun. «Heavy metals in milk: global prevalence and health risk assessment». Toxin Rev.. vol. 38. n.o 1. pp. 1-12. ene. 2019. doi: 10.1080/15569543.2017.1399276.
6. M. E. Johnson. «A 100-Year Review: Cheese production and quality». J. Dairy Sci.. vol. 100. n.o 12. pp. 9952-9965. dic. 2017. doi: 10.3168/jds.2017-12979.
7. C. Hernández-Morales. A. Hernández-Montes. E. Aguirre-Mandujano. y A. V. De Gante. «Physicochemical. microbiological. textural and sensory characterisation of Mexican Añejo cheese». Int. J. Dairy Technol.. vol. 63. n.o 4. pp. 552-560. nov. 2010. doi: 10.1111/j.1471-0307.2010.00615.x.
8. Codex Alimentarius Commission. General standard for cheese: CXS 283-1978 [Internet]. Rome: FAO/WHO; 1978 [citado 2026 jul 14]. Disponible en: **https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/all-standards/es/**

9. S. Y. Ganie. D. Javaid. Y. A. Hajam. y M. S. Reshi. «Arsenic toxicity: sources. pathophysiology and mechanism». Toxicol. Res.. vol. 13. n.o 1. p. tfad111. ene. 2024. doi: 10.1093/toxres/tfad111.
10. Y. Li et al.. «Toxic effects of cadmium on the physiological and biochemical attributes of plants. and phytoremediation strategies: A review». Environ. Pollut.. vol. 325. p. 121433. may. 2023. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121433.
11. A. Monga. A. B. Fulke. y D. Dasgupta. «Recent developments in essentiality of trivalent chromium and toxicity of hexavalent chromium: Implications on human health and remediation strategies». J. Hazard. Mater. Adv.. vol. 7. p. 100113. ago. 2022. doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100113.
12. M. S. Collin et al.. «Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review». J. Hazard. Mater. Adv.. vol. 7. p. 100094. ago. 2022. doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100094.
13. M. Yan et al.. «Heavy metal levels in milk and dairy products and health risk assessment: A systematic review of studies in China». Sci. Total Environ.. vol. 851. p. 158161. dic. 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158161.
14. J. L. Domingo. «Concentrations of toxic elements (As. Cd. Hg and Pb) in cow milk: A review of the recent scientific literature». Int. J. Dairy Technol.. vol. 74. n.o 2. pp. 277-285. may. 2021. doi: 10.1111/1471-0307.12764.
15. A. Rahimi. E. Talebi Ghane. y F. Mehri. «Concentration of potentially toxic elements (PTEs) in milk and its product: a systematic review and meta-analysis and health risk assessment study». Int. J. Environ. Anal. Chem.. vol. 103. n.o 19. pp. 7736-7750. dic. 2023. doi: 10.1080/03067319.2021.1974428.
16. M. K. Abd Elnabi et al.. «Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review». Toxics. vol. 11. n.o 7. p. 580. jul. 2023. doi: 10.3390/toxics11070580.
17. M. Balali-Mood. K. Naseri. Z. Tahergorabi. M. R. Khazdair. y M. Sadeghi. «Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury. Lead. Chromium. Cadmium. and Arsenic». Front. Pharmacol.. vol. 12. p. 643972. abr. 2021. doi: 10.3389/fphar.2021.643972.

18. K. Renu et al.. «Molecular mechanism of heavy metals (Lead. Chromium. Arsenic. Mercury. Nickel and Cadmium)-induced hepatotoxicity – A review». Chemosphere. vol. 271. p. 129735. may. 2021. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129735.
19. M. Huerta Alata et al.. «Evaluation of Environmental Contamination by Toxic Elements in Agricultural Soils and Their Health Risks in the City of Arequipa. Peru». Sustainability. vol. 15. n.o 4. p. 3829. feb. 2023. doi: 10.3390/su15043829.
20. S. Liu. Z. Han. X. Kong. J. Zhang. Z. Lv. y G. Yuan. «Organic matrix effects in inductively coupled plasma mass spectrometry: a tutorial review». Appl. Spectrosc. Rev.. vol. 57. n.o 6. pp. 461-489. jul. 2022. doi: 10.1080/05704928.2021.1897991.
21. H. S. Yang. D. R. LaFrance. y Y. Hao. «Elemental Testing Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry in Clinical Laboratories». Am. J. Clin. Pathol.. vol. 156. n.o 2. pp. 167-175. jul. 2021. doi: 10.1093/ajcp/aqab013.
22. M. F. Mesko. P. A. Mello. C. A. Bizzi. V. L. Dressler. G. Knapp. y É. M. M. Flores. «Iodine determination in food by inductively coupled plasma mass spectrometry after digestion by microwave-induced combustion». Anal. Bioanal. Chem.. vol. 398. n.o 2. pp. 1125-1131. sep. 2010. doi: 10.1007/s00216-010-3766-9.
23. T. Van Acker. S. Theiner. E. Bolea-Fernandez. F. Vanhaecke. y G. Koellensperger. «Inductively coupled plasma mass spectrometry». Nat. Rev. Methods Primer. vol. 3. n.o 1. p. 52. jul. 2023. doi: 10.1038/s43586-023-00235-w.
24. E. Bulska y B. Wagner. «Quantitative aspects of inductively coupled plasma mass spectrometry». Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.. vol. 374. n.o 2079. p. 20150369. oct. 2016. doi: 10.1098/rsta.2015.0369.
25. R. L. Moirana. T. Kivevele. J. Mkunda. K. Mtei. y R. Machunda. «Trends towards Effective Analysis of Fluorinated Compounds Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)». J. Anal. Methods Chem.. vol. 2021. pp. 1-11. feb. 2021. doi: 10.1155/2021/8837315.
26. S. A. Gegenschatz. F. A. Chiappini. C. M. Teglia. A. Muñoz De La Peña. y H. C. Goicoechea. «Binding the gap between experiments. statistics. and method comparison: A tutorial for computing limits of detection and quantification in univariate calibration for complex samples». Anal. Chim. Acta. vol. 1209. p. 339342. may. 2022. doi: 10.1016/j.aca.2021.339342.

27. S. Magalhães. B. J. Goodfellow. y A. Nunes. «FTIR spectroscopy in biomedical research: how to get the most out of its potential». Appl. Spectrosc. Rev.. vol. 56. n.o 8-10. pp. 869-907. nov. 2021. doi: 10.1080/05704928.2021.1946822.
28. K. Schmidt. S. A. L. Paul. y E. P. Achterberg. «Assessing the availability of trace metals including rare earth elements in deep ocean waters of the Clarion Clipperton Zone. NE Pacific: Application of an in situ DGT passive sampling method». TrAC Trends Anal. Chem.. vol. 155. p. 116657. oct. 2022. doi: 10.1016/j.trac.2022.116657.
29. L. E. Rodriguez-Saona. N. Koca. W. J. Harper. y V. B. Alvarez. «Rapid Determination of Swiss Cheese Composition by Fourier Transform Infrared/Attenuated Total Reflectance Spectroscopy». J. Dairy Sci.. vol. 89. n.o 5. pp. 1407-1412. may. 2006. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72209-3.
30. F. Wang. A. P. Liu. F. Z. Ren. X. Y. Zhang. S. Clark. L. D. Zhang. y H. Y. Guo. «FTIR analysis of protein secondary structure in Cheddar cheese during ripening». Spectrosc. Spectral Anal.. vol. 31. n.o 7. pp. 1786-1789. jul. 2011. doi: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)07-1786-04.
31. M. I. Foda. W. K. Bahgaat. J. M. Kassem. y S. E. Aly. «Fourier transform infrared (FTIR) spectra in relation to the composition of white soft cheese». World Appl. Sci. J.. vol. 26. n.o 3. pp. 289-295. 2013. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.26.03.13477.
32. A. Subramanian. V. B. Alvarez. W. J. Harper. y L. E. Rodriguez-Saona. «Monitoring amino acids. organic acids. and ripening changes in Cheddar cheese using Fourier-transform infrared spectroscopy». Int. Dairy J.. vol. 21. n.o 6. pp. 434-440. jun. 2011. doi: 10.1016/j.idairyj.2010.12.012.
33. H. Yaman. D. P. Aykas. y L. E. Rodriguez-Saona. «Monitoring Turkish white cheese ripening by portable FT-IR spectroscopy». Front. Nutr.. vol. 10. p. 1107491. feb. 2023. doi: 10.3389/fnut.2023.1107491.
34. World Health Organization. Reports of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) [Internet]. Geneva: WHO; [citado 2026 jul 14]. Disponible en: **https://www.who.int/groups/joint-fao-who-expert-committee-on-food-additives-(jecfa)/publications/reports**
35. World Health Organization. WHO global strategy for food safety 2022-2030: towards stronger food safety systems and global cooperation [Internet]. Geneva: WHO; 2022

[citado 2026 jul 14]. Disponible en: **https://www.who.int/publications/i/item/9789240057685**

36. R. Al Sidawi. G. Ghambashidze. T. Urushadze. y A. Ploeger. «Heavy Metal Levels in Milk and Cheese Produced in the Kvemo Kartli Region. Georgia». Foods. vol. 10. n.o 9. p. 2234. sep. 2021. doi: 10.3390/foods10092234.
37. M. Elafify et al.. «Heavy metal residues in milk and some dairy products with insight into their health risk assessment and the role of Lactobacillus rhamnosus in reducing the lead and cadmium load in cheese». Food Chem. Adv.. vol. 2. p. 100261. oct. 2023. doi: 10.1016/j.focha.2023.100261.
38. J. Castro-Bedriñana. D. Chirinos-Peinado. E. Ríos-Ríos. M. Machuca-Campuzano. y E. Gómez-Ventura. «Dietary risk of milk contaminated with lead and cadmium in areas near mining-metallurgical industries in the Central Andes of Peru». Ecotoxicol. Environ. Saf.. vol. 220. p. 112382. sep. 2021. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112382.

ANEXOS

Anexo 1. Recolección en Mercado San Camilo; B. Recolección en Feria.

A



B

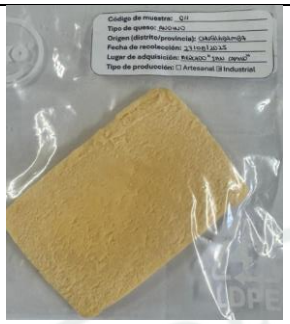
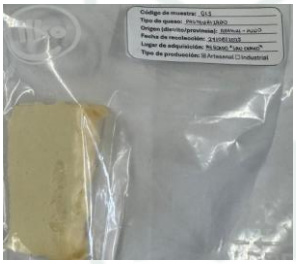
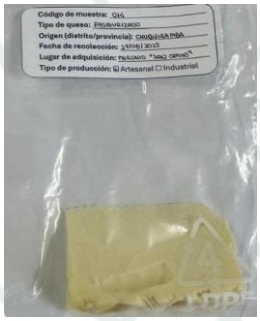


Anexo 2.Codificación y registro fotográfico de las muestras de queso.

CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	

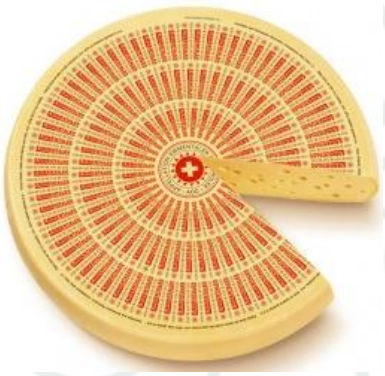
CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

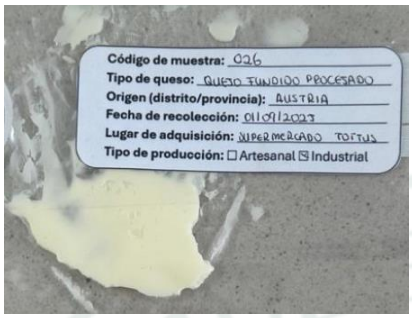
CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

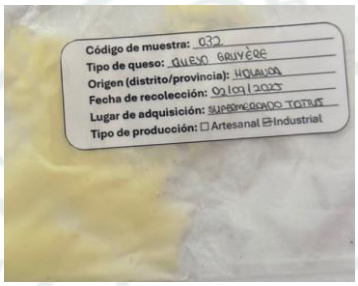
CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

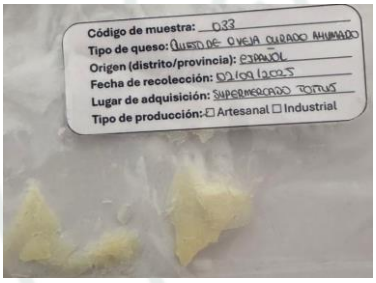
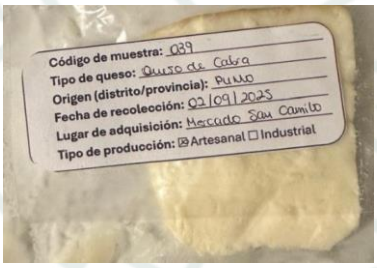
CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

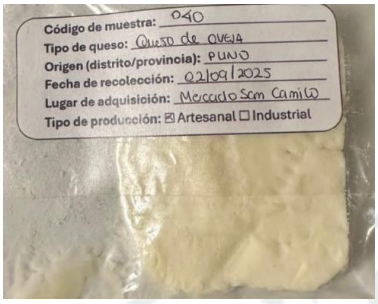
CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	

CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	
	
	
	

CODIFICACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
	

Anexo 3.Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa.



Anexo 4. Proceso de trituración de las muestras de queso con mortero y pistilo**.**



Anexo 5.A. Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa.



001



002



003



004



005



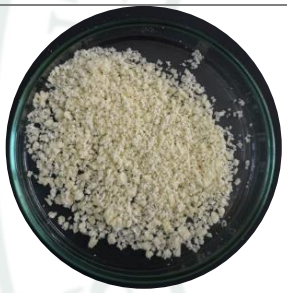
006



007



008



009



010



011



012



013



014



015



016

Anexo 5.B. Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa.



017



018



019



020



021



022



023



024



025



026



027



028



029



030



031



032

Anexo 5.C. Muestras de queso colocadas en cápsulas para el proceso de secado en estufa.



033 **034** **035** **036**



037 **038** **039** **040**

Anexo 6.A. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M1	M2	M3	M4
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	0,68	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	0,00134	0,000288	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0022	0,0061	0,00095	0,0104
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	0,0300	0,0133	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	0,00039	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	22,3	20,7	24,3	29,7
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,0095	0,0058	0,0062	0,0076
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	0,00339	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	0,0226	0,0065	0,00396	0,00341
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0222	0,0282	0,0216	0,037
Fósforo (P)	0,02	mg/L	15,1	14,1	15,8	20,4
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	0,154	0,0054	<0,00009	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	0,000502	0,00365	0,000324	0,00080
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	1,14	0,90	1,01	1,04
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	0,00047	<0,00006	<0,00006	0,00074
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	0,00225	0,000159	0,000081	0,000063
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	<0,00004	0,00027	<0,00004	0,00031
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	<0,00002	0,00057	<0,00002	0,000147
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	0,00065	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Potasio (K)	0,02	mg/L	1,98	2,52	2,30	1,70
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	0,00051	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	0,39	<0,05	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	29,3	24,8	27,2	19,3
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	0,0048	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	0,00100	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,0858	0,0906	0,1157	0,1431

Anexo 6.B. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M5	M6	M7	M8
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	0,0210	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0042	0,0104	0,00129	0,0020
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	20,8	18,6	24,8	33,0
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,0084	0,0147	0,0238	0,0156
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	0,00279	0,0060	0,00430	0,0083
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0229	0,0304	0,0210	0,0281
Fósforo (P)	0,02	mg/L	14,0	12,6	16,7	20,2
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	0,00301	0,00242	0,00096	0,000464
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	0,87	0,86	0,99	1,51
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	<0,00006	0,00099	<0,00006	0,00070
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	0,000057	0,000075	0,0000300	0,000070
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	0,00035	0,00055	<0,00004	0,00034
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	0,00042
Potasio (K)	0,02	mg/L	1,52	1,92	2,65	1,81
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	0,00120
Silicio (Si)	0,05	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	33,2	19,5	20,4	61,0
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,0957	0,1022	0,1138	0,159

Anexo 6.C. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M9	M10	M11	M12
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:00	2025-09-03 15:30	2025-09-03 15:30
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0050	0,0029	0,00161	0,0076
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	21,4	20,8	21,7	27,4
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,0265	0,0189	0,0245	0,0352
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	0,0065	0,00288	0,00378	0,00322
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0207	0,0267	0,0183	0,0247
Fósforo (P)	0,02	mg/L	15,2	14,4	15,2	17,9
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	0,00234	<0,00009	0,0078	0,00182
Litio (Li)	0,00005	mg/L	0,00093	0,00062	0,00066	0,00128
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	0,92	0,93	1,01	1,17
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	0,00695	<0,00006	0,00075	0,00067
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	0,0000299	0,0000292	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	0,00074	0,00049	<0,00004	<0,00004
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	0,000399	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Potasio (K)	0,02	mg/L	2,69	2,48	2,42	2,47
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	0,00056	0,00090
Silicio (Si)	0,05	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	31,8	27,2	30,5	23,9
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	0,000386	0,000363	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,1110	0,1013	0,1117	0,1290

Anexo 6.D. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M13	M14	M15	M16
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 15:30	2025-09-03 15:30	2025-09-03 15:30	2025-09-03 15:30
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0106	0,0063	0,0090	0,0124
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	21,9	20,2	29,6	27,6
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,0443	0,057	0,00241	0,0040
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	0,00166	0,00138	<0,00003	<0,00003
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0223	0,0299	0,0263	0,0310
Fósforo (P)	0,02	mg/L	14,6	13,8	20,3	18,0
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	<0,00009	0,00453	0,0298	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	0,0064	0,00217	0,00079	0,00160
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	1,15	0,90	1,09	1,08
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	0,00328	0,00126	0,00265	0,00287
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	0,00042	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	0,00068	0,00032	<0,00004	0,00043
Potasio (K)	0,02	mg/L	2,97	2,12	2,10	2,17
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	<0,00006	0,00093	0,00050	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	<0,05	<0,05	0,13	0,18
Sodio (Na)	0,003	mg/L	49,0	18,8	17,0	17,0
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,1056	0,0927	0,1307	0,15

Anexo 6.E. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M21	M22	M23	M24
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 16:00	2025-09-03 16:00	2025-09-03 16:00	2025-09-03 16:00
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0017	0,0070	0,017	0,0031
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	26,6	32,6	35,6	34,2
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,00160	0,0092	0,0107	0,0293
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0283	0,0162	0,0211	0,0132
Fósforo (P)	0,02	mg/L	17,8	20,6	22,4	22,6
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	0,00447	0,0253	0,0142	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	0,00068	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	1,06	1,22	1,10	1,43
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	0,00292	0,00097	0,00103	0,00051
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	0,00041	0,00032	0,00045	0,00033
Potasio (K)	0,02	mg/L	1,84	1,98	2,33	3,36
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	0,00043	0,00044	0,00100	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	<0,05	0,15	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	33,9	12,0	23,8	5,06
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,1231	0,154	0,188	0,174

Anexo 6.F. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M29	M30	M31	M32
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 16:00	2025-09-03 16:00	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30
		Tipo de Muestra	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0021	0,0054	<0,00007	0,00158
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	14,2	20,9	16,1	15,2
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,0165	0,00131	0,00078	0,00233
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0103	0,0137	0,0095	0,0047
Fósforo (P)	0,02	mg/L	10,7	30,9	12,3	27,9
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	0,00330	0,0087	<0,00009	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	<0,00005	0,000468	<0,00005	<0,00005
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	0,87	0,85	1,21	0,77
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	0,00081	0,00064	0,00200	<0,00006
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	<0,00002	0,000147	<0,00002	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	0,000364	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	0,00090	0,00047	<0,00004	<0,00004
Potasio (K)	0,02	mg/L	6,63	2,22	4,06	4,67
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	0,00094	<0,00006	0,00133	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	0,082	0,164	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	51,0	36,6	52,3	29,3
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	0,00613	0,00142	0,00169
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	0,000282	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,0780	0,0974	0,0498	0,0676

Anexo 6.G. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M33	M34	M35	M36
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,0043	<0,00007	0,0032	0,0063
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	26,9	12,9	10,5	23,1
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,00125	<0,00004	<0,00004	0,00049
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0325	0,0079	0,0215	0,033
Fósforo (P)	0,02	mg/L	19,0	9,9	7,9	16,4
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	0,093	<0,00009	<0,00009	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	0,00252	<0,00005
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	1,58	0,76	0,64	0,99
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	0,1384	<0,00006
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	0,00202	<0,00002	<0,00002	0,00175
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	0,00036	<0,00004	<0,00004	0,00028
Potasio (K)	0,02	mg/L	4,29	6,14	4,39	2,41
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	0,00039	0,00043	<0,00006	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	0,161	0,091	0,26	0,123
Sodio (Na)	0,003	mg/L	21,8	47,0	54,8	10,9
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,1080	0,0676	0,0492	0,1039

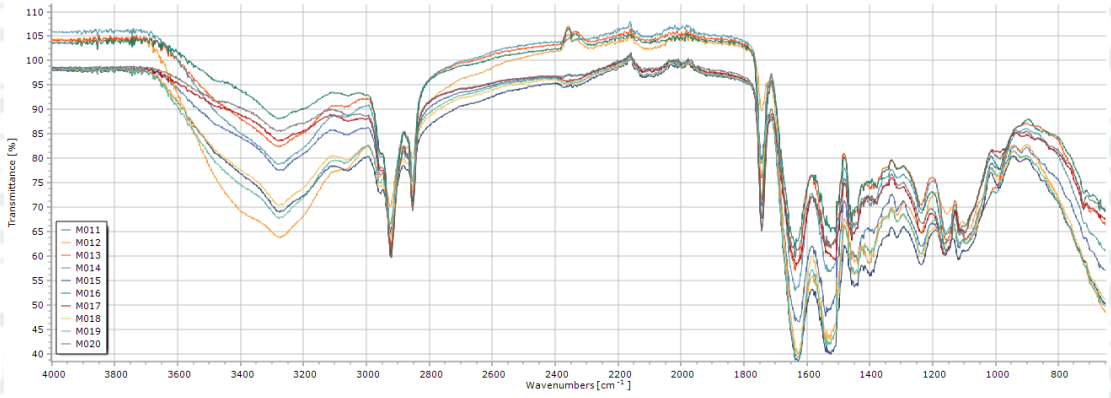
Anexo 6.H. Reportes de resultados emitidos por CERPER (ICP-MS).

		Estación de Muestreo	M37	M38	M39	M40
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30	2025-09-03 16:30
		Tipo de Muestra	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual	Aqua Residual
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Totales por ICP-MS						
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	0,000290	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007	<0,00007	0,00048
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	0,0141	<0,002	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	15,1	20,3	22,3	14,5
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	<0,00004	0,00355	0,00319	<0,00004
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	0,0094	0,0221	0,0215	0,0109
Fósforo (P)	0,02	mg/L	11,3	13,7	16,0	10,7
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009
Litio (Li)	0,00005	mg/L	0,00201	0,00060	<0,00005	0,00182
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	1,32	0,99	0,94	1,30
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	0,00773	<0,00006	<0,00006	0,00800
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Potasio (K)	0,02	mg/L	3,71	3,79	3,69	3,64
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	0,095	0,128	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	22,0	12,3	12,6	21,9
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,0574	0,0583	0,0572	0,0555

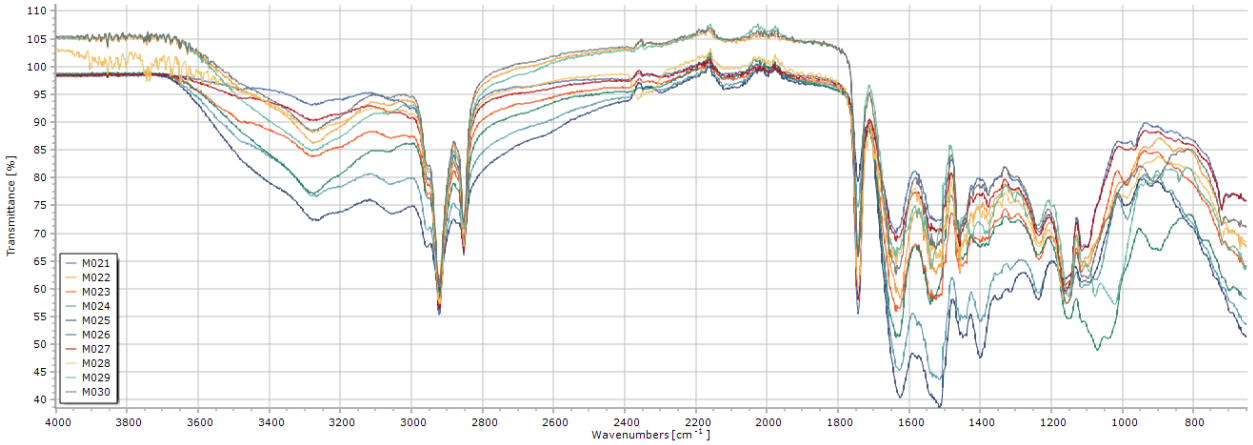
Anexo 7.A. Espectros FTIR de quesos (muestras 1–10).



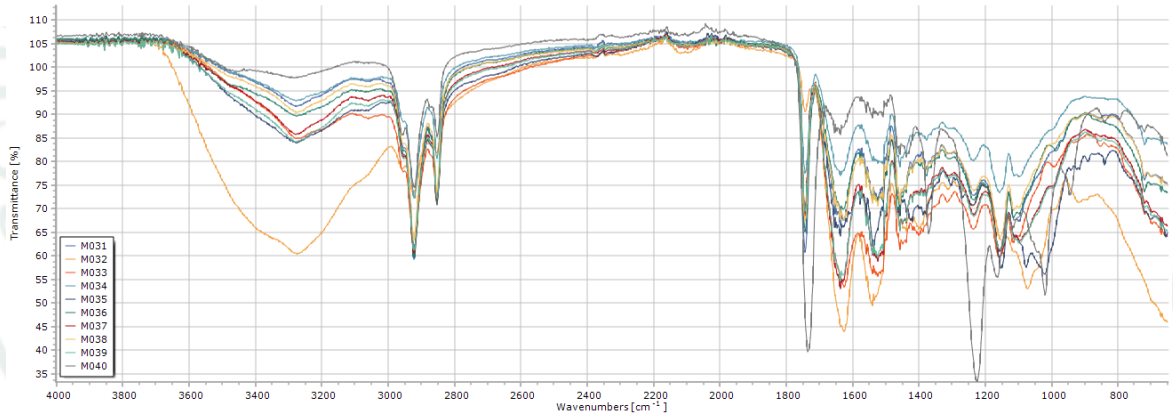
Anexo 7.B. Espectros FTIR de quesos (muestras 11–20).



Anexo 7.C. Espectros FTIR de quesos (muestras 21–30).



Anexo 7.D. Espectros FTIR de quesos (muestras 31–40).



Anexo 8. Cálculos de la evaluación del riesgo toxicológico

A. Conversión de la concentración obtenida por ICP-MS a mg/kg de muestra

Debido a que el equipo ICP-MS reportó las concentraciones de los metales en mg/L de la solución digestada, los resultados fueron convertidos a mg/kg de muestra considerando el volumen final de digestión (50 mL) y la masa de muestra analizada (0.15 g).

$$Factor = \frac{0.050\ L}{0.00015\ kg} = 333.33\ L/kg$$

Por tanto:

$C_{muestra} = C_{ICP-MS} \times 333.33$

Donde C_{ICP-MS} corresponde a la concentración reportada por el equipo en mg/L y $C_{muestra}$ corresponde a la concentración expresada en mg/kg de queso.

B. Cálculo de EDI

Para la muestra M1, la concentración de aluminio fue de 226.6667 mg/kg. La Ingesta Diaria Estimada (EDI) se calculó mediante la siguiente expresión:

$$EDI = \frac{C\ \times IR}{PC}$$

Donde:

- C = 226.6667 mg/kg
- IR = 0.022 kg/día
- PC = 60 kg

$$EDI = \frac{226.6667 \times 0.022}{60} = 0.083111\ mg/kg \cdot dia$$

C. Cálculo de THQ

El Cociente de Riesgo Objetivo (THQ) para aluminio se calculó relacionando la EDI obtenida con la dosis de referencia (RfD) correspondiente

$$THQ = \frac{EDI}{RfD}$$

$$THQ = \frac{0.083111}{0.143} = 0.581197$$

D. Cálculo del HI

El Índice de Peligrosidad (HI) se determinó mediante la sumatoria de los valores de THQ de los metales considerados en la evaluación toxicológica de cada muestra.

$$HI = \sum THQ$$