UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE SALUBRIDAD E HIGIENE

Presencia de metales pesados en México y en la Comarca Lagunera: Efectos adversos en la salud animal con énfasis en la caprinocultura

Por:

Marcos Antonio Rivas Acosta

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE SALUBRIDAD E HIGIENE

Presencia de metales pesados en México y en la Comarca Lagunera: Efectos adversos en la salud animal con énfasis en la caprinocultura

Por:

Marcos Antonio Rivas Acosta

MONOGRAFÍA

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

MC. Ernesto Martínez Aranda
Presidente

Dr. Sergio Iván Barraza Guerrero
Vocal

MVZ. Hilda Ruth Sagredo Ulloa
Vocal

Dra. María Guadalupe Sánchez Loera
Vocal suplente

MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE SALUBRIDAD E HIGIENE

Presencia de metales pesados en México y en la Comarca Lagunera: Efectos adversos en la salud animal con énfasis en la caprinocultura

por:

Marcos Antonio Rivas Acosta

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

MC. Ernesto Martínez Aranda
Asesor Principal

Dr. Sergio Iván Barraza Guerrero
Coasesor

MVZ. Hilda Ruth Sagredo Ulloa
Coasesor

MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Torreón, Coahuila, México
Octubre 2026

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios por permitirme el don de la vida, por poder darme la fe para hacer las cosas y poder salir adelante.

A mi familia, porque siempre que los necesite estuvieron para mí, para brindarme apoyo en momentos difíciles durante mi estancia en la carrera y dar para poder afrontar los retos que se me atravesaban.

A mis amigos por confiar en mí, por motivarme a logar mis metas y ayudarme siempre que lo necesite.

A mis maestros por ser esa guía que necesite durante toda la carrera, por inculcarme el amor hacia mi carrera y por aportar a los conocimientos que hoy en día tengo.

A mi universidad por ser ese segundo hogar durante toda la carrera.

Gracias.

Dedicatoria.

A mis padres, mi hermana y mis abuelos, por estar siempre que los necesite, por confiar en mi para logar esto, por impulsarme a cumplir siempre mis metas y sobre todo por todos los buenos consejos que me dan.

A mis compañeros y amigos, por ser el apoyo que en ocasiones necesite para logar mis objetivos.

Gracias.

Índice.

Agradecimientos i

Dedicatoria. ii

Resumen iv

I. Introducción. 1

Metales pesados en la comarca Lagunera. 1

II. Marco de referencia. 6

III. Marco teórico. 7

Metales pesados en la comarca lagunera 7

Plomo. 10

Mercurio. 11

Arsénico. 12

Cadmio. 12

Alteraciones metabólicas derivadas de la interacción entre metales tóxicos y nutrientes esenciales. 15

¿Como podemos reducir el impacto de los metales pesados en el ambiente? 23

¿Como se puede disminuir el impacto de los metales pesados en el organismo animal y en las personas? 26

Bibliografía. 28

Resumen

En la Comarca Lagunera se desarrollan diversas actividades agrícolas y pecuarias que representan una importante fuente de ingresos económicos para los productores y la población en general, además de generar empleo en la región. Dentro de estas actividades destaca la caprinocultura, la cual constituye una oportunidad productiva relevante, especialmente por la comercialización de subproductos lácteos como quesos y dulces de leche, así como por la venta de carne de cabrito

No obstante, una problemática significativa que afecta a este tipo de producción —y en general a la población de la región— es la presencia de metales pesados en el agua y en algunos insumos alimenticios, como forrajes y granos destinados a la alimentación animal. Diversos estudios han documentado la presencia de estos elementos en distintas matrices ambientales; sin embargo, el presente trabajo se enfoca específicamente en el agua destinada al consumo animal

Las fuentes hídricas que abastecen a las explotaciones pueden presentar contaminación por metales pesados tanto de origen natural, debido a la presencia de estos elementos en capas profundas del suelo que alcanzan los mantos acuíferos, como por actividades antropogénicas, incluyendo descargas industriales en cuerpos de agua superficiales.

Por ello, se realizó un muestreo en la región de la Comarca Lagunera, que comprende los municipios de Matamoros y Torreón, en el estado de Coahuila, así como Gómez Palacio y Lerdo, en Durango, con el objetivo de determinar la presencia de metales pesados. Las muestras recolectadas incluyeron sangre (4 mL), pezuñas, pelo, leche (30 mL aproximadamente) y agua de consumo (30 mL aproximadamente).

El propósito fue evaluar el impacto del consumo de estos metales en la salud y productividad de los animales, analizando posibles alteraciones en la composición de la leche, el comportamiento, la producción láctea, la ganancia

diaria de peso y la condición corporal. En el presente trabajo se describen y analizan los datos y resultados obtenidos.

Palabras clave: Metales pesados, Caprinos, Plomo, Mercurio, Arsénico, Cadmio

I. Introducción.

Metales pesados en la comarca Lagunera.

En la actualidad, uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial es la contaminación de los suelos y las fuentes de agua por metales pesados. Este fenómeno representa una preocupación creciente debido a su persistencia en el ambiente, su capacidad de bioacumulación y los efectos tóxicos que generan en los ecosistemas. Es importante destacar que estos elementos, como el plomo, cadmio, mercurio y arsénico, no se degradan fácilmente y pueden incorporarse a la cadena alimentaria a través de las plantas, animales y productos de origen animal.

Su toxicidad constituye una amenaza seria para los organismos que lo consume o se exponen a ellos, provocando alteraciones fisiológicas, reproductivas y metabólicas. En el ámbito agropecuario, esta situación afecta la salud y productividad de los animales, así como la inocuidad de los alimentos destinados al consumo humano, representando un riesgo tanto ecológico como sanitario (*Pabón., et al 2020*).

En México, se ha reportado la presencia de metales pasados en fuentes de agua como los ríos, suelos, así como en ambientes marítimos, en donde se ha detectado la presencia toxica de estos metales en los tejidos de los organismos presentes en estos lugares (*S. Covarrubias & J. Peña., 2017*).

La principal fuente de contaminación proviene de actividades industriales, mineras, agrícolas y urbanas, que liberan desechos sin tratamiento adecuado. Estos metales, al ser persistentes y no biodegradables, tienden a depositarse en sedimentos, incorporándose posteriormente a la cadena alimentaria. Como consecuencia, puede generar efectos adversos en la fauna silvestre, en animales domésticos y de producción, así como en la salud humana, debido a la bioacumulación y biomagnificación a lo largo de los niveles tróficos.

En el contexto pecuario, la exposición prolongada a fuentes de agua o forrajes contaminados con metales pesados representa un riesgo importante, ya que puede alterar la salud y productividad de los animales, además de comprometer la inocuidad de los productos derivados como la leche, la carne y el queso.

En la región de Torreón, Coahuila, se ha documentado la presencia de metales pesados tanto en el suelo como en los cuerpos de agua superficiales. Esta situación fue evidenciada en un estudio realizado por Bennin et al (1999), donde se comprobó la existencia de concentraciones elevadas de elementos tóxicos como plomo, cadmio entre otros. Los resultados mostraron que los niveles detectados en dicha zona son comparables a los registros en otros sitios altamente contaminadas a nivel mundial, e incluso superan los límites establecidos por la Agencia Ambiental de Estados unidos (EPA) para considerarse seguros para la salud humana y ambiental (*L. Domínguez., et al 2021*).

La problemática en Torreón se asocia principalmente con la intensa actividad minera y metalúrgica que históricamente ha caracterizado a la región, lo cual ha contribuido a la liberación de residuos contaminantes al ambiente. Estos metales al depositarse en los suelos y escurrimientos hídricos pueden incorporarse a la cadena trófica a través de cultivos, fauna silvestre y animales domésticos, generando riesgos tanto para los ecosistemas locales como para la salud pública.

De acuerdo con la tabla periódica, los metales pesados son elementos químicos caracterizados por poseer una alta densidad, generalmente superior a 4g/cm, y por presentar masas y pesos atómicos mayores a 20. Estos elementos se distinguen además por su potencial toxicidad, incluso se encuentran en concentraciones bajas. En términos generales, se consideran perjudiciales para la salud humana y animal debido a su capacidad de acumularse y alterar diversos procesos fisiológicos.

No obstante, algunos metales como el hierro, cobre, zinc y manganeso son esenciales en pequeñas cantidades ya que participan en funciones biológicas vitales, como la síntesis de enzimas, el transporte de oxígeno y regulación metabólica. Sin embargo, tanto su deficiencia como su exceso pueden generar desequilibrios metabólicos y trastornos de salud que comprometen el funcionamiento normal del organismo (*Londoño et al., 2016*).

Los metales pesados tienen su origen en la corteza terrestre y se encuentran distribuidos de forma natural en el ambiente. No obstante, las actividades

humanas como el uso de fertilizantes y plaguicidas, así como la quema de combustibles fósiles han modificado significativamente su equilibrio natural. Estas acciones incrementan su concentración y favorecen su liberación en el aire, el agua y al suelo, lo que permite que se transformen en contaminantes ambientales (*Cota et al., 2023*).

Una vez liberados, los metales pesados pueden incorporarse al ciclo biogeoquímico, acumulándose en sedimentos, los organismos y la vegetación. Este proceso conocido como bioacumulación, ocurre cuando los metales pesados se almacenan en los tejidos de plantes y de los animales, ya que el organismo contaminado es consumido por otros niveles tróficos, se produce la biomagnificación, es decir, el aumento de la concentración de metales a medida que se asciende en la cadena alimentaria.

Como consecuencia, la presencia elevada de estos elementos puede alterar la estructura y función de los ecosistemas, afectar la salud de los humanos y animales.

La contaminación de los elementos naturales por metales pesados puede clasificarse en tres categorías, según su naturaleza, comportamiento e importancia, así como por los efectos o riesgos que representan para la salud debido a su presencia en el ambiente. En otras palabras, estas categorías de dividen de acuerdo la naturaleza del contaminante:

- **Contaminantes de naturaleza química,** que incluyen tanto los compuestos inorgánicos (como los metales pesados) como orgánicos (plaguicidas, solventes, hidrocarburos, entre otros).
- **Contaminantes de naturaleza biológica,** originados por la presencia de microorganismos patógenos como las bacterias, virus y parásitos.
- **Contaminantes de naturaleza física,** que comprenden agentes de tipo mecánico, térmico o radiactivo.

Esta clasificación permite comprender mejor el origen y comportamiento de los contaminantes en los ecosistemas, así como los posibles impactos que pueden generar en la salud humana, animal y ambiental.

Dentro de los contaminantes de tipo químico se incluyen los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en los diferentes elementos del medio ambiente. Entre los contaminantes inorgánicos destacan los iones nitrogenados, los cuales se presentan comúnmente como forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y nitrógeno orgánico.

Por otro lado, los contaminantes orgánicos corresponden a compuestos que se encuentran disueltos o dispersos en el agua, y que provienen principalmente de los desechos humanos y animales, de rastros y mataderos, del procesamiento de alimentos, así como de diversas actividades industriales. Así mismo, los compuestos metálicos pueden transformarse en un problema ambiental cuando sus concentraciones exceden los límites permitidos, ya que representan una fuente importante de toxicidad para los ecosistemas y los organismos que los habitan (*Armijo et al., 2018*).

Las erupciones volcánicas y la erosión provocada por las aguas termales constituyen las principales fuentes naturales de dispersión de metales pesados en el ambiente. Sin embargo, las actividades antropogénicas son las que más contribuyen a su liberación y acumulación. Entre ellas destacan la agricultura, debido al uso intensivo de fertilizantes en insecticidas; la ganadería, por la gestión inadecuada de residuos orgánicos; y la minería, que libera grandes cantidades de elementos metálicos del suelo y al agua.

Asimismo, las industrias como la metalurgia, química, electrónica y farmacéutica representan fuentes significativas de contaminación, ya que sus procesos productivos pueden emitir compuestos metálicos si no se aplican adecuadamente (*Cota at al., 2023*).

De manera particular, la contaminación del agua por estos elementos ya sea de origen antropogénico o natural, representa amenazas hacia la salud pública como en la salud de los animales. Esta problemática se agrava debido a la estrecha relación que existe entre los dos polos, dado a que los animales forman parte de las unidades de producción.

Diversos estudios recientes han identificado la presencia de metales pesados y metaloides como el plomo (Pb), mercurio (Hg), arsénico (As), zinc (Zn), níquel (Ni), y cromo (Cr) en tejidos comestibles de animales, especialmente

en lugares como la carne, hígado y riñón. Esta contaminación se asocia principalmente al consumo de agua o de forrajes contaminados, resultado de procesos de bioacumulación, donde las concentraciones de estos elementos aumentan progresivamente a lo largo del consumo (*C. Reyes et al., 2016)*.

La exposición prolongada puede generar efectos tóxicos crónicos como daño renal, hepático, neurológico y reproductivo, además de comprometer la calidad de los alimentos de origen animal. Por ello, la vigilancia ambiental y el monitoreo de contaminantes metálicos en los sistemas hídricos y agropecuarios resultan esenciales para prevenir riesgos a la salud y garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales.

La susceptibilidad de los animales a los efectos tóxicos de los metales pesados puede verse influenciado por numerosos factores, uno de los principales factores son la relación que tienen estos organismos con estos elementos. Los efectos tóxicos de estos metales pueden potenciarse o inhibirse dependiendo del estado metabólico de los animales, así como de su condición corporal, es importante tener en cuenta esto, al igual que tener en cuenta que la homeostasis de los elementos esenciales puede verse afectados por la presencia de estos componentes.

La acumulación de estos contaminantes y su interacción con los organismos animales han sido objeto de estudios tanto en especies expuestas en zonas afectadas como en entornos experimentales. Dichas investigaciones han evaluado la exposición a concentraciones elevadas de metales pesados; no obstante, la información disponible sobre estos casos es aún muy limitada (*A. López et al, 2002*).

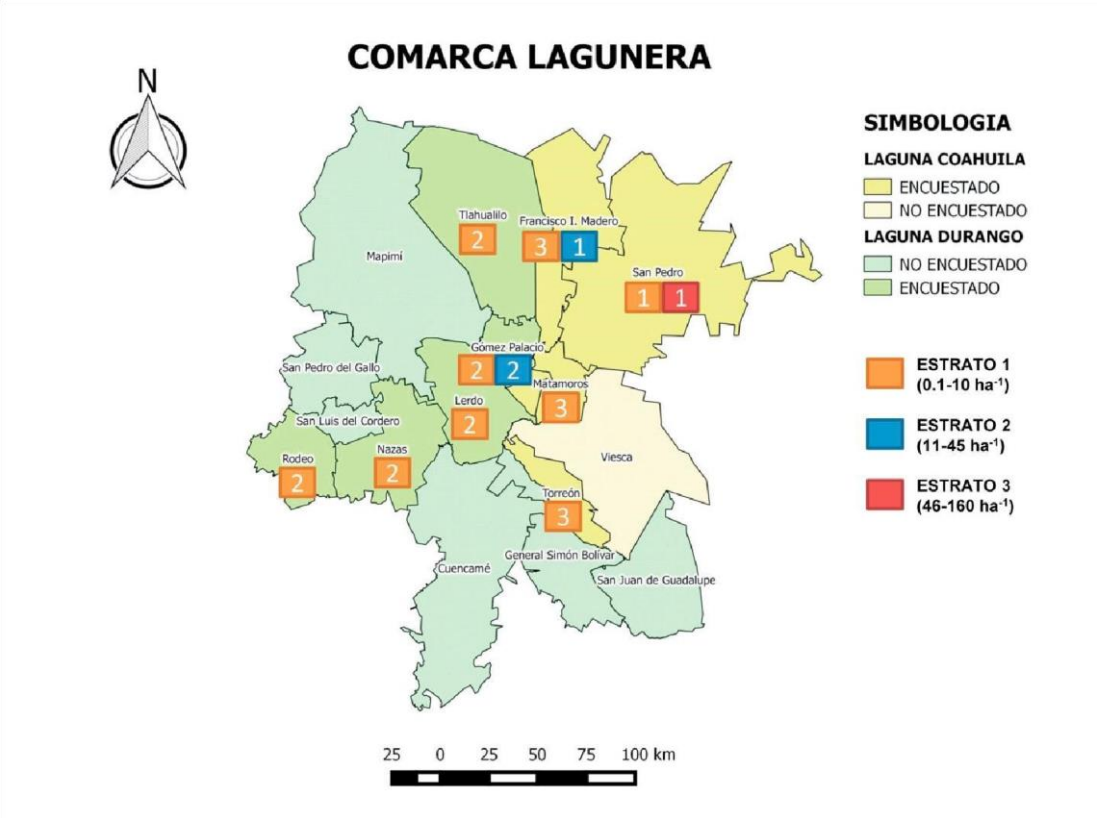
Por ello, resulta fundamental continuar actualizando y ampliando las investigaciones en especial en regiones como la Comarca Lagunera, considerando un eje económico y productivo clave, donde la actividad pecuaria y agrícola representa una fuente esencial de alimento y de ingreso para sus habitantes.

II. Marco de referencia.

El presente estudio se realizó en el norte de México, en un área árida, que comprende los estados de Durango y Coahuila. Específicamente hablamos de la zona conocida como la comarca Lagunera, en donde se llevaron a cabo muestreos en diferentes ejidos de Torreón y Gómez palacio.

Esto se realizó tratando de cubrir todas las zonas de estas dos cuidades por eso es por lo que se tomaron más de 15 muestreos en diferentes ejidos de las ya mencionadas cuidades.

La comarca Lagunera es una región socioeconómica del norte de México, compartida por Coahuila y Durango. Esta zona es un motor económico importante, con una zona metropolitana grande y una producción significativa de leche.



III. Marco teórico

Metales pesados en la comarca lagunera.

La contaminación por metales pesados se ha convertido en un problema ambiental en constante aumento a nivel mundial, nacional y regional, particularmente en la región de la comarca Lagunera. Este fenómeno se relaciona particularmente con diversas actividades humanas que alteran el equilibrio natural del entorno.

Las actividades antrópicas se entienden como aquellas acciones o procesos derivados del comportamiento humano que provocan modificaciones en el medio ambiente. Entre ellas destacan la deforestación de áreas verdes, la expansión urbana sobre zonas naturales, así como las prácticas agrícolas y ganaderas. Estas actividades generan residuos y emisiones que alteran las condiciones del suelo, del agua y del aire, afectando directamente la biodiversidad y deteriorando la calidad de los ecosistemas.

El ser humano y sus actividades son unas de las principales amenazas que enfrentan los ecosistemas, debido a que muchas de las ocasiones se usan de manera irresponsable los recursos que podemos encontrar en él (*Donoso N., 2018*).

Debido a las acciones anteriores se puede ponerla salud ambiental, está la podemos definir como la relación de todos los factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona o de un organismo que podría incidir en su salud, entre los que se encuentran los metales pesados que constituyen uno de varios contaminantes ambientales.

La presencia de metales pesados en el ambiente ha aumentado considerablemente como resultado de diversas actividades relacionadas con el desarrollo rural, así como por procesos industriales, agrícolas y el tráfico vehicular. Estas acciones provocan una acumulación significativa de dichos elementos en los principales componentes del entorno, como el suelo, aire y el agua (*Neira, C. et al., 2016*).

Como se ha mencionado previamente, esta problemática reviste gran relevancia debido a su presencia prácticamente mundial, aunque existen

regiones donde su impacto es más notorio y concentrado. Estas zonas suelen coincidir con áreas de intensa actividad industrial, minera o agrícola, donde el manejo inadecuado de desechos y falta regulación ambiental contribuyen al aumento de la contaminación.

Por consiguiente, es relevante destacar que en México no está exento de esta problemática, pues se ha comprobado mediante diversas investigaciones que la presencia de metales pesado y metaloides representa un serio desafío ambiental en el país. Las concentraciones de estos compuestos suelen superar los límites establecidos por las normas ambientales nacionales e internacionales, lo que provoca la alteración del equilibrio ecológico y que genera riesgos significativos para la salud pública. Este impacto se refleja especialmente en la seguridad alimentaria, tanto en áreas urbanas como rurales, donde la contaminación del suelo, agua y los cultivos compromete la calidad de los alimentos y, por ende, el bienestar de la población (*Trejo & Gaytán, 2025*).

Existen zonas del país en las que se concentra la mayoría del problema, ya sea porque las actividades llevadas a cabo en estos estados afecten la presencia de estos materiales en los recursos, aunque en esta ocasión nos vamos a concentrar en la región del norte de México, específicamente en la zona de la comarca lagunera, que comprende los estados de Coahuila y Durango es importante mencionar que este problema se encuentra en la mayoría del país.

La presencia de metales pesados en el ambienté de Torreón representa una grave problemática ambiental que ha impactado significativamente la salud de los habitantes de la comarca lagunera a lo largo de varias generaciones, afectando con mayor intensidad a la población infantil. Este fenómeno ha sido identificado y denunciado desde hace más de dos décadas (*Méndez, 1999*).

Los daños que causan son tan severos y en ocasiones ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud del mundo enfocan mucha atención en tratar de minimizar la exposición de las poblaciones, específicamente la población infantil a estos elementos tóxicos.

El problema en la comarca lagunera es provocado por el plomo, cadmio y arsénico, elementos que son altamente tóxicos y dañinos para las personas como para los animales. Sin embargo, los estudios se han enfocado a uno de estos elementos específicamente, el plomo, esto no significa que este sea más toxico que los demás, sino que es el que más comúnmente causa problemas ya que es el más se ha utilizado en el mundo (*Valdés., 1999*).

Debemos mencionar que este es un problema el cual debe ser tratado con la seriedad y la importancia que se merece, ya que no solo afecta a las personas si no también se ha demostrado que afecta a los animales que son la principal fuente de alimento en el mundo.

En México al igual que en la comarca lagunera existen diversas actividades de las cuales se generan demasiados empleos, pero de igual manera se generan muchos desechos que generan impactos negativos en el medio ambiente.

La dispersión de los metales pesados en la naturaleza puede depender de fuentes naturaleza o ya sea que se generen de una manera antropogénica, es decir que se genere por medio de actividades que lleva a cabo el ser humano al modificar su composición y convertirlos en contaminantes. Existen demasiadas actividades que generan estos desechos dentro de las cuales podemos mencionar la agricultura y la ganadería por el uso de fertilizantes y plaguicidas.

Además de las actividades ya mencionadas, podemos destacar otras como la minería y las industrias metalúrgicas, que, en nuestro país, sobre todo en el norte son muy comunes y en las que se pueden generar aguas residuales o se queman combustibles (*Cota., et al, 2023*).

Es importante definir esto, ya que con estas industrias se generan los desechos con los cuales se contaminan, fuentes de agua, suelos e incluso el aire, mencionar además que en la región de Torreón se encuentra una de las principales fundidoras del país, al igual que otras industrias que desechan metales por lo que se convierten en un factor por el cual el problema se vuelve grave.

Los metales pesados son un grupo de compuestos químicos que están compuestos por una alta densidad y peso atómico, que en grandes concentraciones pueden ser tóxicos para el organismo humano y para los animales los cuales podemos encontrar presentes en la corteza de la tierra.

Estos elementos los podemos clasificar de acuerdo con sus funciones y efectos biológicos 1) metales esenciales con funciones biológicas conocidas que son requeridos en cantidades traza como nutrientes de la vida de los animales (Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo); 2) metales tóxicos, los cuales pueden ejercer un efecto nocivo en bajas concentraciones (Ag, Cd, Cr, Sn, Au, Hg, Al, Se, As) y 3) los metales no esenciales, que no son tóxicos y sus efectos biológicos son desconocidos (Rb, Cs, Sr). Importante hay que mencionar que algunos de los metales son requeridos como micronutrientes en algunas ocasiones para los animales para llevar a cabo ciertos procesos celulares o enzimáticos (*Beltrán & Gómez., 2015*).

Sin embargo, existen metales los cuales llegan a presentarse más comúnmente o que su toxicidad es mayor que los demás elementos, dicho esto podemos mencionar que los que se relacionan más comúnmente con intoxicaciones son el plomo, mercurio, arsénico y cadmio, ya que estos se pueden acumular en el cuerpo de las cabras y afectar los diferentes sistemas del organismo.

Plomo.

El plomo ha sido ampliamente utilizado por el ser humano a lo largo de la historia debido a sus propiedades físicas y químicas, lo que lo ha hecho común en la fabricación de baterías, pinturas, tuberías, combustibles y otros productos industriales. Aunque este metal se encuentra de manera natural en el ambiente, el desarrollo industrial y las actividades han provocado un aumento considerable de su concentración, en el aire, el agua y el suelo.

Este elemento es un metal blando, color gris azulado, estable y resistente a la corrosión. Puede presentarse en formas orgánicas e inorgánicas; la forma inorgánica se encuentra principalmente en pinturas, tierra, polvo y diversos productos de manufactura, así como los gases liberados por la combustión de la gasolina. Por otro lado, la forma orgánica del plomo está presente en

algunos compuestos metálicos utilizados en aditivos o procesos industriales (*Poma, 2008*).

La acumulación de plomo en el ambiente representa un riesgo tanto ecológico como sanitario, ya que este metal puede bioacumularse en los organismos vivos, afectando la fauna silvestre, los animales domésticos y al ser humano a través de la cadena alimentaria. Su expedición prolongada se asocia con daños neurológicos, renales, hematológicos y reproductivos, lo que convierte su manejo y control en una prioridad ambiental y de salud pública (*Vargas, 2023, OMS, 2024*).

Mercurio.

El mercurio es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales de transición. Su uso se da desde la antigüedad y por consecuencia hoy en día este tiene una amplia distribución en el mundo y así mismo en el medio ambiente. Este es un metal que es reconocido como un elemento toxico que puede provocar contaminación a gran escala, por ser bioquímicamente activo, bioacumulable y persistente, siendo este altamente toxico para los seres humanos y los animales (*Muñoz & Arango., 2020*).

Actualmente podemos encontrar el mercurio en herramientas como termómetros y barómetros, también podemos encontrarlo siendo usado para amalgamas dentales, pesticidas, baterías y lámparas fluorescentes *(Morton et al., 2024*).

El mercurio tiende a unirse fuertemente a los componentes del suelo, lo cual reduce su disponibilidad, pero el metilmercurio es una de las formas orgánicas de este metal es altamente toxico debido a su gran poder de biomagnificación, además de la capacidad de acumularse en membranas fisiológicas y debido a su alta liposolubilidad puede atravesar fácilmente las membranas fetales tales como las placentarias y hematoencefálicas. Una vez que el mercurio se ha depositado en el ambiente se incrementa el riesgo de exposición e intoxicación de los seres vivos, ya que generalmente están expuestos al metilmercurio a través de las dietas, más comúnmente en aquellas que tienen productos de origen marino (*Beltrán y Gómez., 2014*).

Arsénico.

El arsénico es un metaloide altamente toxico y de amplia distribución natural en la corteza terrestre, ocupando el vigésimo lugar entre los elementos más abundantes. Forma parte de diversas rocas y minerales, como la arsenopirita y los sulfuros metálicos. Mediante procesos de erosión, meteorización y disolución de las rocas, este elemento puede liberarse al medio ambiente, contaminando los mantos acuíferos y acumulándose principalmente en forma de sales inorgánicas, como el arsenito (As III) y el arsenato (As V), siendo el primero más toxico y peligroso para los seres vivos, su falta de olor y sabor facilita su ingestión a través del agua o los alimentos, lo que incrementa el riesgo de intoxicación crónica o aguda en humanos y animales (*Rodríguez, 2021*).

Además de su origen natural, el arsénico también se libera al ambiente por diversas actividades antropogénicas, como la minería, fundición de metales, la producción de pesticidas, herbicidas y conservadores de madera, así como de la quema de combustibles fósiles. Estas prácticas intensifican su presencia en el suelo, el aire y el agua, permitiendo su entrada a la cadena alimentaria.

En el ámbito agropecuario, este metaloide puede acumularse en los cultivos irrigados con aguas contaminadas o en suelos con alto contenido del arsénico, lo que representa un riesgo adicional para los animales que consumen forrajes contaminados. En especies ganaderas, la exposición prolongada puede generar alteraciones metabólicas, daños hepáticos, renales y reproductivos, además de disminuir la productividad. Por lo tanto, el control de este contaminante es esencial para proteger la salud pública, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental (R*odríguez, 2021, OMS, 2023, FAO, 2024*).

Cadmio.

Por lo general el cadmio no se encuentra en el ambiente de manera natural como un metal puro, es más encontrado en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos de zinc, plomo y menas de cobre.

El cadmio es un elemento suave y de color plateado que es un subproducto del procesamiento de otros metales. Así mismo esta naturalmente presente en

diversas concentraciones en la roca de fosfato extraída para realizar fertilizantes, por la quema de combustibles fósiles (*Pérez & Azcona., 2012*).

Además de ser un contaminante ambiental desde que se procesa este metal, como lo puede ser su fundición y refinación, contamina también por sus múltiples aplicaciones industriales, en donde podemos ver que los usos más comunes que se le da a este elemento son como pigmento de pinturas, en la aleación de otros elementos como la plata y el cobre (*Ramírez., 2002*).

Es por esto por lo que este metal pesado es uno de los que contamina mayormente y es por eso por lo que es importante mencionarlo en esta lista.

Los metales mencionados anteriormente solo son algunos de una gran lista que podemos mencionar que afectan a los animales como las cabras y en general a la población, pero nos enfocaremos en estos ya que nuestro proyecto así lo requiere.

Una vez que se mencionan y se describen brevemente estos metales, es hora de enfocarnos en como estos afectan el organismo y la salud de las cabras, aquí nos vamos a enfocar en la manera en que estos van deteriorando la salud y bienestar del animal, además de mencionar de qué manera llegan al consumo de los hatos caprinos.

En México, la demanda de productos lácteos derivados de los caprinos ha mostrado un incremento constantemente, lo cual refleja una tendencia creciente en el consumo de alimentos que, además de su valor nutricional, poseen un fuerte arraigo cultural y social en diversas regiones del país. Este aumento ha impulsado la necesidad de consolidar la cadena productiva, desde la obtención primaria de la leche, hasta los procesos de transformación y comercialización, con el propósito de garantizar mayor eficiencia, calidad e integración en el mercado.

Un caso emblemático de esta dinámica se observa en la comarca lagunera, ubicada en el norte de México reconocida como la región más importante para la producción de leche caprina a nivel nacional. En esta zona se concentran aproximadamente 9 mil unidades productoras, en su mayoría conformadas por pequeños productores. Estas unidades no solo abastecen de manera

significativa al mercado, sino que también contribuyen a sostener la economía local, ya que representan una fuente primordial de ingresos para numerosas para familias rurales (*Sánchez., el tal 2011*).

Desde un punto de vista técnico, la producción caprina ha permitido el desarrollo de sistemas productivos diversificados que van más allá de la leche fresca. Muchos productores participan en la producción de quesos artesanales, dulces y otros derivados lácteos que poseen una creciente aceptación en el mercado, lo que amplía las oportunidades de comercialización. Asimismo, se han impulsado prácticas de manejo más eficientes orientadas a mejorar la productividad de los hatos lo cual favorece la competitividad de la región.

Por otro lado, desde una perspectiva social, la actividad caprina en esta región representa un pilar importante para la subsistencia de pequeños productores y sus comunidades.

La cría de cabras y la producción de leche no solo garantizan ingresos económicos, sino que también preservan tradiciones, fortalecen la identidad cultural y favorecen la cohesión comunitaria. Además, al tratarse de unidades productivas de carácter familiar, la transmisión de conocimientos y prácticas de manejo se convierte en un elemento clave para la continuidad de esta actividad en las nuevas generaciones.

En conjunto, la creciente demanda de lácteos caprinos y la importancia de la comarca lagunera en este ámbito muestran como la producción caprina no solo constituye una actividad agropecuaria relevante, sino también es un factor estratégico para el desarrollo económico del norte de México.

Es por eso la importancia de nuestro trabajo, ya que con esto podemos observar el comportamiento de este tipo de materiales y como es que cada uno de ellos afecta el bienestar y salud de los rebaños y en consecuencia como afecta o degenera las actividades de la gente de esta región. Por lo mismo tenemos que definir y describir como es la manera en que estos elementos dañan al cuerpo y actividades de la cabra.

Alteraciones metabólicas derivadas de la interacción entre metales tóxicos y nutrientes esenciales.

La susceptibilidad de las cabras a los efectos nocivos de los metales está condicionada por múltiples factores fisiológicos y ambientales. Entre ellos la interacción entre los elementos esenciales, como el hierro, zinc, cobre o el selenio desempeñan un papel central, ya que estos micronutrientes son fundamentales para el mantenimiento de procesos metabólicos vitales.

La toxicidad de ciertos metales pesados como el plomo, el cadmio, el mercurio puede verse potenciada o atenuada dependiendo del estado metabólico y la disponibilidad de los elementos esenciales en el organismo. Por ejemplo, un déficit de zinc puede aumentar la absorción de cadmio, mientras que niveles adecuados de selenio pueden contrarrestar los efectos dañinos del mercurio (*López et al., 2001*).

De manera reciproca, la exposición a metales tóxicos puede alterar la homeostasis de los elementos esenciales, interfiriendo en la absorción, transporte y utilización enzimática. Esto genera un círculo de desequilibrio metabólico que afecta la salud del animal, incrementando el riesgo de enfermedades asociadas al estrés oxidativo, al daño celular y a la disfunción de órganos vitales.

En este sentido, comprender la relación entre metales tóxicos y elementos esenciales resulta crucial para evaluar los riesgos toxicológicos, diseñar estrategias de mitigación y garantizar la salud de los animales expuestos en ambientes que se encuentran contaminados.

Dentro de los metales considerados tóxicos, el cadmio, el plomo, el arsénico y el mercurio ocupan un lugar prioritario debido a su capacidad de bioacumulación en la cadena trófica. Lo que incrementa su concentración a medida que ascienden los niveles tróficos. Este fenómeno representa un riesgo significativo tanto para la salud animal como para la humana ya que incluso pequeñas cantidades presentes en el ambiente pueden llegar a convertirse en dosis peligrosas al concentrarse en los organismos superiores.

En contraste, otros metales como el cobre y el zinc, aunque son catalogados como elementos esenciales por intervenir en funciones biológicas clave, tales

como la actividad enzimática, la síntesis de proteínas y el mantenimiento de la homeostasis celular, pueden provocar efectos nocivos cuando se acumulan a niveles superiores a los requeridos por el organismo. En exceso, estos elementos alteran procesos metabólicos fundamentales y pueden actuar como tóxicos al generar desequilibrios bioquímicos.

La exposición aguda a concentraciones elevadas de estos contaminantes suele ocasionar efectos letales inmediatos, debido a que interfieren con funciones vitales, como la respiración celular, el transporte de oxígeno o la integridad del sistema nervioso. Sin embargo, la exposición crónica a bajas dosis, aunque menos evidente, constituye un riesgo mayor a largo plazo. Este tipo de exposición se ha asociado a efectos mutagénicos (alteración del material genético) carcinogénicos (desarrollo de cáncer), teratogénicos (malformaciones en el desarrollo embrionario) además de inmunosupresión, perdida de condición corporal y problemas reproductivos.

En conjunto, la presencia de estos metales en el ambiente y su interacción con organismos vivos subrayan la importancia de comprender sus mecanismos de acción, tanto para evaluar los riesgos en la salud pública y animal como para establecer estrategias de prevención y control.

Con estos acabamos de describir en general los metales pesados, en donde podemos destacar como es que algunos de estos afectan al organismo de los animales, en este caso las cabras, ahora nos enfocaremos en como cada una de estos daña la homeostasis del animal.

Efectos generales del plomo en cabras.

El plomo es un metal pesado con alta toxicidad que afecta múltiples órganos y sistemas en los animales. Su acción está relacionada con su capacidad para actuar como agonista o antagonista del calcio, interfiriendo en procesos fisiológicos esenciales, así como su afinidad por proteínas que contienen grupos sulfhídricos, aminas, fosfatos y carboxilos (*Poma., 2006*).

Estas interacciones provocan alteraciones metabólicas que comprometen la salud en general de las cabras expuestas.

Efectos reproductivos y en el desarrollo fetal.

En hembras gestantes, el plomo tiene la capacidad de atravesar la barrera transplacentaria, acumulándose en los en los tejidos de las crías. Esta exposición se asocia con abortos espontáneos, partos prematuros, muerte fetal y con el nacimiento de cabritos con bajo peso al nacer, lo que afecta su viabilidad y desarrollo productivo. Además, el plomo puede interferir en la formación y maduración del sistema nervioso, lo que incrementa el riesgo de alteraciones neurológicas en las crías.

Impacto en la leche y en la seguridad alimentaria.

La exposición crónica al plomo no solo repercute en la salud de las cabras, sino que también tiene consecuencias directas sobre la calidad de la leche. Este metal puede excretarse a través de la glándula mamaria y acumularse en la leche destinada al consumo, lo cual representa un riesgo doble: afecta al crecimiento y desarrollo de los cabritos en lactancia y compromete la inocuidad de los productos de origen caprino para el consumo humano. En personas, la ingesta prolongada de leche contaminada con plomo puede causar daños neurológicos, hematológicos y reproductivos.

Implicaciones productivas y de salud pública.

La presencia de plomo en sistemas de producción caprina representa una problemática no solo en veterinaria, sino que también de carácter sanitario. Los efectos en la salud animal reducen la productividad y rentabilidad en los rebaños, mientras que la contaminación de productos caprinos constituye una amenaza directa para la salud agroalimentaria y la salud publica en general. Esto hace indispensable establecer medidas de monitoreo, control y manejo que reduzcan la exposición de los animales a fuentes de contaminación por plomo.

Efectos generales del mercurio en cabras.

En cabras, los efectos del mercurio, tanto inorgánico como orgánico, se deben a que su forma iónica no forma enlaces químicos estables.

A nivel enzimático, este metal es dañino, por que provoca la precipitación de las proteínas sintetizadas por las células, en especial las neuronas, e inhibe los grupos del sulfhídrico de enzimas esenciales para el metabolismo. En

estado iónico, el mercurio se une a los radicales SH, de las células caprinas, alterando procesos metabólicos, enzimáticos y la membrana celular, además bloquea la síntesis de proteínas en la mitocondria, que reduce la producción de energía.

En los riñones de las cabras disminuye la actividad de las fosfatasas alcalinas en los túbulos proximales, altera el transporte de potasio y afecta la función de la ATPasa en la membrana. En el encéfalo, las neuronas del cerebro y el cerebelo son lo más sensibles, lo que explica la presencia de síntomas neurológicos (*Ramírez., 2008*).

Del mismo modo, el mercurio interfiere con enzimas fundamentales en cabras, como catalasas plasmáticas, colinesterasa, glutatión-reductasa, glicerofosfatasa y succimodeshidrogenasa entre otras. Por todo ello, la acumulación del mercurio en concentraciones significativas puede producir daño celular en cualquier tejido del organismo caprino.

Impactos productivos en cabras.

La intoxicación por mercurio afecta el estado general del animal, reduciendo su apetito, generando perdida de condición corporal y a su vez disminuyendo la producción de leche. En casos crónicos, las cabras presentan casos de debilidad progresiva y un menor aprovechamiento de los nutrientes, lo que se traduce en baja eficiencia productiva, menor ganancia de peso y reducción en la calidad de sus productos (carne y leche).

Impactos reproductivos en cabras.

El mercurio puede alterar procesos hormonales y afectar la viabilidad de gametos, lo que reduce la fertilidad. Se han descrito fallos en la concepción, reabsorción embrionaria, abortos espontáneos y nacimiento de cabritos débiles o no viables. Además, las hembras intoxicadas pueden tener problemas en la gestación y en la capacidad de amamantar, mientras que en machos caprinos puede afectar la calidad y motilidad espermática.

Impactos en la salud pública.

La intoxicación por mercurio en cabras no solo afecta su bienestar y productividad, sino que también representa un riesgo para las personas. La leche, la carne y otros derivados caprinos pueden acumular residuos de

mercurio, convirtiéndose en una vía de exposición humana. El consumo de estos productos contaminados puede causar intoxicaciones crónicas en comunidades rurales y metabólicas en personas, así como un impacto negativo en la seguridad alimentaria y en la confianza del consumidor. A nivel comunitario, esto se traduce en problemas de salud pública, pérdidas económicas y necesidad de controles estrictos sobre alimentos de origen animal.

Efectos generales del arsénico en las cabras.

El arsénico constituye un elemento de elevada toxicidad que, debido a la ausencia de sabor y olor, puede ser consumido inadvertidamente por los caprinos a través del agua o en alimentos contaminados, generando cuadros de hidroarsenicismo en formas agudas y subagudas. Diversas investigaciones han demostrado que este metaloide ejerce efectos adversos sobre múltiples sistemas biológicos, incluyendo el dermatológico, cardiovascular, inmunológico, neurológico, hepático, renal y respiratorio. Asimismo, se ha documentado su interferencia en el desarrollo embrionario de hembras gestantes y su reconocida acción carcinogénica, lo cual interviene en un contaminante ambiental de alta relevancia sanitaria (*Rodríguez., 2020*).

Impactos productivos en caprinos.

La intoxicación por arsénico repercute negativamente en los parámetros zootécnicos. Entre las principales consecuencias se destacan la disminución del consumo voluntario de materia seca, pérdida progresiva de peso, reducción significativa y calidad de la leche, así como deterioro de la calidad del canal. En intoxicaciones crónicas, los animales presentan un fenotipo caracterizado por emaciación, pelaje opaco y reducción general en la eficiencia productiva, lo que afecta la rentabilidad de los sistemas de producción caprina.

Impactos en salud pública.

La capacidad del arsénico para bioacumularse en los tejidos y productos de origen caprino representa una amenaza directa para la salud humana. El consumo prolongado de leche, carne y derivados puede provocar intoxicaciones crónicas en poblaciones, con manifestaciones clínicas que

incluyen lesiones dermatológicas, alteraciones cardiovasculares, neurológicas, hepáticas y renales, así como un aumento en la incidencia de procesos carcinogénicos. Esta situación no solo compromete la inocuidad y calidad de los alimentos, sino que también constituyamos puede provocar intoxicaciones crónicas en poblaciones, con manifestaciones clínicas que incluyen lesiones dermatológicas, alteraciones cardiovasculares, neurológicas, hepáticas y renales, así como un aumento en la incidencia de procesos carcinogénicos. Esta situación no solo compromete la inocuidad y calidad de los alimentos, sino que también constituye un problema de seguridad alimentaria con consecuencias en la salud pública y en la sostenibilidad económica de las comunidades dependientes de la producción caprina.

Efectos generales del cadmio en cabras.

La inhalación de concentraciones elevadas de cadmio en caprinos y en general en animales que lo llegan a consumir pueden originar un cuadro clínico poco definido en sus etapas iniciales, que posteriormente progresa a la fiebre, alteraciones digestivas, dolor torácico, disnea y edema pulmonar agudo. Este último puede ocasionar la muerte por la insuficiencia respiratoria que se genera. Dichos efectos se relacionan con la acción irritante del cadmio sobre las mucosas respiratorias y con el desarrollo de un síndrome de dificultad respiratoria aguda (*Pérez & Azcona., 2012*).

Por otra parte, la ingestión de agua, forrajes o suplementos contaminados con cadmio en concentraciones cercanas a 15 ppm ocasiona síntomas como vomito, dolor abdominal y alteraciones neurológicas, las cuales en caprinos suelen evidenciarse como rechazo al alimento, nerviosismo o posturas anormales. En numerosos casos se observa diarrea profusa acompañada de debilidad y colapso, que pueden evolucionar hacia un estado de choque o incluso llegar a la muerte (*Pérez & Azcona., 2012*).

Efectos productivos.

La intoxicación por cadmio repercute negativamente en la eficiencia productiva de los caprinos. Entre las principales afectaciones que podemos enlistar se encuentran las siguientes:

- Disminución de la ganancia de peso, lo cual nos genera cabritos muy delgados y una calidad de la carne muy mala.
- Perdida de la condición corporal, lo que nos genera que se vea comprometida la salud de los animales al no tener o no cumplir con los requerimientos básicos para llevar a cabo ciertas funciones del organismo.
- Reducción de la eficiencia alimenticia, puede verse reflejado en dietas que no logran ser aprovechadas de la mejor manera.
- Disminución de la producción láctea, lo que general perdida de ganancias además de que la calidad de la leche se ve severamente afectada.

Estas consecuencias comprometen directamente la rentabilidad de los sistemas productivos de esta especie, ya que, al afectar la calidad de la leche, así como de la de la carne genera que se tengan precios más bajos para poder vender estos productos.

Alteraciones reproductivas.

El cadmio tiene un efecto toxico sobre el sistema reproductivo de los caprinos, tanto en hembras como en machos. Su acción se relaciona con el estrés oxidativo, la alteración hormonal y el daño celular en gónadas y órganos reproductivos.

En hembras.

- Disrupción del ciclo estral, generando anestro o ciclos irregulares.
- Alteración de la función ovárica, con reducción del número y la calidad de los folículos ováricos.
- Daña el epitelio uterino, que este a su vez afecta a la implantación embrionaria.
- Mayor incidencia de reabsorciones embrionarias y abortos espontáneos.
- Nacimiento de crías débiles, con bajo peso al nacimiento y mayor mortalidad perinatal.

- Reducción de la producción de hormonas sexuales (estrógenos y progesterona), lo que compromete la capacidad reproductiva a largo plazo.

En los machos.

- Degeneración testicular con daño en los túbulos seminíferos.
- Disminución de en la producción y viabilidad de espermatozoides.
- Reducción de la motilidad espermática y en la concentración espermática en el eyaculado.
- Alteraciones morfológicas en espermatozoides, que reducen la capacidad de fecundación.
- Disminución en la secreción de testosterona, con efectos negativos sobre la libido y la capacidad de monta.

Estas alteraciones comprometen severamente la fertilidad y eficiencia reproductiva del hato caprino, impactando en la reposición de animales y en la viabilidad de los programas de producción.

Impacto en la salud pública.

El cadmio representa un riesgo considerable tanto para la salud de los animales como para los humanos debido a su capacidad de acumularse en los tejidos comestibles de los caprinos, como lo son el hígado, riñón, musculo y en la leche. El consumo de estos productos contaminados puede generar intoxicaciones en humanos con manifestaciones como las siguientes:

- Trastornos gastrointestinales.
- Daño renal y óseo.
- Alteraciones cardiovasculares y reproductivas.
- Efectos crónicos con potencial carcinogénicas.

En este sentido, la contaminación por cadmio en caprinos no solo afecta la productividad y reproducción de los animales, sino que también constituye un problema de inocuidad alimentaria con consecuencias directas para la salud pública.

¿Como podemos reducir el impacto de los metales pesados en el ambiente?

De acuerdo con lo que se citó anteriormente y en base a la información que se puede obtener sobre esta problemática, podemos observar que se trata de un problema no menor, pero aun con eso existen maneras de reducir el impacto de estos tanto en el medio ambiente como en los organismos animales y humanos.

De estas técnicas se tiene una clasificación ya que en algunos contextos es más fácil emplear unos que otros, esta clasificación la podemos dividir entre las técnicas convencionales y los no convencionales, en esta ocasión nos enfocaremos un poco en describir los convencionales.

- **Filtración por membrana:** Esta tecnología se caracteriza por su alta eficiencia, reducido requerimiento de espacio, operación sencilla y falta de selectividad; sin embargo, produce volúmenes de lodos con contenido metálico. Su aplicación es común en el tratamiento de agua potable, aguas residuales de origen industrial y en menor proporción, aguas residuales domésticas.

  Las membrabas pueden clasificarse según diversos criterios entre ellos el peso molecular de corte, el tipo de material (yan sea sintético o polímeros naturales modificados, acoplados o estructurados), la permeabilidad y solubilidad del soluto y del solvente en la película, así como la superficie, el espesor activo y la carga superficial.

  Los procesos de separación mediante membranas se utilizan ampliamente para el tratamiento y recuperación de sales metálicas provenientes de residuos de la industria galvanoplástica, el reciclaje de aceites, la elaboración de alimentos y bebidas y las actividades de exploración y producción de hidrocarburos (*Rubio et al, 2015)*.
- **Electrodiálisis:** La electrodiálisis es una tecnología que ha mostrado una alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con presencia de metales pesados y se ha empleado ampliamente para la remoción de contaminantes específicos como el zinc, debido a su elevada selectividad.

Este proceso puede operar a bajas presiones, lo que contribuye a disminuir el consumo energético y los costos de operación. Además, permite su aplicación en régimen continuo, lo cual incrementa la eficiencia del tratamiento y reduce los tiempos de proceso. Cabe señalar que la electrodiálisis no es el único método disponible para el tratamiento de aguas residuales con metales, ya que existen alternativas como la precipitación química etc. (*Hernández et al., 2007).*

- **Osmosis inversa:** Este método corresponde a un proceso de permeación a través de membranas que permite la separación de sustancias mediante mecanismos de difusión controlada o cribado molecular.

  Gracias a la estructura y características de la membrana, es capaz de seleccionar y retener partículas extremadamente pequeñas, lo que proporciona una elevada versatilidad y un amplio rango de aplicaciones em distintos procesos de tratamiento y purificación. Debido a esta capacidad de separación fina, la tecnología resulta especialmente útil en la eliminación de contaminantes disueltos y en la contención de efluentes de alta calidad (*Rubio et al., 2015*).

- **Nanofiltración:** Es una tecnología cuyo uso a experimentado un crecimiento notable en los últimos años. La aplicación de membranas de nanofiltración se ha expandido rápidamente en el tratamiento de aguas, así como en diversas industrias entre ellas la alimentaria, farmacéutica, química, petroquímica, biotecnológica y en procesos de desalinización, donde continuamente se desarrollan nuevas aplicaciones que requieren iniciativa y un conocimiento solido de las tecnologías de membrana.

  Así mismo, las membranas de nanofiltración presentan una carga eléctrica neta en la superficie de sus poros, lo cual varía en función del pH del medio y de las especies absorbidas. Dado que el tamaño de los poros es solo ligeramente mayor que el de los iones, las interacciones electroestáticas adquieren un papel predominante en el proceso de

separación, lo que permite aprovechar este efecto para diferenciar y separar iones según su carga eléctrica (*Guerrero., 2014).*

- **Ultrafiltración:** La ultrafiltración es una técnica de separación selectiva que opera mediante la aplicación de hasta 145 psi (10 bar). Este proceso se emplea ampliamente en el fraccionamiento de leche y suero, así como de la separación de proteínas. Permite la concentración de solidos en suspensión y de solutos con peso molecular superior a 1000 unidades de masa atómica, mientras que el permeado está compuesto principalmente por sales y compuestos orgánicos de bajo peso molecular (*Rubio et al., 2015).*
- **Intercambio iónico:** Se trata de un proceso en el cual se emplea un material, comúnmente conocido como resina de intercambio iónico, capaz de retener de manera selectiva los iones disueltos en el agua sobre su superficie. Estos iones permanecen temporalmente adsorbidos y posteriormente son liberados al entrar en contacto con una solución regenerante y de alta fuerza. Este tipo de sistemas se utiliza principalmente para la eliminación de sales presentes en el agua cuando estas se encuentran a concentraciones bajas (*Troconis., 2010).*

Los métodos descritos anteriormente constituyen únicamente una parte de las diversas alternativas existentes para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados. Cabe destacar que dichas técnicas se aplican principalmente en el ámbito de tratamiento de aguas residuales industriales; no obstante, es factible su adaptación e implementación en el caso del estudio previamente mencionado. Estas tecnologías han sido incluidas debido a que se encuentran entre las más comúnmente empleadas y presentan una mayor accesibilidad. Este aspecto resulta relevante, ya que su disponibilidad permite considerarlas como opciones viables en caso de ser requeridas. Así mismo el conocimiento y comprensión de estos métodos es fundamental para la adecuada evaluación y selección de la alternativa más apropiada para casa situación específica.

¿Cómo se puede disminuir el impacto de los metales pesados en el organismo animal y en las personas?

Diversos estudios indica que estos metales tienen la capacidad de bioacumularse en los organismos de los animales y de las personas; por lo tanto, es fundamental analizar las medidas que permitan disminuir su impacto en la salud animal y en las explotaciones pecuarias.

La presencia de elementos traza en los animales de granja es relevante tanto para la salud animal como para la salud humana. La exposición del ganado a concentraciones elevadas de metales tóxicos, así como a exposición a niveles inferiores óptimos de microelementos pueden provocar efectos adversos, entre ellos alteraciones fisiológicas. Además, la acumulación de estos metales en los tejidos y productos del ganado pueden ser transferidas a las personas a través del consumo de estos mismos productos y subproductos, representando así un riesgo potencial para la salud pública *(Bustamante et al., 2010*). Por ello, es posible considerar diversas estrategias orientadas a reducir la presencia de estos elementos, entre las cuales se incluyen el conocimiento de los límites máximos permisibles, la aplicación de recomendaciones técnicas y la realización de estudios que permitan la concentración de estos metales.

Los límites máximos permisibles se encuentran claramente establecidos para el agua, sin embargo, aún es necesario definir los niveles de concentración y riesgo de ciertos metales como el mercurio, arsénico y cadmio en hortalizas, legumbres y cereales, con el fin de estandarizar y consensuar los estudios de contaminación que se llevan a cabo, así como la evaluación de sus efectos tóxicos y ambientales (*Reyes et al., 2016*).

A continuación, se muestra una tabla tomada de la NOM-001-SEMARNAT-1996, en la que se mencionan los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en aguas.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
(miligramos por litro)	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	**P.D**
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2.	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.
P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable
(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

NOM-001-SEMARNAT-1996.

Se sugiere llevar a cabo la vigilancia y detección de contaminantes en el agua, la fauna y la flora, con el propósito de elaborar mapas de concentración de estos agentes y facilitar la implementación de planes de acción orientados a la mitigación y remedición.

Resulta indispensable llevar a cabo estudios sistemáticos, científicos y complementarios sobre el contenido de metales pesados en diversas matrices que permitirán la elaboración de informes y con proyección a futuro. Esto facilitara una mejor identificación y control de estas afluencias, de modo que los organismos competentes pueden aportar medidas preventivas y tomar decisiones orientadas a la mejora. Así mismo el análisis de especiación aporta información relevante sobre la biodisponibilidad de estos metales bajo determinadas condiciones ambientales y ante pequeños cambios en los parámetros fisicoquímicos del entorno *(Reyes, 2016)*.

Bibliografía.

S. Pabón, R. Benítez, R. Sarria y J. Gallo. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Entre ciencia y tecnología. Vol. 14, 27. 9-18.

S. Covarrubias y J. Peña. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemáticas y estrategias de fitoderramacion. Revista int. Contaminación y ambiente. Vol. 33, 7-21.

L. Domínguez, C. Puente, J. Estrada, E. Aguirre y D. Aguillón. (2021). Concentración de metales pesados en hongos de la zona metropolitana de la comarca Lagunera, México. Vol. 52.

L. Londoño, P. Londoño y F. Muñoz. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Revista de biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Vol. 14 No. 2. 145-153.

M. Cota, O. Escobar y M. Betancourt. (2023). Metales pesados: antagonistas de la salud en México. Vol. 74 No. 3.

R. Armijo, N. Basegio, B. Cofrade y T. Ramos. (2018). Contaminantes químicos del agua: contaminación antropogénica. Vol. 2.

A. López, M. Miranda, C. Hernández y J. Benedito. (2001). interacción de metales tóxicos y esenciales en ganado vacuno de Galicia. Revista de toxicología. Vol. 19 No. 2. 69-72.

C. Neira, J. Rojas y C. Rodas. (2016). Metales pesados. Vol. 72. 73-76.

Z. Trejo y J. Gaytán. (2013). Metales pesados y metaloides de interés toxicológico en el estado de Hidalgo, México. Vol. 12 No. 24. 9-17.

F. Valdés. (1999). La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Vol. 1.

M. Beltrán y A. Gómez. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remendacion. 1-32.

P. Poma. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. An Fac med. Vol.2. No.

69. 120-6.

L. Vargas, M. Buitrago y L. Villegas. (2023). Contaminación de alimentos por plomo en Colombia y tecnologías para su manejo ambiental. Área ambiental. 2-34.

N. Muñoz y A. Arango. (2020). El mercurio como contaminante de riesgo para la salud humana. Revista lasallista de investigación. Vol. 17. No. 2.

B. Schiavo, O. Orton, D. Meza y T. Arredondo. (2024). El mercurio como contaminante: fuentes, vías de exposición y efectos en la salud. Vol. 18. No. 36. 1-24.

C. Rodríguez. (2021). Intoxicación por arsénico. Revista medicina legal de costa rica. Vol. 38 (2).

P. Pérez y M. Azcona. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. Revista de especialidades médico-quirúrgicas. Vol.17. No. 3. 199-205.

L. Sánchez, M. Wurzinger, F. Pastor y H. Salinas. (2011). La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la comarca lagunera, en el norte de México. Revista Chapingo. Vol. 17. 235-246.

M. López, M. Castillo, C. Hernández y J. Benedito. (2002). Interacción entre metales tóxicos y esenciales en ganado vacuna de Galicia. Revista de toxicología. Vol. 19. No. 2. 69-72.

D. Rubio, R. Muñoz, A. Perdomo, D. Rodríguez y I. Sandoval. (2015). Tratamientos para metales pesados comúnmente presentes en agua residuales industriales. Revista de ingeniería y región. 13 (1). 73-90.

L. Hernández, J. Rojas, V. Martínez y D. Martínez. (2007). Remoción de zinc a partir de un efluente sintético por electrodiálisis. Revista Epistemus. 115122.

A. Guerrero. (2007). Caracterización de membranas cerámicas de nanofiltración: eliminación de metales pesados. 1-56.

A. Troconis. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Belzona inc. Pp 1-50.

J. Bustamante., A. Chaparro., C. García., M. Peláez y W. Hernández. (2010). Niveles de metales pesados (Pb, Cd, Mo y Zn) en ganado bovino criado sobre pastos naturales en Colombia. 1-19.

C. Reyes., I. Vergara., O. Torres., M. Diaz y E. Gonzales. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista de ingeniería, investigación y desarrollo. Vol. 16(22). 66-77.

NOM-001-SEMARNAT-1996.

https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat1996.pdf