

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

Análisis sistemático sobre la presencia de metales pesados: Cromo (Cr), Arsénico (As) y Mercurio (Hg) y sus diferentes métodos de análisis en leche de vaca.

Juan José Alvarez Oviedo

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**

**Análisis sistemático sobre la presencia de metales pesados: Cromo (Cr),
Arsénico (As) y Mercurio (Hg) y sus diferentes métodos de análisis en leche
de vaca.**

Juan José Alvarez Oviedo

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: Juan José Alvarez Oviedo

Código: 00137614

Cédula de identidad: 0604589309

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UNPUBLISHED DOCUMENT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

Esta revisión sistemática analiza artículos científicos en los cuales se considera la presencia de metales pesados tales como: cromo (Cr), arsénico (As) y mercurio (Hg) en leche cruda de vaca, con énfasis en la ubicación de las granjas estudiadas en cada artículo analizado, además del riesgo que pueden ocasionar tanto en la salud humana como animal. Algunas palabras claves utilizadas en la búsqueda de estos artículos son: “metales pesados”, “vaca”, “método de análisis”, “leche cruda”. Un total de 10 artículos se encontraron desde enero del 2019 hasta marzo del 2021, los cuales cumplían con todos los criterios de inclusión. Los resultados indicaron que 5 artículos analizaron cromo, 6 arsénico y 5 mercurio, por lo tanto, incluyeron diferentes métodos, así como: Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, Espectrometría de absorción atómica, Espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente. Finalmente, smartphone based electrochemical platform utilizado únicamente para el análisis de Mercurio (Hg). Al hablar de localización se determinó que Asia es el continente con mayor número de publicaciones a nivel mundial, seguido de Europa, África y América. Cabe recalcar que China es el país con mayor cantidad de artículos (2). En tanto a los valores se encontró que los resultados se encuentran dentro del rango permisible teniendo más incidencia en zonas agrícolas que industriales. La exposición continua de estos metales pesados puede llegar a ser perjudicial tanto para los animales como para los seres humanos. Por lo tanto, la actualización de esta información es necesaria y se recomienda realizar controles más estrictos en la producción láctea y sus posibles fuentes de contaminación, además obtener mayor cantidad de muestras con mejor distribución de estas para futuras investigaciones.

Palabras clave: Metales pesados, leche, método de análisis, vaca, cromo, arsénico y mercurio.

ABSTRACT

This systematic review analyzes scientific articles on the presence of heavy metals such as chromium (Cr), arsenic (As), and mercury (Hg) in raw cow's milk. With an emphasis on the location of farms studied in each analyzed article. In addition to the risk that they can cause to human and animal health. Some keywords used in the search for these articles are heavy metals, cow, analysis method, raw milk.

Ten articles were found from January 2019 to March 2021, which met all the inclusion criteria. The results indicated that five articles analyzed chromium, six arsenic, and five mercury. They included different methods such as inductively coupled plasma mass spectrometry, Atomic absorption spectrometry, inductively coupled plasma emission spectrometry, and smartphone-based electrochemical. The smartphone-based electrochemical platform was used only for Mercury (Hg) analysis. When we talked about location, it was determined that Asia is the continent with the highest number of publications worldwide, followed by Europe, Africa, and America. It should be noted that China is the country with the most significant number of articles. Regarding the values, it was found that the results are within the permissible range, having more incidence in agricultural areas than industrial ones. Therefore, continuous exposure to these heavy metals can be harmful to both animals and humans. Updating this information is necessary to carry out stricter controls in dairy production and its possible sources of contamination. It is important to obtain more samples with a better distribution for future research.

Key words: heavy metals, milk, method of analysis, cow, chromium, arsenic and mercury

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
INTRODUCCIÓN	10
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Búsqueda de literatura:	12
Criterios de inclusión y exclusión:	12
Bibliografía:	13
RESULTADOS	13
Características de estudios elegibles:	13
Tabulación de datos:	13
DISCUSIÓN	22
Cromo (Cr):	22
Arsénico (As):	24
Mercurio (Hg):.....	26
Número de muestras por estudio:	27
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	14
Tabla 2	15
Tabla 3	16
Tabla 4	17
Tabla 5	17
Tabla 6	18
Tabla 7	19
Tabla 8	19
Tabla 9	20

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	15
Gráfico 2:	16
Gráfico 3:	18

INTRODUCCIÓN

La leche de vaca y sus derivados, son considerados como la mayor fuente de nutrientes alimenticios, especialmente para los niños ya que contiene micro y macronutrientes, vitaminas, aminoácidos que favorecen el desarrollo de los huesos, el crecimiento e incluso son esenciales para el sistema inmune. El consumo de tres o más raciones de productos lácteos por día es beneficioso para la salud en adultos ya que tiene altos contenidos de calcio, magnesio, y vitamina D (Esra & Filazi, 2020). Otros elementos como el Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y otros metales son parte de los procesos metabólicos. Sin embargo, el exceso de estos elementos en el cuerpo humano o en los animales puede llegar a ser perjudicial. La presencia de otros metales como el Mercurio (Hg), Arsénico (As) que no son esenciales para el cuerpo humano y no cumplen ninguna función biológica pueden causar efectos tóxicos incluso en niveles muy bajos (Boudebbouz, y otros, 2021).

En los últimos años la contaminación de la leche por metales pesados se ha considerado uno de los aspectos más importantes alrededor del mundo. Algunos metales como el Cromo, Arsénico y Mercurio son asociados con la contaminación y problemas de toxicidad. Estos metales pesados logran entrar a la leche principalmente a través de la comida y el agua que consumen las vacas y la presencia de los elementos en el ambiente. El uso de fertilizantes orgánicos, fertilizantes artificiales, pesticidas, plaguicidas y otros químicos usados en la agricultura, aguas residuales de industrias que se usan en la agricultura y ganadería son parte también de la cadena que forma parte la contaminación de la leche (Pšenková, Pšenková, & Tančin, 2020).

La presencia de metales pesados en el ambiente se puede presentar de forma natural y antropogénica (FAO & WHO, 2016). Una vez que los metales ingresan en forma de contaminante al ambiente van a permanecer de forma permanente ya que los metales no pueden ser creados ni degradados, en varios estudios se ha demostrado que especialmente el Arsénico, Mercurio, Plomo y Cadmio son los 4 elementos que tienen un gran impacto en la salud y deben ser monitoreados. El Mercurio es un elemento con alta toxicidad y de fácil incorporación a la cadena alimenticia, mientras que el Arsénico se encuentra especialmente en el agua cerca de zonas industriales y aguas geotermales y subterráneas, sus efectos tóxicos no son profundamente conocidos (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzalez, 2016).

El consumo de alimentos contaminados con metales pesados puede ser un problema para la salud tanto de los animales como de las personas. Los animales que son fuente de alimentos para los seres humanos no suelen presentar alguna sintomatología cuando han ingerido metales pesados, es por esto que se vuelve un riesgo para la salud pública, ya que, se han encontrado metales pesados en cantidades considerables en leche, carne no solo de bovinos y además en el agua y plantas (Madero & Marrugo, 2011). Mientras que en los seres humanos el consumo de metales pesados como el Cromo, Arsénico y Mercurio puede llegar a causar daño en varios sistemas. Según (Gaioli, Amoedo, & Gonzalez , 212) las personas que consumen plomo en pequeñas cantidades pueden llegar a tener efectos respiratorios, renales, cardiovasculares, gastrointestinales, dermatológicos, neurológicos, carcinogénicos, inmunológicos y reproductivos y en el caso de consumir cantidades un poco más altas puede llegar a causar hasta la muerte, al igual que con el mercurio sucede algo similar con otros metales pesados como el Cromo y el Arsénico. El objetivo de este trabajo fue identificar, clasificar y sistematizar las publicaciones

indexadas presentadas sobre la presencia de metales pesados: cromo, arsénico y mercurio y sus diferentes métodos de análisis en leche de vaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Búsqueda de literatura:

Esta revisión sistemática se realizó tomando en cuenta artículos científicos originales que fueron publicados en un determinado periodo de tiempo (enero 2019 – marzo 2021). Para esta revisión se utilizó el buscador Google y posteriormente dos bases de datos: Pubmed y Elsevier, utilizando las siguientes palabras clave: "metales pesados", "leche", "análisis" y "vaca". La búsqueda de los artículos se realizó tanto en español como en inglés. Después, todos los artículos seleccionados fueron revisados y separados para ser tomados en cuenta en esta revisión. Por último, la información relevante y esencial fue tomada de cada uno de los artículos y tabulada en una hoja de Excel para realizar su respectivo análisis.

Criterios de inclusión y exclusión:

El criterio de inclusión que se utilizó fue el siguiente: niveles de metales pesados en leche cruda de vaca. Los criterios de exclusión que se utilizaron fueron los siguientes: (1) leche de otra especie que no sea vaca, (2) leche que no sea cruda, (3) análisis de otros productos de origen animal o que no sea leche, (4) artículos científicos que no sean publicados en inglés o español, (5) metaanálisis o revisiones sistemáticas, (6) artículos científicos que no contengan análisis de Cromo (Cr), Arsénico (As) o Mercurio (Hg). Los artículos duplicados, es decir, que se encuentren tanto el Pubmed y Elsevier, se rechazara uno y se incluirá el artículo que tenga la mayor cantidad de información del estudio.

Gestión de la información:

Toda las citas y bibliografía que se usó en este trabajo fueron manejadas y administradas mediante el programa Mendeley en formato APA.

RESULTADOS**Características de estudios elegibles:**

La búsqueda computarizada en las dos bases de datos internacionales dio como resultado un total de 95 artículos científicos. 29 artículos fueron excluidos al realizar una lectura rápida del tema y resumen. Otros 21 artículos se excluyeron al no presentar análisis de metales pesado en leche de vaca específicamente, 11 artículos fueron descartados por presentar análisis de leche procesada en su trabajo, 2 artículos se descartaron para este trabajo por ser revisiones sistemáticas o meta análisis presentes en las dos bases de datos. 18 artículos fueron excluidos del presente trabajo ya que no presentan análisis de Cromo (Cr), Arsénico (As) o Mercurio (Hg) en su contenido. Finalmente se encontraron 2 artículos duplicados de los cuales se escogió solamente uno. En conclusión, un total de 10 artículos científicos que cumplían con los criterios de inclusión fueron tomados en cuenta para esta revisión sistemática.

Tabulación de datos:

Tabla 1

Artículos científicos publicados entre enero 2019 y marzo 2021 en los que se analiza la presencia de Cromo (Cr), Arsénico (As) y Mercurio (Hg) en leche cruda de vaca.

REFERENCIA	CONTINENTE	PAIS	CROMO (Cr)	ARSENICO (As)	MERCURIO (Hg)
(Zhang et al., 2020)	Asia	China	-	-	X
(Diab et al., 2020)	África	Egipto	-	X	X
(Diyabalanage et al., 2020)	Asia	Sri Lanka	X	X	-
(Koyuncu & Alwazeer, 2019)	Asia	Turquía	X	-	-
(Denholm et al., 2019)	Europa	Escocia	-	-	X
(Zhou, Zheng, et al., 2019)	Asia	China	X	X	-
(Yasotha et al., 2020)	Asia	India	X	-	-
(González-Montaña et al., 2019)	Europa	España	-	X	X
(De la Cueva et al., 2021)	América	Ecuador	-	X	X
(Tedesco et al., 2021)	Europa	Italia	X	X	-

La "X" muestra los metales pesados que fueron analizados en cada uno de los estudios, mientras el símbolo "-" indica los metales que no están presentes en el artículo.

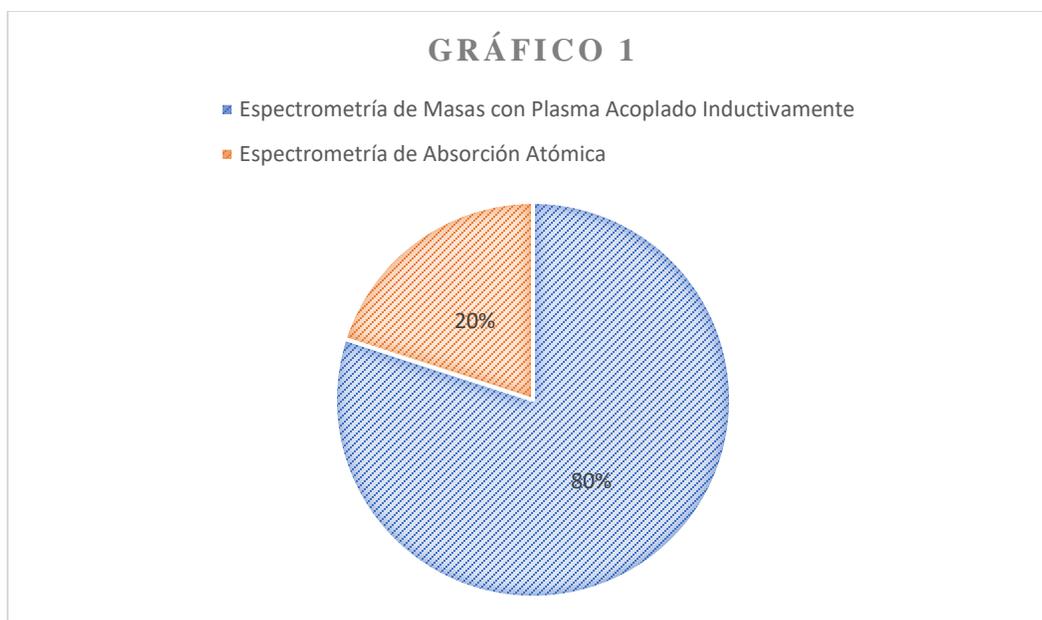


Gráfico 1: Número de artículos científicos ordenados por el método de análisis de Cromo (Cr) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021.

Tabla 2

Número de artículos científicos realizados en cada continente que contengan análisis de Cromo (Cr) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

Continente	Número de publicaciones
Asia	4
Europa	1
Total	5

Tabla 3

Número de artículos científicos realizados en cada país que contengan análisis de Cromo (Cr) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

País	Número de publicaciones
Sri Lanka	1
Turquia	1
China	1
India	1
Italia	1
Total	5

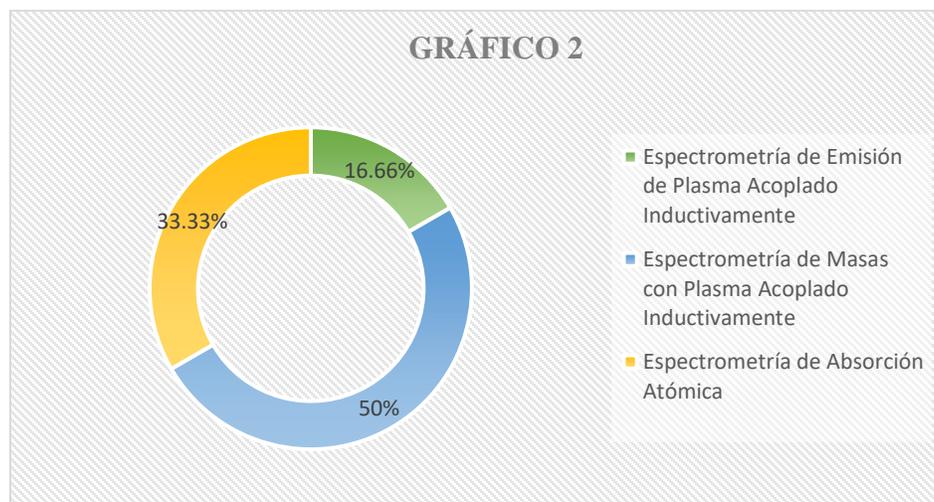


Gráfico 2: Número de artículos científicos ordenados por el método de análisis de Arsénico (As) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

Tabla 4

Número de artículos científicos realizados en cada continente que contengan análisis de Arsénico (As) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

Continente	Número de publicaciones
Asia	2
África	1
América	1
Europa	2
Total	6

Tabla 5

Número de artículos científicos realizados en cada país que contengan análisis de Arsénico (As) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

País	Número de publicaciones
Egipto	1
Turquia	1
China	1
España	1
Ecuador	1
Italia	1
Total	6

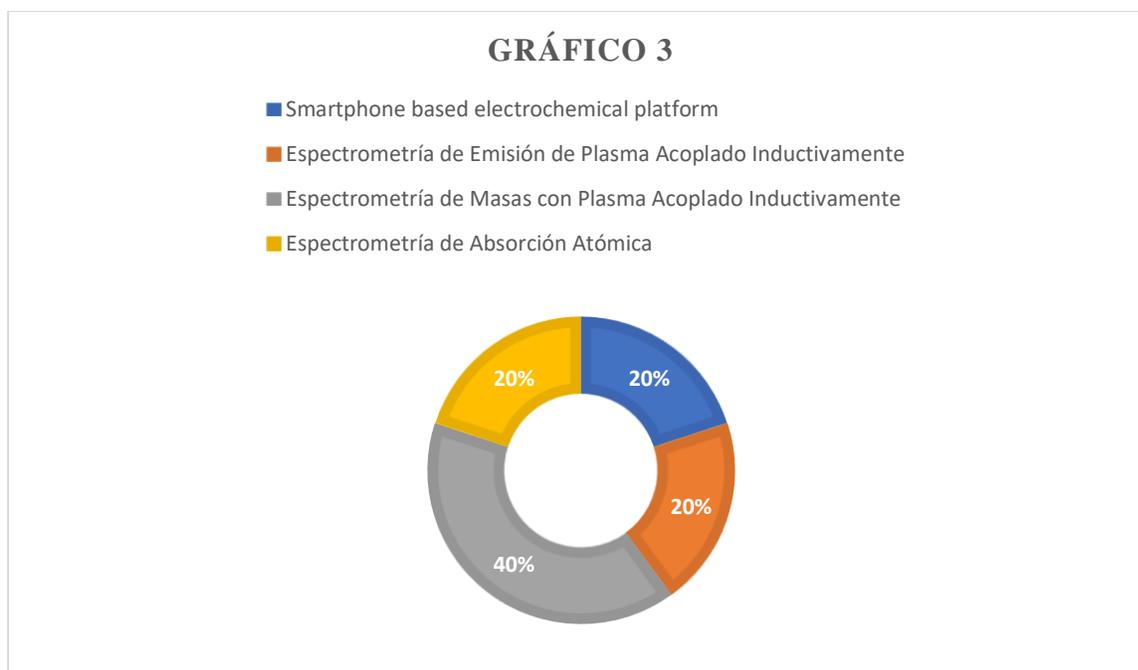


Gráfico 3: Número de artículos científicos ordenados por el método de análisis de Mercurio (Hg) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

Tabla 6

Número de artículos científicos realizados en cada continente que contengan análisis de Mercurio (Hg) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021

Continente	Número de publicaciones
Asia	1
África	1
América	1
Europa	2
Total	5

Tabla 7

Número de artículos científicos realizados en cada país que contengan análisis de Mercurio (Hg) en leche cruda de vaca entre enero 2019 y marzo 2021	
País	Número de publicaciones
China	1
Egipto	1
Escocia	1
España	1
Ecuador	1
Total	5

Tabla 8

Número de muestras y método de análisis realizado por cada estudio tomado en cuenta para el presente trabajo

REFERENCIA	MÉTODO DE ANÁLISIS	# DE MUESTRAS
(Zhang et al., 2020)	Smartphone based electrochemical platform	9
(Diab et al., 2020)	Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente	60
(Diyabalanage et al., 2020)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	68
(Koyuncu & Alwazeer, 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	20

(Denholm et al., 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	950
(Zhou et al., 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	60
(Yasothea et al., 2020)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	40
(González-Montaña et al., 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	36
(De la Cueva et al., 2021)	Espectrometría de Absorción Atómica	58
(Tedesco et al., 2021)	Espectrometría de Absorción Atómica	229

Tabla 9

Cantidades de metales pesados encontrados en cada uno de los artículos científicos tomados en cuenta para el presente trabajo, con sus respectivas medidas.

REFERENCIA	MÉTODO DE ANÁLISIS	CROMO (Cr)	ARSENICO (As)	MERCURIO (Hg)	Unidades de medida
(Zhang et al., 2020)	Smartphone based electrochemical platform	-	-	0.008 ± 0.0006	mg L-1
(Diab et al., 2020)	Espectrometría de Emisión de Plasma Acoplado Inductivamente	-	0	0	mg L-1
(Diyabalanage et al., 2020)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	0.21 ± 0.28	-	-	µg/L

(Koyuncu & Alwazeer, 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	1227-70	3326-103	-	ppb
(Denholm et al., 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	-	-	media 0.19	µg/L
(Zhou, Zheng, et al., 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	0.004-153	0.02-5.01	-	µg/L
(Yasotha et al., 2020)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	0.05	-	-	mg L-1
(González-Montaña et al., 2019)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente	-	18.45 ± 6.89	0	µg/kg
(De la Cueva et al., 2021)	Espectrometría de Absorción Atómica	-	0.00003 medio/ 0.001 max	0.00009 medio/ 0.002 max	mg/kg
(Tedesco et al., 2021)	Espectrometría de Absorción Atómica	0.025	0.0067	-	mg Kg-1

DISCUSIÓN

En varias regiones del mundo las actividades industriales están directamente relacionadas con la contaminación en varios alimentos de consumo humano, entre ellos, la leche cruda de vaca. Esta contaminación hace que la ingesta de los alimentos se convierta en un peligro tanto para la salud pública como para la de los animales (Zhang et al., 2020), debido a su deposición en el tejido adiposo, que conduce a su bioacumulación y biomagnificación (Diab et al., 2020).

Dentro de los riesgos en la salud pública, se encontró que los metales son un factor de supresión directa dentro de la actividad hematopoyética, mostrándose como linfocitosis, monocitosis y neutropenia, causada por la inflamación de uno o varios órganos. Una de las mayores implicaciones de la presencia de los metales pesados es el estrés oxidativo, lo que provoca un incremento en las defensas contra la peroxidación de lípidos en los tejidos ya que se ven alterados los antioxidantes (Diab et al., 2020).

En el presente estudio se analizó tres diferentes tipos de metales en la leche cruda de vaca:

Cromo (Cr):

El cromo es un elemento químico que se puede encontrar en diferentes formas, con sus respectivas valencias: +2, +3 y +6. Es un oligoelemento que está distribuido en toda la naturaleza, además, está presente en varios procesos vitales. Específicamente posee acciones dentro del metabolismo de la glucosa, colesterol y ácidos grasos, siendo también importante en diferentes reacciones enzimáticas (Téllez et al., 2004). Este elemento de la tabla periódica puede aparecer en el aire, suelo y agua después de haber pasado por procesos industriales, los cuales son utilizados en galvanoplastia, producción textil, curtido de cuero y la manufacturación de productos que tienen como materia prima el cromo. Además, es liberado al medio ambiente al quemar petróleo, gas

natural y carbón. Este metal, al encontrarse en todas las industrias se ha catalogado como un elemento de alto riesgo cancerígeno, ya que en exposición ocupacional provoca lesiones en el sistema respiratorio (Molina Montoya et al., 2010).

Como se muestra en la **Tabla 2** entre enero del 2019 y marzo del 2021 se han realizado 5 investigaciones científicas en dos continentes, de las cuales 4 fueron en Asia y 1 en Europa. Es importante recalcar que, en cada uno de los continentes antes mencionados, los estudios fueron efectuados en diferentes países, así tenemos que; en el continente asiático se llevaron a cabo en: Sri Lanka, Turquía, China e India y en Europa: Italia **Tabla 3**. A diferencia de otros países o continentes como América donde no se ha realizado ningún estudio en este periodo de tiempo.

Los resultados de los estudios generan gran importancia, ya que se observó que en el continente europeo existen pocas investigaciones científicas acerca de estos metales, pese a que existen varias regulaciones enfocadas en la contaminación ambiental y el control de metales pesados en los alimentos, en este caso leche cruda de vaca. Por el contrario, en el continente asiático proporcionan calidad en los alimentos con varias investigaciones que los respaldan, asegurando así la salud de sus habitantes. Según (Diyabalanage et al., 2020) & (Zhou et al., 2019) el cromo analizado en las muestras dio como unidad de medida ug/L en un rango de 0.0004 +- 0.28 por el contrario (Koyuncu & Alwazeer, 2019) establecieron sus unidades en ppb con un valor de 1227 - 70 **Tabla 9**. Lo que respalda a (FAO & WHO, 2016) donde indicaron que por falta de investigaciones científicas no se puede establecer un límite de valores de este metal en los alimentos. Estos resultados fueron analizados a través de espectrometría de masas con plasma acoplada inductivamente (EMAI) siendo utilizado este método en el 80% de las investigaciones y el otro 20% por espectrometría de absorción atómica (EAA) **Gráfico 1**. Lo que indica que el cromo es el elemento que se encuentra en menor cantidad a diferencia de As y Hg **Tabla 9**.

En países de América Latina como Ecuador, no se ha analizado este metal en los dos últimos años, lo que genera una gran interrogante debido a que es un país petrolero y minero, siendo estas dos una de las causas de contaminación más importante tanto de agua como de suelo.

Arsénico (As):

Este metal presenta una efectiva movilidad lo que provoca su amplia distribución alrededor del medio ambiente, debido a procesos naturales y antropogénicos (Rangel et al., 2015). En un estudio realizado en varias regiones de Argentina, se encontró a este metal en aguas subterráneas y superficiales que son indispensables en el consumo de su población dando como resultado alta toxicidad por exposición crónica, lo que provoca lesiones cutáneas, cáncer, además, tiene relación a problemas cardiovasculares, diabetes y neurotoxicidad (Perez Carrera et al., 2015).

El arsénico es el segundo metal más tóxico encontrado en las muestras tomadas de los 6 artículos científicos elegidos para el presente trabajo, a diferencia del cromo, el arsénico fue analizado en 4 continentes: Asia, África, Europa y América, **Tabla 4**. Esto puede estar relacionado a los niveles de toxicidad que puede alcanzar y a la importancia que implica en la salud pública. Como se observa en la **Tabla 5** existen varios países alrededor del mundo que se han enfocado en el análisis de este metal, por ejemplo: Turquía y China; Egipto; Ecuador y Europa: España e Italia. A pesar de ser uno de los metales más tóxicos y que más presente está en los alimentos, el número de trabajos resulta ser bastante escaso en especial en continentes con alta tecnología y buen desarrollo como lo son Asia y Europa.

En el **Gráfico 2**, se observa el porcentaje de los diferentes métodos de análisis utilizados en cada una de las investigaciones, donde se aprecia que el 50%, es decir, la mitad de los trabajos utilizan espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (EMPAI), el 16.66% espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente (EPAI) y 33.33% espectrometría de absorción atómica. Existen varias diferencias entre estos métodos, en las cuales se encuentran la sensibilidad, especificidad y rapidez con la que se realiza. En el caso de la EMPAI y EPAI poseen una gran sensibilidad y se pueden analizar varios metales a la vez lo cual los convierte en el método más rápido, sin embargo, la espectrometría de absorción atómica es menos costosa y más precisa, a pesar de que toma más tiempo analizarla debido ya que se considera un elemento determinado (Jiménez Heinert et al., 2020).

La presencia de metales pesados analizados dentro de la leche cruda de vaca podrían ser consecuencia de producciones excesivas de lácteos que se encuentran en zonas industriales y con mayor acceso a vías de primer orden, por el contrario, en las zonas rurales el contenido de estos fue bajo (De la Cueva et al., 2021). El medio de ingreso hacia el organismo animal, en este caso, de la vaca se da a través del agua que consume a diario, varios de los estudios analizados demostraron que; en las zonas no contaminadas se evidenció una mayor cantidad en la presencia de este metal, esto puede estar relacionado al uso de pesticidas y fertilizantes, ya que estas zonas son consideradas netamente agrícolas. La OMS establece que el límite máximo permisible para este metal es de 10 ug/L. Al analizar la **Tabla 9**, se concluyó que los valores de los 5 artículos expuestos están dentro de los valores permitidos por entes de control de calidad en cada uno de los países.

La situación actual en el Ecuador según (De la Cueva et al., 2021) indica que al ser un país perteneciente a la cordillera de los andes en el cual existen volcanes activos que pueden influir en

la presencia de ese metal en el suelo y las aguas tanto subterráneas como superficiales, viéndose afectada por la constante actividad volcánica. En Machachi; Ecuador, las muestras receptadas presentaron valores de 0.00009 medio y de 0.002 máximo mg/kg. Mientras que en Europa específicamente Italia (Tedesco et al., 2021) establece valores de 0.0067 mg/kg-1, los cuales demuestran que puede variar según la región donde se analice, así podemos observar que según (Diab et al., 2020) no se encontraron partículas de As en su estudio.

Mercurio (Hg):

La liberación del mercurio se produce en zonas industriales, lo que conlleva a su almacenamiento dentro de la atmósfera, el agua y el suelo, haciendo de los ríos y océanos su medio de transporte, lo que provoca amplia dispersión en zonas lejanas a la misma (Gaioli et al., 2012). Este metal presenta gran relevancia en la contaminación ambiental, causando daños irreversibles en la salud humana y animal. En humanos la exposición a este metal, incluso en pequeñas cantidades, puede ser tóxica produciendo daños en el sistema nervioso, digestivo, inmunitario, respiratorio, piel, riñones y ojos. Por otro lado, en animales, produce reacciones adversas en los riñones, sistema digestivo, reproductor e incluso alteraciones del ADN (Ramírez, 2013).

De acuerdo con el **Gráfico 3** observamos que el mercurio es el elemento con mayor cantidad de métodos de análisis que se pudieron encontrar en los artículos utilizados para este trabajo; así, tenemos que existen 4 métodos que son: EEPAI, EMPAI, EAA y smartphone based electrochemical platform, siendo el más utilizado la EMPAI en un 40% y el 20 % cada uno de los restantes. Para el análisis de este metal el método más interesante es el utilizado por ((Zhang et al., 2020) en el cual se utiliza un aparato electrónico, en este caso un celular, que a través de una plataforma realiza el análisis de las muestras siendo rápido y económico.

Los resultados dados al analizar dichas muestras en diferentes continentes abordaron que, en Europa, Escocia y España **Tabla 7** encabezan la lista con dos estudios uno en cada país. Seguido por Asia, África y América que presentaron un estudio respectivamente **Tabla 6**.

Según (Ayala & Romero, 2013) dentro de la norma técnica ecuatoriana el límite máximo permisible de este metal en la leche cruda de vaca es 0,005 mg/kg que comparado con los resultados de (De la Cueva et al., 2021) en el que se observa un rango de entre 0.00009 mg/kg como medio y de 0.002 mg/kg como máximo, lo que comprueba que este análisis efectuado en Machachi, Ecuador se encuentra dentro de los valores normales, mientras tanto los estudios realizados en Egipto (Diab et al., 2020) y España (González-Montaña et al., 2019) no demostraron presencia de este metal en el periodo establecido en el presente trabajo (**Tabla 9**).

Número de muestras por estudio:

Uno de los aspectos más relevantes para determinar la confiabilidad de un estudio es el número de muestras que se realizan y los métodos que utilizan, en los estudios científicos tomados en cuenta para el presente trabajo se pueden observar en la **Tabla 8**, que existe una variación en cuanto al número de muestras, el trabajo realizado por (Denholm et al., 2019) es el que mayor cantidad de análisis efectúa con el método de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente con una cantidad de 950 muestras, sin embargo, sólo analiza un metal, al igual que (Zhang et al., 2020) que es el estudio con menor número de análisis, este utiliza el método de Smartphone based electrochemical platform. Del mismo modo (Tedesco et al., 2021) examinó 229 muestras por el método de análisis por Espectrometría de Absorción Atómica. Además, podemos observar que en general tenemos un promedio de entre 20 y 60 muestras en los demás artículos lo que no podría indicar que son suficientes para establecer un rango y los niveles encontrados en cada uno de los estudios.

CONCLUSIONES

En conclusión, todos los artículos científicos analizaron por lo menos uno de los tres metales (Cr, As, Hg), cada uno de los estudios presenta diferentes unidades de medida ninguno de los trabajos se supera los límites permisibles de acuerdo con las normas establecidas en cada país. Es importante mencionar que existen dos artículos en los cuales los niveles de concentración de mercurio es 0 y un artículo con concentración de arsénico igual a 0. El número de publicaciones que realicen análisis de leche cruda de vaca durante el periodo de tiempo de enero 2019 a marzo 2021 alrededor del mundo es bastante escaso, pese a las nuevas regulaciones e implementaciones tecnológicas que existen para que cada país produzca alimentos de buena calidad y así precautelar la salud de sus habitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, J., & Romero, H. (2013). *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 17(1), 36–46. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047401002>
- De la Cueva, F., Naranjo, A., Torres, B. P., & Aragón, E. (2021). *PRESENCE OF HEAVY METALS IN RAW BOVINE MILK FROM*. 33(1), 21–30.
- 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. M., Alkahtani, M. A., Ahmed, A. S., Khalil, A. M., Alshehri, M. A., Ahmed, M. A. A., Rehan, I. F., Elmansi, A. A., & Ahmed, A. E. (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), 345–359. <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. (2020). 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*. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02242-4>
- FAO, & WHO. (2016). *REPORT OF THE THIRTY SEVENTH SESSION OF THE CODEX COMMITTEE ON NUTRITION AND FOODS FOR SPECIAL DIETARY USES, Bad Soden am Taunus, Germany, 23 - 27 November 2015*. July, 56.
- Gaioli, M., Amoedo, D., & González, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 110(3), 259–264. <https://doi.org/10.1590/S0325-00752012000300017>
- González-Montaña, J. R., Senís, E., Alonso, A. J., Alonso, M. E., Alonso, M. P., & Domínguez, J. C. (2019). Some toxic metals (Al, As, Mo, Hg) from cow's milk raised in a possibly contaminated area by different sources. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(28), 28909–28918. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06036-7>
- Jiménez Heinert, M. E., Grijalva Endara, A. de las M., & Ponce Solórzano, H. X. (2020). Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Recimundo*, 4(4), 4–12. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.4-12](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12)
- 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). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7851-z>
- Molina Montoya, N., Aguilar Casas, P., & Cordovez Wandurraga, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual*

- y *Ocular*, 8(1), 77–88. <https://doi.org/10.19052/sv.831>
- Perez Carrera, A., Volpedo, A. V., & Fernandez Cirelli, A. (2015). El Arsénico : del agua a los alimentos. *Ciencia e Investigacion*, 65(2), 37–44.
- Ramírez, A. V. (2013). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(1), 46. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i1.1184>
- Rangel, E., Montañez, L., Luévanos, M., & Balagurusamy, N. (2015). Impacto Del Arsénico En El Ambiente Y Su Transformación Por Microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103–118.
- 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(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107595>
- Téllez, J., Carvajal, M., & Gaitán, A. M. (2004). Toxicología del Cromo. *Fac Med*, 52(Iii), 50. <http://www.bdigital.unal.edu.co/39062/1/43297-201075-1-PB.pdf>
- Yasothe, 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*, 1. <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(July 2019), 125378. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125378>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113322>