

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias de la Salud**

**Revisión sistemática sobre la presencia de metales pesados: plomo (Pb), cadmio (Cd) y talio (Tl) en leche de vaca y sus diferentes métodos de análisis.**

**Martin Emilio Garcés Rivadeneira**

**Medicina Veterinaria**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Médico Veterinario

Quito, 13 de mayo de 2021

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ**

**Colegio de Ciencias de la Salud**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Revisión sistemática sobre la presencia de metales pesados: plomo (Pb),  
cadmio (Cd) y talio (Tl) en leche de vaca y sus diferentes métodos de  
análisis.**

**Martin Emilio Garcés Rivadeneira**

**Nombre del profesor, Título académico**

Lenin Vinueza, M.Sc, DMVZ

Quito, 13 de mayo de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Martin Emilio Garcés Rivadeneira

Código: 00130646

Cédula de identidad: 1723153803

Lugar y fecha: Quito, 13 de mayo de 2021

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

En esta revisión sistemática se presentan un análisis de artículos científicos que presentan estudios sobre la presencia de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y talio (TI) en leche cruda de vaca desde enero del 2019 a marzo del 2021; enfocándose en los países y continentes en donde son realizados estos estudios y en los métodos de análisis utilizados. Se utilizaron diferentes palabras clave como “leche, análisis, detección, niveles” para buscar artículos relacionados con el tema en diferentes bases de datos. Un total de 15 artículos publicados en diferentes partes del mundo desde enero del 2019, que analizaron estos metales pesados en leche cruda de vaca, fueron revisados. Los resultados recolectados mostraron que en los 15 estudios revisados se analizó la presencia de plomo en leche de vaca, en 14 de los 15 estudios se analizó cadmio y no se encontró ninguno sobre la presencia de talio. Para conocer la presencia de cadmio y plomo en leche cruda de vaca se encontró que fueron utilizados 4 diferentes métodos de análisis, el método más utilizado en ambos casos fue la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado, seguido por la Espectrometría de Absorción Atómica. Los países con más investigaciones realizadas para la presencia de cadmio en leche cruda de vaca desde enero del 2019 fueron: China con 3 estudios, seguido por Italia y Rumania con 2 artículos científicos cada uno. En el caso del plomo los resultados fueron iguales. Los continentes con más investigaciones realizadas fueron Asia y Europa con 6 artículos científicos reportados en ambos casos (cadmio y plomo). La exposición a estos metales pesados podría provocar en animales y personas alteraciones en el equilibrio fisiológico y el desarrollo de diferentes enfermedades. Por lo que la actualización de esta información puede servir como punto de partida para comprender el estado de la información existente y evaluar los efectos de los metales pesados en la salud de animales y personas en estudios que se realicen en el futuro, en especial de talio.

**Palabras clave:** metales pesados, leche cruda de vaca, métodos de análisis, cadmio, talio, plomo, valor máximo permitido.

## ABSTRACT

This systematic review presents an analysis of scientific articles that present studies on the presence of heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd) and thallium (TI), in raw cow's milk from January 2019 to March 2021; focusing on the countries and continents where these studies are carried out and the analysis methods used. Different keywords such as "milk, analysis, detection, levels" were used to search for articles related to the topic in databases. A total of 15 articles published in different parts of the world since January 2019 were reviewed, the 15 analyzed these heavy metals in raw cow's milk. The results collected showed that in the 15 studies reviewed, the presence of lead in milk was analyzed in all of them, in 14 of the 15 cow studies cadmium was analyzed and none were found analyzing thallium. To know the presence of cadmium and lead in raw cow's milk, it was found that four analysis methods were used. The most used method in both cases (Pb and Cd) was Coupled Plasma Mass Spectrometry, followed by Atomic absorption Spectrometry. The countries with the most research conducted for the presence of cadmium in raw cow's milk since January 2019 were China with three studies, followed by Italy and Romania with two scientific articles each. In the case of lead, the results were the same. The continents with the most research carried out were Asia and Europe with six scientific articles reported in both cases (cadmium and lead). Exposure to these heavy metals could cause alterations in the physiological balance in animals and people and the development of different diseases. Therefore, updating this information can serve as a starting point to understand the state of existing information and evaluate the effects of heavy metals on the health of animals and people in studies to be carried out in the future, especially of thallium.

**Keywords:** heavy metals, raw cow's milk, methods of analysis, cadmium, thallium, lead, maximum allowable value.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>Metodología:.....</b>	<b>11</b>
Búsqueda de literatura: .....	11
Criterios de inclusión y exclusión: .....	11
Manejo de fuentes bibliográficas:.....	11
<b>Resultados: .....</b>	<b>12</b>
Características de estudios elegibles: .....	12
Tablas y gráficos de resultados:.....	12
Leche cruda de vaca contaminada por metales pesados:.....	14
Plomo (Pb):.....	14
Cadmio (Cd): .....	16
Talio (TI): .....	17
Número de muestras por estudio: .....	17
<b>Discusión: .....</b>	<b>18</b>
Plomo:.....	20
Cadmio: .....	23
Talio:.....	25
Número de muestras recolectadas por estudio: .....	26
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>28</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b>	Artículos científicos utilizados.....	13
<b>Tabla 2.</b>	Artículos científicos que reportan presencia de metal pesado .....	13
<b>Tabla 3.</b>	Número de publicaciones por país (Pb) .....	15
<b>Tabla 4.</b>	Número de publicaciones por continente (Pb) .....	15
<b>Tabla 5.</b>	Número de publicaciones por país (Cd).....	17
<b>Tabla 6.</b>	Número de publicaciones por continente (Cd).....	17
<b>Tabla 7.</b>	Número de muestras por estudio.....	18

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Métodos de análisis (Pb) .....	14
<b>Gráfico 2.</b> Métodos de análisis (Cd).....	16

## INTRODUCCIÓN

La leche y los productos lácteos son una de las principales fuentes de alimento en el mundo. Estos productos aportan vitaminas, ácidos grasos, macro y micronutrientes, que contribuyen al crecimiento y desarrollo de huesos, y diferentes funciones del sistema inmune tanto en humanos como en animales. Los productos lácteos también aportan elementos químicos esenciales para el cuerpo humano y para el metabolismo, como el hierro, zinc y cobre. Sin embargo, cuando aumentan sus niveles pueden volverse tóxicos constituyendo un riesgo para la salud del ser humano y animales. Otros metales pesados como el cadmio, plomo y talio, son elementos que no tienen un rol biológico en el cuerpo y su presencia puede causar efectos tóxicos aun cuando se encuentran en pequeñas concentraciones (Boudebouz et al., 2021).

El plomo es uno de los metales más comunes de la industria, minería o puede ser expulsado durante la actividad volcánica (Boudebouz et al., 2021). Por otra parte el cadmio es utilizado en productos agrícolas (Reyes et al., 2016), y el talio es utilizado en rodenticidas y pesticidas en países en vías de desarrollo, como también en la industria del metal y manufacturación de componentes electrónicos (Nava-Ruiz & Méndez-Armenta, 2011).

La contaminación en leche de vaca por metales pesados se produce como consecuencia del consumo de pastizales y aguas contaminadas, y por las partículas de los metales que se encuentran en el aire. Siendo este un tema de salud pública ya que afectan no solamente al consumidor, que en este caso es el ser humano, sino también a los animales.

La presente revisión sistemática tuvo la finalidad de identificar, clasificar y sistematizar las publicaciones indexadas presentadas sobre la presencia de metales pesados: plomo, cadmio y talio, en leche cruda de vaca y los diferentes métodos de análisis que se utilizan.

Para de esta manera entender la situación de las investigaciones sobre el tema que se realizan en los diferentes países y continentes, así como los métodos de análisis que se utilizan y los valores máximos permitidos de presencia de plomo, cadmio y talio en leche cruda de vaca; reportados alrededor del mundo.

## **Metodología:**

### **Búsqueda de literatura:**

Esta revisión sistemática se basó en artículos originales publicados entre 2019 y 2021. En esta revisión se usó los motores de búsqueda PubMed y Elsevier, con las palabras clave: *leche, cadmio, talio, plomo, análisis, detección, niveles*. Después de la primera etapa de búsqueda, se revisó los artículos encontrados para la elegibilidad de esta revisión sistemática. Toda la información esencial fue extraída de los artículos seleccionados e insertada en una tabla de Excel para su análisis.

### **Criterios de inclusión y exclusión:**

El siguiente criterio de inclusión fue utilizado: niveles de metales pesados en leche de vaca cruda. Los siguientes criterios de exclusión se utilizaron: (1) leche de cualquier especie que no se vaca, (2) leche procesada, (3) análisis de otros productos de animales, (4) artículos científicos no publicados en idioma inglés o español, (5) revisiones sistemáticas o meta análisis, y (6) artículos científicos sin análisis de Pb, Cd o TI en leche. Para artículos duplicados se incluirá el que tenga la información más detallada del estudio.

### **Manejo de fuentes bibliográficas:**

Toda la bibliografía utilizada en este trabajo fue citada mediante el programa Zotero en formato APA.

**Resultados:****Características de estudios elegibles:**

La búsqueda computarizada en las 5 diferentes bases de datos científicas resultó en un número total de 98 documentos. De estos 98 documentos 29 fueron excluidos por analizar metales pesados en otros productos diferentes a la leche, 21 documentos quedaron fuera por realizar estudios en leche de especies que no pertenecían a vacas, 11 fueron excluidos por utilizar leche procesada en su estudio, 15 por no presentar análisis de Pb, Cd o TI, y 3 documentos fueron excluidos por ser revisiones sistemáticas o meta análisis. Se encontró 4 documentos duplicados. En conclusión, 15 artículos científicos cumplieron con el criterio de inclusión para esta revisión sistemática.

**Tablas y gráficos de resultados:**

El país de origen de los estudios, como también de los metales pesados que se analizan y sus autores se presentan en la Tabla 1 se describe la referencia de cada trabajo, país y continente de origen, y los metales pesados (Pb, Cd, TI) que analizan en cada estudio.

De igual manera se recolectó y sistematizo la información de la presencia de metales pesados en leche cruda en mayor cantidad a la de los valores máximos permitidos que han sido reportados en los artículos científicos utilizados en este trabajo (Tabla 2).

**Tabla 1. Artículos científicos utilizados**

Referencia	País	Continente	Plomo (Pb)	Cadmio (Cd)	Talio (TI)
Zhou, Zheng, et al., 2019	China	Asia	↗	↗	–
Zhou, Qu, et al., 2019	China	Asia	↗	↗	–
Zhang et al., 2020	China	Asia	↗	↗	–
De la Cueva et al., 2021	Ecuador	América	↗	–	–
Diab et al., 2020	Egipto	África	↗	↗	–
Denholm et al., 2019	Escocia	Europa	↗	↗	–
Capcarova et al., 2019	Eslovaquia	Europa	↗	↗	–
Yasothea et al., 2020	India	Asia	↗	↗	–
Scaramozzino et al., 2019	Italia	Europa	↗	↗	–
Tedesco et al., 2021	Italia	Europa	↗	↗	–
Chirinos-Peinado & Castro-Bedriñana, 2020	Perú	América	↗	↗	–
Miclean et al., 2019	Rumania	Europa	↗	↗	–
Năstăsescu et al., 2020	Rumania	Europa	↗	↗	–
Diyabalanage et al., 2021	Sri Lanka	Asia	↗	↗	–
Koyuncu & Alwazeer, 2019	Turquía	Asia	↗	↗	–

El símbolo ↗ se refiere a que ese metal pesado se analiza dentro del estudio y el símbolo – hace referencia a que no se incluye el análisis de ese metal pesado en el estudio.

**Tabla 1.** Artículos científicos que analizan la presencia de metales pesados (Pb, Cd, TI) en leche de vaca cruda publicados desde enero 2019 a marzo 2021 reportando su país y continente de origen, y metal analizado.

**Tabla 2. Artículos científicos que reportan presencia de metal pesado**

Referencia	Presencia de metal pesado mayor a VMPR			Valor máximo permitido reportado (VMPR)		
	Pb	Cd	TI	Pb	Cd	TI
Zhang et al., 2020	Si	Si	–	0,05 mg/L	0,01 mg/L	–
Zhou, Zheng, et al., 2019	No	No	–	0,02 mg/kg	–	–
Zhou, Qu, et al., 2019	No	Si	–	0,05 mg/kg	–	–
Denholm et al., 2019	No	No	–	20 ug/kg	–	–
Yasothea et al., 2020	Si	Si	–	0,02 mg/kg	0,01 mg/kg	–
Tedesco et al., 2021	No	No	–	–	–	–
Diyabalanage et al., 2021	Si	Si	–	20 ug/L	–	–
Koyuncu & Alwazeer, 2019	Si	No	–	20 ppb	10 ppb	–
Diab et al., 2020	Si	Si	–	0,0035 mg/kg	0,001 mg/kg	–
Capcarova et al., 2019	No	No	–	0,02 mg/L	0,05 mg/L	–
Scaramozzino et al., 2019	Si	No	–	0,0117 mg/kg	–	–
De la Cueva et al., 2021	Si	–	–	0,02 mg/kg	–	–
Chirinos-Peinado & Castro-Bedriñana, 2020	Si	Si	–	0,002 mg/kg	0,01 mg/kg	–
Miclean et al., 2019	Si	Si	–	0,004 mg/kg	0,001 mg/kg	–
Năstăsescu et al., 2020	Si	Si	–	0,064 ug/kg	0,032 ug/kg	–

El símbolo – significa que la información no fue reportada en el artículo científico

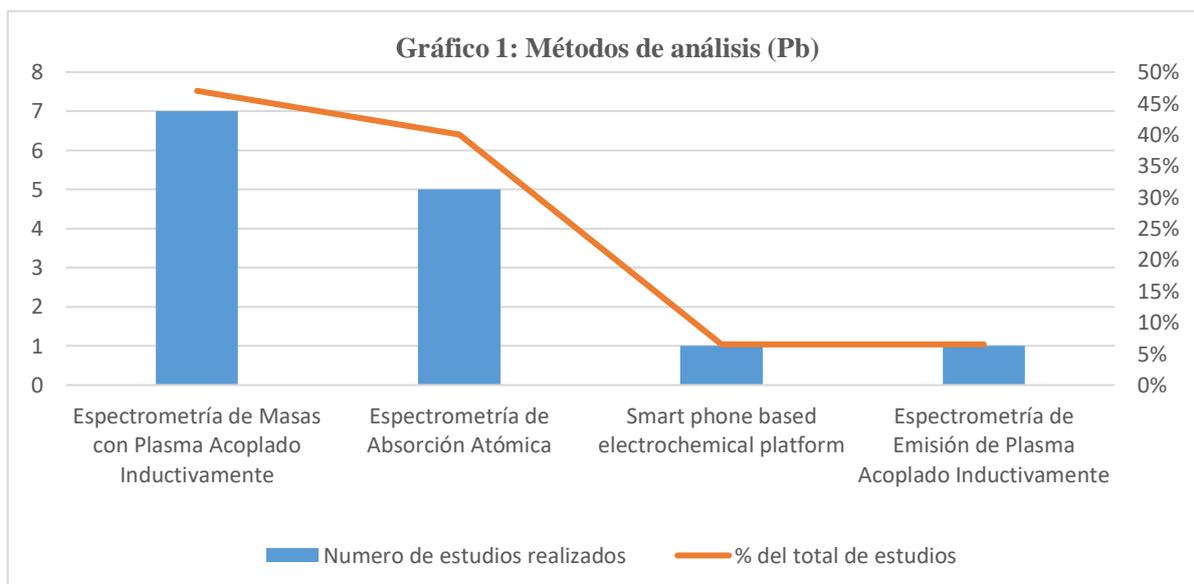
**Tabla 2.** Resultados de si existió o no presencia de metal pesado (Pb, Cd o TI) mayor al valor máximo permitido reportado (VMPR) en cada artículo científico y el VMPR reportado en cada artículo científico.

### **Leche cruda de vaca contaminada por metales pesados:**

#### ***Plomo (Pb):***

Se identificó 15 estudios en los cuales se analiza la presencia de plomo en muestras de leche cruda de vaca, los cuales fueron recolectados en 4 continentes distintos.

En el primer grafico se refleja el número de estudios realizados por método de análisis utilizado en relación al plomo en leche cruda de vaca en artículos encontrados durante la búsqueda sistemática desde el 2019. 47% (7 estudios) utilizaron Espectrometría de Masas con Plasma, Acoplado Inductivamente (ICP-MS), seguido por la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) con el 40% (6 estudios), otras técnicas utilizadas fueron la Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente con 1 estudio y finalmente se utilizó una plataforma electroquímica basada en un celular inteligente con 1 estudio, es decir 6.5% cada uno (Gráfico 1).



**Gráfico 1.** Métodos de análisis utilizados que fueron reportados para conocer la presencia de plomo en leche cruda de vaca, el número y porcentaje de estudios en los que fueron utilizados.

En la Tabla 3 se observa el número de publicaciones por país, China fue el país con más estudios realizados en los dos últimos años, con 3 publicaciones. A China le siguen Italia y Rumania con dos publicaciones cada una en los dos últimos años. Y finalmente tenemos a Ecuador, Egipto, Escocia, Eslovaquia, India, Perú, Sri Lanka y Turquía con una sola publicación cada una desde 2019 (Tabla 3).

**Tabla 3. Número de publicaciones por país (Pb)**

<b>País</b>	<b>Número de publicaciones</b>
China	3
Italia	2
Rumania	2
Ecuador	1
Egipto	1
Escocia	1
Eslovaquia	1
India	1
Perú	1
Sri Lanka	1
Turquía	1
<b>Total</b>	<b>15</b>

**Tabla 3.** Número de publicaciones en los cuales se analizó la presencia de Plomo en leche cruda de vaca por país desde el 2019.

En la Tabla 4 se ordenó las publicaciones por continente, Asia y Europa son los continentes con mayor número de publicaciones desde el 2019, con 6 artículos publicados cada uno. En América se realizaron 2 publicaciones y una en África.

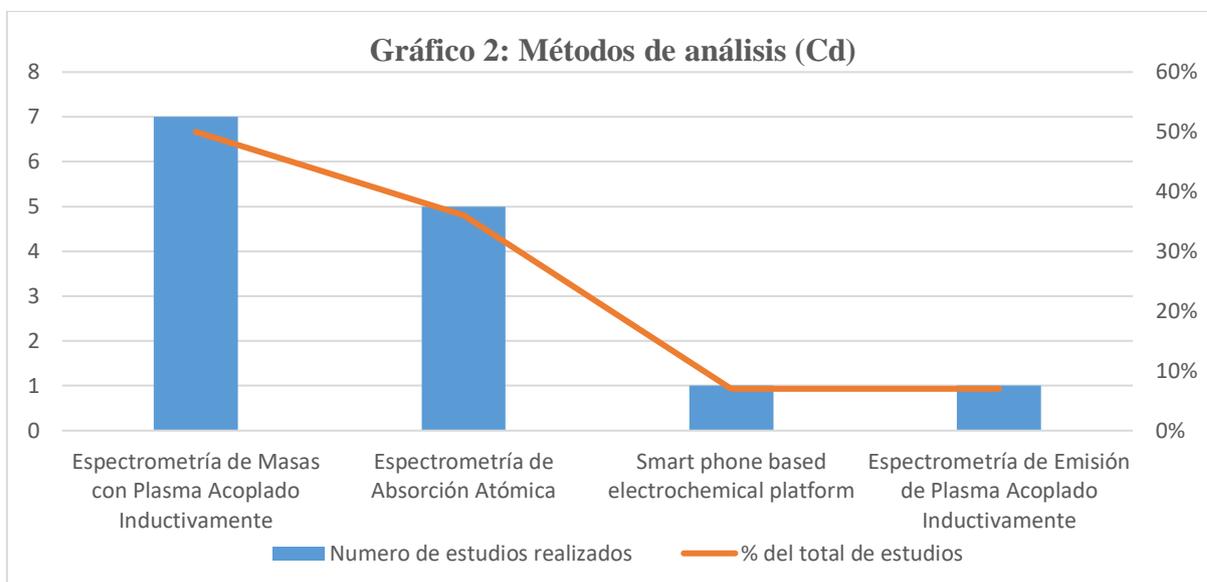
**Tabla 4. Número de publicaciones por continente (Pb)**

<b>Continente</b>	<b>Número de publicaciones</b>
Asia	6
Europa	6
América	2
África	1
<b>Total</b>	<b>15</b>

**Tabla 4.** Número de publicaciones por continente en los cuales se analizó la presencia de Plomo en leche cruda de vaca desde el 2019.

### ***Cadmio (Cd):***

De los 15 estudios recuperados para esta revisión, 14 estudios cuentan con la presencia de Cadmio en muestras de leche cruda de vaca en 10 diferentes países del mundo (Tabla 1).



**Gráfico 2.** Métodos de análisis utilizados que fueron reportados para conocer la presencia de cadmio en leche cruda de vaca, el número y porcentaje de estudios en los que fueron utilizados.

En el gráfico 2 se observa los diferentes métodos de análisis utilizados para analizar Cadmio en leche cruda de vaca. La técnica de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente en 7 estudios (50%) fue el método más utilizado. Seguido por la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica con 5 estudios (36%). En un solo estudio se utilizó la técnica de Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente (7%) y finalmente 1 estudio utilizó una plataforma electroquímica basada en un celular inteligente (7%) (Gráfico 2).

En la Tabla 5 consta el número de publicaciones con análisis de Cadmio por país. China volvió a hacer el país que más publicaciones ha realizado con 3, sobre Rumania e Italia que cuentan con 2 publicaciones cada una, y Egipto, Escocia, Eslovaquia, India, Sri Lanka, Turquía y Perú con 1 publicación cada uno en los dos últimos años.

**Tabla 5. Número de publicaciones por país (Cd)**

<b>País</b>	<b>Número de publicaciones</b>
China	3
Italia	2
Rumania	2
Egipto	1
Escocia	1
Eslovaquia	1
India	1
Perú	1
Sri Lanka	1
Turquía	1
<b>Total</b>	<b>14</b>

**Tabla 5.** Número de publicaciones por país en los cuales se analizó la presencia de Cadmio en leche cruda de vaca desde el 2019.

Sobre el análisis de artículos por continente, al igual que los artículos publicados a cerca de la presencia de Plomo en leche cruda de vaca (Tabla 4), Asia y Europa son los continentes con mayor número de publicaciones desde el 2019, con 6 artículos publicados cada uno. Después tenemos a América y África con 1 publicación cada uno (Tabla 6).

**Tabla 6. Número de publicaciones por continente (Cd)**

<b>Continente</b>	<b>Número de publicaciones</b>
Asia	6
Europa	6
América	1
África	1
<b>Total</b>	<b>14</b>

**Tabla 6.** Número de publicaciones por continente en los cuales se analizó la presencia de Cadmio en leche cruda de vaca desde el 2019.

#### ***Talio (TI):***

En la presente revisión sistemática, no se encontró ningún estudio realizado sobre la presencia de Talio en leche cruda de vaca desde el 2019.

#### **Número de muestras por estudio:**

En la Tabla 7 se organizó los estudios por referencia, método de análisis y número de muestras recolectadas. En esta tabla se organizó por el método de análisis utilizado para observar el número mínimo y el número máximo de muestras que se puede utilizar para que sea un estudio publicable.

**Tabla 7. Número de muestras por estudio**

Referencia	Método de análisis	Número de muestras recolectadas
Capcarova et al., 2019	EAA	10
Scaramozzino et al., 2019	EAA	18
De la Cueva et al., 2021	EAA	58
Chirinos-Peinado & Castro-Bedriñana, 2020	EAA	20
Miclean et al., 2019	EAA	No reportado
Năstăsescu et al., 2020	EAA	42
Diab et al., 2020	Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente	60
Zhou, Zheng, et al., 2019	ICP-MS	60
Zhou, Qu, et al., 2019	ICP-MS	997
Denholm et al., 2019	ICP-MS	950
Yasothea et al., 2020	ICP-MS	40
Tedesco et al., 2021	ICP-MS	229
Diyabalanage et al., 2021	ICP-MS	68
Koyuncu & Alwazeer, 2019	ICP-MS	20
Zhang et al., 2020	Smart phone based electrochemical platform	9

**ICP-MS** se refiere al método de análisis de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente y **EAA** a la técnica de análisis por Espectrometría de Absorción Atómica.

**Tabla 7.** Número de muestras recolectadas por estudio de presencia de metales pesados (Pb, Cd, TI) en leche de vaca cruda.

### Discusión:

Una vez que reportados los resultados, se encontraron 15 artículos científicos para la revisión sistemática del tema: *Análisis de metales pesados (Pb, Cd y TI) en leche cruda de vaca*. De estos 15 artículos científicos recolectados entre Enero de 2019 y Marzo de

2021, 15 analizan la presencia de plomo en leche, 14 analizan la presencia de cadmio en leche y no se encontró ningún artículo científico que analizara la presencia de talio en leche de vaca cruda (Tabla 1).

Las posibles fuentes de contaminación por plomo y cadmio para animales y humanos vienen del suelo, agua y aire. En el estudio de Yasotha et al., (2020) realizado en la India, donde se reportó la presencia de plomo y cadmio en leche de vacas (Tabla 2), la posible fuente de contaminación es el agua de ríos donde se desechan fluidos tóxicos por parte de diferentes fábricas industriales, en especial de pintura. En el caso de Diyabalanage et al., (2021), donde también se reporta la presencia de plomo y cadmio en leche de vaca en Sri Lanka, se encontró que la posible fuente es el abuso de sustancia agroquímicas para los pastos de consumo del ganado lechero. Otro lugar donde es posible que el uso de sustancias agroquímicas como pesticidas podría llegar a ser el causante de la presencia de cadmio y plomo en leche de vaca es en la investigación de Năstăsescu et al., (2020).

En el artículo científico de Zhang et al., (2020) reportó que existe presencia de plomo y cadmio en la leche, la posible fuente de contaminación es una fábrica que produce baterías de plomo que se encuentra cerca de la explotación lechera donde se tomaron las muestras. En Turquía, en el trabajo de Koyuncu & Alwazeer, (2019) se reporta que existe contaminación de plomo en las muestras de leche, la cual podría deberse a los desechos de plásticos PET en la zona ganadera. En la investigación de Diab et al., (2020) se reporta que la posible fuente de contaminación es el aumento industrial que ha tenido Egipto en los últimos años, en especial en zonas rurales, aumentando el riesgo de contaminación del medio ambiente por metales pesados.

En Italia Scaramozzino et al., (2019) reporta que las posibles fuentes de contaminación de plomo pueden ser lugares donde se incinera basura, vertederos de

residuos y fundidoras de aluminio, en este mismo documento se encontró presencia de plomo en leche cruda de vaca. En el Ecuador, De la Cueva et al., (2021) encontró presencia de plomo en leche cruda de vaca, en muestras recogidas cerca de una industria de producción de acero. En la investigación de Chirinos-Peinado & Castro-Bedriñana, (2020) realizada en Perú, se reportó que la posible fuente de contaminación es la actividad metalúrgica y minera que se realiza cerca de los lugares de pastoreo del ganado. Es decir que las principales fuentes de contaminación reportadas en estos trabajos son: las plantas industriales de metalúrgica, baterías, pintura, que desechen sus productos a fuentes de agua o por medio del aire; los productos agroquímicos como fertilizantes y pesticidas, y finalmente los lugares de desechos de quema y vertederos de basura.

#### **Plomo:**

Como se puede observar en el Gráfico 1, de los 15 estudios que se analizó al plomo en leche de vaca cruda, se reportó 4 diferentes métodos de análisis utilizados. La Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) fue el método más utilizado para analizar la presencia de plomo, siendo reportado en 7 (46.6%) investigaciones. El segundo método que más se utilizó, en 6 (40%) artículos científicos, fue la Espectrometría de Absorción Atómica (AAS). También se utilizó la Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente y una plataforma electroquímica basada en un celular inteligente en un estudio cada uno. Comparando los resultados obtenidos en esta investigación con los de la revisión sistemática de (Boudebouz et al., 2021) en la cual se recuperó información desde el 2010 hasta el 2020, de todos los artículos científicos que analizaron plomo en leche cruda de vaca, encontramos que los métodos más utilizados fueron AAS y el ICP-MS; con 36 y 10 estudios respectivamente (Boudebouz et al., 2021). Concluyendo que alrededor del mundo los métodos de análisis AAS y ICP-MS son los más utilizados desde el 2010 hasta la fecha.

En las Tablas 3 y 4 se realizó un análisis de los artículos científicos publicados por país y continente. En la Tabla 3 encontramos que 11 países alrededor del mundo han realizado análisis del contenido de plomo en producción láctea. Los países que más investigaciones han realizado en los dos últimos años han sido China, Italia y Rumania. Después tenemos 8 países con una publicación cada uno. Entre los artículos científicos más relevantes en esta investigación tenemos al de Ecuador (De la Cueva et al., 2021), puesto que con la información podremos conocer que métodos de análisis fueron utilizados, el número de muestras recolectadas, si es posible replicar o no este tipo de estudios en mayor número en nuestro país, y más importante la situación actual del país.

Por otro lado en la Tabla 4 se organiza por continente el número de publicaciones. Solo se registraron publicaciones en 4 continentes, de los cuales los que más investigación realizaron fueron Asia y Europa. En cada uno de estos continentes se han realizado 6 investigaciones sobre la presencia de plomo en leche cruda de vaca. Esto se debe a las regulaciones que se presentan en estas localidades del mundo, Europa en general y Asia especialmente en China existen leyes estrictas en los temas de contaminación y toxicidad de metales pesados en alimentos por el riesgo que implica en la salud pública. Las investigaciones en estos países se realizan en lugares de altos riesgos, es decir en sectores productores de leche que tengan cerca de sus instalaciones posibles fuentes de contaminación como fábricas industriales que se reportan en los trabajos de Yasotha et al., (2020) y Zhang et al., (2020) en Asia, o cerca de residuos de basura y basureros como reportan Scaramozzino et al., (2019) y Koyuncu & Alwazeer, (2019) en Europa.

Como ya se mencionó, el plomo es un metal pesado que podría afectar la salud animal y humana si es consumido en cantidades mayores a las recomendadas. Este metal se comporta como el calcio, una vez dentro del cuerpo de animales y humanos se acumula en huesos, hígado, riñones y otros tejidos estructurales. Esta acumulación de plomo

después es movilizada hacia la sangre, aumentando sus niveles en la misma, lo cual puede causar daños severos a órganos muy importantes como riñones y cerebro (Raikwar et al., 2008). Por lo que el consumo de lácteos como la leche cruda de vaca, que se producen cerca de posibles fuentes de contaminación de plomo podría contener valores mayores a los permitidos, creando un riesgo para la población.

En cada uno de estos documentos se reportan diferentes valores máximos permitidos de plomo en leche. Es importante conocer en cuales investigaciones el plomo en leche supero el límite máximo, cuales son estos valores máximos y sus fuentes. Esto nos servirá para conocer los valores a los que se rigen otros países y poder compararlos con resultados de futuras investigaciones que se realicen en nuestro país. En la Tabla 2 se observa que 10 documentos de los 15 que analizaron la presencia de plomo en leche cruda de vaca reportaron tener presencia de este metal mayor al valor máximo permitido reportado en su investigación.

Los valores máximos permitidos reportados vienen de varias fuentes, entre ellas: National Food Standar en China 0.05 mg/L (Zhang et al., 2020), en diferentes artículos encontramos que se utiliza el valor máximo reportado por la Unión Europea y el Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO) es de 0.02 mg/kg o 20 ug/L o 20 ppb dependiendo de las unidades utilizadas por el autor de la investigación (Diyabalanage et al., 2021; Koyuncu & Alwazeer, 2019; Miclean et al., 2019; Yasothea et al., 2020), también el valor de la European Food Safety Authority (EFSA) de 0.0117 mg/kg utilizado en una investigación de Italia (Scaramozzino et al., 2019), el valor reportado por NTE INEN en Ecuador es de 0.02 mg/kg (De la Cueva et al., 2021) y finalmente el valor del European Council utilizado en un trabajo en Rumania de 0.02 ug/g (Năstăsescu et al., 2020). En los artículos científicos donde no se reporta un valor máximo permitido en leche, se anotan los valores máximos de consumo diario o semanal y estos fueron comparados con los

valores encontrados de la presencia de plomo en leche, por lo que no figuran en la Tabla 2.

La situación actual de la contaminación por plomo en leche cruda de vaca en el Ecuador la podemos ver parcialmente reflejada en la investigación de (De la Cueva et al., 2021). En ese estudio se reportó valores de plomo mayores a los permitidos por el Codex Alimentarius y del NTE INEN 9 (0.02 mg/kg) en el 100% de las muestras de leche recolectadas en Machachi, Pichincha (De la Cueva et al., 2021). Estos altos niveles podría deberse a la alta exposición que tuvo el ganado a los residuos planta industrial de acero reportado en este estudio, pero también tenemos que tomar en cuenta que en la sierra de nuestro país existe una gran actividad volcánica donde los residuos de ceniza pueden contener metales pesados.

#### **Cadmio:**

De los 15 artículos científicos que fueron incluidos en esta investigación, 14 presentaron análisis de cadmio en leche cruda de vaca (Tabla 1). Al igual que con el plomo se utilizaron 4 diferentes métodos de análisis (Grafico 2). En este caso la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) fue el método más utilizado para analizar la presencia de plomo, siendo reportado en 7 investigaciones (50%). El segundo método más utilizado al igual que con el análisis del plomo fue la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) con 5 documentos (36%). La Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente y una plataforma electroquímica basada en un celular inteligente en un estudio cada uno. Al momento de comparar los resultados de esta investigación con los de la revisión sistemática de (Boudebouz et al., 2021), en la cual se analizó 47 estudios con análisis de cadmio, el método más utilizado fue el de EAA. En nuestro estudio el método de EAA es el segundo

más utilizado, por lo que concluimos que es el método más utilizado al analizar cadmio en leche cruda de vaca desde el 2010.

En las Tablas 5 y 6 se realizó un análisis de los artículos científicos publicados por país y continente. En la Tabla 5 encontramos que se han realizado investigaciones de cadmio en leche cruda de vaca en 10 países diferentes. Siendo China, Italia y Rumania los países con más estudios al igual que con el estudio del plomo. Por otro lado en la Tabla 6 se recopila por continente el número de publicaciones y al igual que en el estudio de plomo solo se registraron 4 continentes. Se encontró que los continentes donde más investigación se realiza son Asia y Europa con 6 investigaciones sobre la presencia de cadmio en leche cruda de vaca. Este mayor número de investigaciones reportados en Asia y Europa se da porque en estos países las regulaciones sobre la contaminación de alimentos con agentes nocivos para la salud son mucho más estrictas que en países de África y América que tienen una sola publicación cada uno.

El cadmio llega a ser tóxico en el cuerpo humano y el de los animales cuando se consume en mayor proporción a la de los valores recomendados. Este metal pesado es uno de los más tóxicos que puede existir en el medio ambiente por su prolongada vida media. En la salud humana este metal puede tener efectos teratogénicos, carcinogénicos, hepatotóxicos, neurotóxicos (Diab et al., 2020), así como consecuencias negativas en la reproducción (Năstăsescu et al., 2020).

En el caso de los valores máximos reportados para cadmio, también se reportó diferentes límites máximos para cada investigación. Al igual que en el caso del plomo es importante conocer en cuales investigaciones de cadmio en leche se superó el límite máximo, cuales son estos valores máximos y sus fuentes. Esto nos servirá para conocer los valores a los que se rigen otros países y poder compararlos con resultados de futuras investigaciones que se realicen en nuestro país. De un total 14 documentos que analizaban

la presencia de cadmio en leche cruda de vaca, 8 trabajos sobrepasaron el límite de cantidad de cromo en leche cruda de vaca.

Los valores máximos permitidos reportados vienen de varias fuentes: National Food Standar en China 0.01 mg/L (Zhang et al., 2020), en diferentes artículos se encontró que se utiliza el valor máximo reportado por la Unión Europea y el Codex Alimentarius Commision (FAO/WHO) es de 0.01 mg/kg (Chirinos-Peinado & Castro-Bedriñana, 2020; Yasotha et al., 2020), además el valor del International Dairy Federation (IDF) de 0.0026 ug/kg utilizado en una investigación de Egipto (Diab et al., 2020) y finalmente el valor del European Council utilizado en un trabajo en Rumania de 0.01 ug/g (Năstăsescu et al., 2020). En los artículos científicos donde no se reporta un valor máximo permitido en leche, se reportó los valores máximos de consumo diario o semanal y estos fueron comparados con los valores encontrados de la presencia de plomo en leche, por lo que no figuran en la Tabla 2.

La situación actual de la contaminación por cadmio en leche de vaca cruda en Ecuador no se conoce ya que no existen estudios en el intervalo de tiempo escogido para realizar esta investigación.

### **Talio:**

El Talio se acumula en áreas del cuerpo como son la estructura ósea, medula renal y eventualmente en el sistema nervioso central. En humanos se ha reportado que al ingerir grandes cantidades de este metal al poco tiempo se presenta vómitos, diarrea, pérdida de pelo temporal y efectos en el sistema nervioso, pulmones, corazón, hígado y riñones (toxicidad aguda); podría llegar a causar muerte. Mientras que en la forma crónica de toxicidad se pueden ver efectos como: anorexia, cefalea, dolores abdominales, y en general de todo el cuerpo. Existe información limitada a cerca de los efectos en la reproducción humana (Peter & Viraraghavan, 2005).

En el artículo de Campanella et al., (2019) se reporta que el valor máximo de contaminación de talio en agua para consumir es de 2 ug/L en Estados Unidos, pero con estos niveles se han visto efectos adversos en la salud humana. No existen regulaciones europeas o cambios en el valor de referencia específica por parte de la FAO u otros reguladores que reporten un valor de referencia distinto que sea confiable para el consumo humano (Campanella et al., 2019). No se ha encontrado tampoco los valores límite en leche cruda de vaca.

En esta investigación no se encontró ningún documento que analice la presencia de talio en leche cruda de vaca.

#### **Número de muestras recolectadas por estudio:**

En el método de análisis con plataforma electroquímica se recolectó únicamente 9 muestras (Zhang et al., 2020), aunque este era un nuevo método de análisis, se logró encontrar la presencia de metales pesados en leche cruda de vaca. Con el método de análisis ICP-MS se recolectó distintos números de muestras, el número más bajo fue de 20 muestras (Koyuncu & Alwazeer, 2019), mientras el número más grande de muestras utilizado fue de 997 (Zhou, Qu, et al., 2019). Por lo que podemos inferir que con un número de muestras tan reducido como 20 se podría realizar un análisis de metales pesados en leche cruda de vaca confiable. Con el método de análisis de Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente se utilizó 60 muestras (Diab et al., 2020). Finalmente con el método de análisis EAA se utilizó un número de muestras tan bajo como 10 (Capcarova et al., 2019) y el tamaño de muestra más grande utilizado fue de 58 muestras recolectadas (De la Cueva et al., 2021). Solo en un estudio no se reportó el número de muestras tomadas para realizar el análisis de metales pesados en leche cruda de vaca (Miclean et al., 2019).

Por lo que, para realizar un estudio de este estilo en nuestro país podríamos utilizar cualquiera de los métodos antes mencionados con tamaños de muestra tan pequeño como de 9 o 10 unidades y aun así realizar trabajos referenciales.

## CONCLUSIONES

En este estudio podemos concluir que aunque si se encontraron estudios sobre cadmio y plomo en casi la misma cantidad, el número de estudios entre enero de 2019 y marzo del 2021 de estos dos metales pesados y de talio debería ser mayor, tomando en cuenta la cantidad de problemas de salud que pueden causar en humanos y animales. En especial de países en vías de desarrollo, como el nuestro, donde no existe un control de los lugares de pastoreo para el ganado lechero. Se debería poner más atención a nuevas tecnologías que facilitan y economizan la investigación de estos metales como en el estudio de Zhang, et al., 2020. También se debería llevar a cabo una investigación más afondo de los trabajos que existan reportados acerca de la presencia de talio en el leche cruda de vaca, es decir en un rango de tiempo más amplio y en otros idiomas. Con la información recolectada en este trabajo, nuevas investigaciones podrán apoyarse para conocer las opciones de método de análisis que se puede utilizar, el número de muestras a usarse con el método de análisis elegido y de esta manera conocer si existen riesgo para la salud de personas y animales por la contaminación de metales pesados en leche cruda de vaca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boudebbouz, A., Boudalia, S., Bousbia, A., Habila, S., Boussadia, M. I., & Gueroui, Y. (2021). Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 751, 141830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141830>
- Campanella, B., Colombaioni, L., Benedetti, E., Di Ciaula, A., Ghezzi, L., Onor, M., D'Orazio, M., Giannecchini, R., Petrini, R., & Bramanti, E. (2019). Toxicity of Thallium at Low Doses: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 4732. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234732>
- Capcarova, M., Binkowski, L. J., Stawarz, R., Schwarczova, L., & Massanyi, P. (2019). Levels of Essential and Xenobiotic Elements and Their Relationships in Milk Available on the Slovak Market with the Estimation of Consumer Exposure. *Biological Trace Element Research*, 188(2), 404-411. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1424-9>
- Chirinos-Peinado, D. M., & Castro-Bedriñana, J. I. (2020). Lead and cadmium blood levels and transfer to milk in cattle reared in a mining area. *Heliyon*, 6(3), e03579. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03579>
- De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga Torres, B. H., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *La Granja*, 33(1), 21-30. <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.02>
- Denholm, S. J., Sneddon, A. A., McNeilly, T. N., Bashir, S., Mitchell, M. C., & Wall, E. (2019). Phenotypic and genetic analysis of milk and serum element concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11180-11192. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16960>
- Diab, H., Alkahtani, M., Ahmed, A., Khalil, A., Alshehri, M., Ahmed, M., Rehan, I., Elmansi, A., & Ahmed, A. (2020). Coexistence of diverse heavy metal pollution magnitudes: Health risk assessment of affected cattle and human population in some rural regions, Qena, Egypt. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 7(2), 345. <https://doi.org/10.5455/javar.2020.g428>
- Diyabalanage, S., Kalpage, M. D., Mohotti, D. G., Dissanayake, C. K. K., Fernando, R., Frew, R. D., & Chandrajith, R. (2021). Comprehensive Assessment of Essential and Potentially Toxic Trace Elements in Bovine Milk and Their Feeds in Different Agro-climatic Zones of Sri Lanka. *Biological Trace Element Research*, 199(4), 1377-1388. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02242-4>
- Koyuncu, M., & Alwazeer, D. (2019). Determination of trace elements, heavy metals, and antimony in polyethylene terephthalate-bottled local raw cow milk of Iğdır region in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11), 666. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7851-z>

- Miclean, Cadar, Levei, Roman, Ozunu, & Levei. (2019). Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) Transfer along Food Chain and Health Risk Assessment through Raw Milk Consumption from Free-Range Cows. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(21), 4064. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03579>
- Năstăsescu, V., Mititelu, M., Goumenou, M., Docea, A. O., Renieri, E., Udeanu, D. I., Oprea, E., Arsene, A. L., Dinu-Pîrvu, C. E., & Ghica, M. (2020). Heavy metal and pesticide levels in dairy products: Evaluation of human health risk. *Food and Chemical Toxicology*, *146*, 111844. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111844>
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivo Neurociencia (Mexico)*, *16*(3), 140-147.
- Peter, A. L. J., & Viraraghavan, T. (2005). Thallium: A review of public health and environmental concerns. *Environment International*, *31*(4), 493-501. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.09.003>
- Raikwar, M., Kumar, P., Singh, M., & Singh, A. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary World*, *1*(1), 28-30.
- Reyes, Y., Torres, O., Vergara, I., Díaz, M., & González, E. (2016). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA*. *16*, 66-77.
- Scaramozzino, P., Battisti, S., Desiato, R., Tamba, M., Fedrizzi, G., Ubaldi, A., Neri, B., Abete, M. C., & Ru, G. (2019). Application of a risk-based standardized animal biomonitoring approach to contaminated sites. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(8), 526. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7653-3>
- Tedesco, R., Villoslada Hidalgo, M. del C., Vardè, M., Kehrwald, N. M., Barbante, C., & Cozzi, G. (2021). Trace and rare earth elements determination in milk whey from the Veneto region, Italy. *Food Control*, *121*, 107595. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107595>
- Yasothea, A., Dabadé, D. S., Singh, V. P., & Sivakumar, T. (2020). Risk assessment of heavy metals in milk from cows reared around industrial areas in India. *Environmental Geochemistry and Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00758-1>
- Zhang, W., Liu, C., Liu, F., Zou, X., Xu, Y., & Xu, X. (2020). A smart-phone-based electrochemical platform with programmable solid-state-microwave flow digestion for determination of heavy metals in liquid food. *Food Chemistry*, *303*, 125378. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125378>
- Zhou, X., Qu, X., Zheng, N., Su, C., Wang, J., & Soyeurt, H. (2019). Large scale study of the within and between spatial variability of lead, arsenic, and cadmium

contamination of cow milk in China. *Science of The Total Environment*, 650, 3054-3061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.094>

Zhou, X., Zheng, N., Su, C., Wang, J., & Soyeurt, H. (2019). Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil. *Environmental Pollution*, 255, 113322. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113322>