



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Métodos para la Reducción y Reutilización de los Residuos de
Manganeso Electrolítico (RME) Contaminantes de los Ecosistemas
Locales: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Loza Cuentas, Jorge Abdul (orcid.org/0000-0002-7643-2286)
Mamani Hanco, Ivan Romario (orcid.org/0000-0001-7799-9252)

ASESOR:

Mgtr. Reyna Mandujano Samuel Carlos (orcid.org/0000-0002-0750-2877)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ
2022

DEDICATORIA I

A mis padres (Carmen y Abdul) y a mi hermano Giovanni por todo el apoyo que me dieron a lo largo de mi vida, y demostrarme que siempre se puede seguir avanzando a pesar de las adversidades de la vida.

Jorge Abdul Loza Cuentas

DEDICATORIA II

Va dirigida a mis padres Fredy y Marina, me han ido apoyando en este camino largo para poder cumplir mis objetivos y metas enseñándome a perseverar y no rendirme, y también a mis hermanos con su aliento y sus conocimientos han podido ayudar para que todo sea posible, me han demostrado que siempre puedo contar con ellos.

Iván Romario Mamani Hanco

AGRADECIMIENTO I

Agradezco a nuestro amado padre celestial por ayudarme a llegar hasta esta etapa de mi vida, a la escuela profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme más conocimientos.

A la universidad Cesar Vallejo por permitirme seguir avanzando y darme la oportunidad de poder obtener el título universitario.

Jorge Abdul Loza Cuentas

AGRADECIMIENTO II

Agradezco a nuestro divino creador por darme la fuerza y voluntad para hacerme cada vez mejor persona y profesional.

A la universidad Cesar Vallejo por permitirme seguir avanzando y darme la oportunidad de poder obtener el título universitario.

Ivan Romario Mamani Hancoco

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	14
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	14
3.3 Escenario de estudio.....	16
3.4 Participantes.....	16
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.6 Procedimiento.....	17
3.7 Rigor científico.....	18
3.8 Método de análisis de datos.....	19
3.9 Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES	27
VI. RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS	
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de Categorización Apriorística	15
Tabla 2. Descripción general de la reducción de RME	21
Tabla 3. Descripción general de la reutilización de RME	23

Índice de figuras

Figura 1. Reservas de mineral de manganeso en el mundo	9
Figura 2. Influencia de la RME en el medio ambiente y la fauna	10
Figura 3. Combinación de tostado y separación magnética para la recuperación de manganeso a partir de residuos de manganeso.....	12
Figura 4. Eliminación electrolítica de residuos de manganeso.....	13

Índice de gráficos

Gráfico 1. Procedimientos de selección de artículos al estudio	17
Gráfico 2. Promedio porcentual de la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los RME	25

Resumen

El siguiente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar cuáles son los aspectos más resaltantes de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) utilizando diversos métodos a través de los métodos más usados para la reducción y reutilización, así como la identificación de la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los métodos más usados para la reducción son los métodos físicos; siendo estos: separación por gravedad en húmedo, la separación magnética de alta intensidad, la flotación, el calentamiento por microondas y la combinación de estos métodos. Los métodos más usados para la reutilización se dan mediante la recuperación, donde los métodos son la lixiviación; mediante agua, asistida por ultrasonidos con aditivo, con amoníaco/CO₂ y la extracción asistida por microondas, así como el uso de microorganismos. La eficiencia de la aplicación varía en un 90 a 100% en la mayoría de los estudios. Donde, la lixiviación con agua, la lixiviación asistida por ultrasonidos con aditivo, la lixiviación con amoníaco/CO₂, y la extracción asistida por microondas son los principales métodos para lixiviar el Mn²⁺ soluble de los RME y las eficiencias de lixiviación son del 83,4%, 57,3%, 94,2% y 90%, respectivamente.

Palabras clave: Reducción, reutilización, residuos de manganeso electrolítico, contaminación

Abstract

The following research work had the objective of determining which are the most outstanding aspects of the reduction and reuse of electrolytic manganese waste (EMW) using different methods through the most used methods for reduction and reuse, as well as the identification of the efficiency of the application of the different methods.

According to the results obtained, the most used methods for reduction are the physical methods: wet gravity separation, high intensity magnetic separation, flotation, microwave heating and the combination of these methods. The most used methods for reuse are through recovery, where the methods are leaching, water leaching, ultrasound assisted with additive, ammonia/CO₂ and microwave assisted extraction, as well as the use of microorganisms. The application efficiency varies from 90 to 100% in most studies. Where, water leaching, ultrasonic assisted leaching with additive, ammonia/CO₂ leaching, and microwave assisted extraction are the main methods to leach soluble Mn²⁺ from REMs and the leaching efficiencies are 83.4%, 57.3%, 94.2%, and 90%, respectively.

Keywords: Reduction, reuse, electrolytic manganese waste, contamination.

I. INTRODUCCIÓN

Millones de toneladas de residuos de manganeso que contienen hierro se producen como subproducto de la industria del manganeso electrolítico y la contaminación ambiental causada por los residuos de manganeso ha recibido una atención cada vez mayor (Peng Ning et al., 2018, p.1).

Por lo general, el manganeso no se considera un elemento potencialmente tóxico debido a su bajo contenido tanto en el suelo como en el agua; sin embargo, en los ecosistemas costeros, la dinámica del Mn (comúnmente asociada con el ciclo del Fe) está controlada principalmente por procesos redox (Queiroz HM. et al., 2021, p.1).

La exposición a manganeso puede comenzar antes del nacimiento por exposición materna a través de la inhalación e ingestión de alimentos provenientes de la contaminación ambiental, también, la exposición posnatal puede ser relevante debido a una concentración relativamente alta de manganeso en las fórmulas (Milatovic D. et al., 2017, p.1). Pero los residuos electrolíticos de manganeso (RME) que se producen en cantidades significativas en la industria del metal electrolítico de manganeso (MME), con 6 a 9 toneladas de residuos generados por tonelada de metal son los que están causando mayores problemas (Xue Fei et al., 2020, p.4).

Debido a que la mayoría de estos residuos quedan sin tratar y generalmente se almacenan generando alto riesgos ambientales y desperdiciando recursos valiosos potencialmente recuperables (Muriana R. et al., 2016, p.3).

Como consecuencia, los síntomas del manganismo se desarrollan insidiosamente después de años de exposición, luego, los pacientes primero desarrollan cambios en el apetito, debilidad muscular y apatía (Molina C. et al., 2016, p.1).

Por tales motivos, la recuperación de manganeso a partir de residuos de manganeso se ha convertido en una importante tarea a nivel mundial, buscando métodos para reducir y reutilizar los residuos de manganeso electrolítico (RME) que vienen contaminando los ecosistemas locales (Wang K. et al., 2019, p.2).

Ante lo mencionado anteriormente se plantea como problema de estudio:

¿Cuáles son los aspectos más resaltantes de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) utilizando diversos métodos?, de lo cual se va a desarrollar las siguientes preguntas:

PE1: ¿Cuál es la clasificación de métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales?

PE2: ¿Cuál es la clasificación de los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales?

PE3: ¿Cuál es la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales?

Además, bajo lo mencionado se tiene el siguiente objetivo general:

Determinar cuáles son los aspectos más resaltantes de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) utilizando diversos métodos; y como objetivos específicos:

OE1: Clasificar los métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales

OE2: Clasificar los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales

OE3: Identificar la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales

Este estudio va a realizar la revisión de literaturas que se encuentren enfocadas en los métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) contaminantes de los ecosistemas locales. Teniendo como finalidad la reducción y recuperación de manganeso de RME utilizando un método económico, enfocándonos en los futuros investigadores para que puedan contar con una actualización del tema y ampliar el estudio en otros campos o mejorarlos;

teniendo como objetivo lograr el reciclaje de recursos y tratamiento inocuo de desechos sólidos.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA:

En la presente tesis, proponemos investigar la evolución de los conceptos teóricos de los diferentes investigadores presentados en las páginas de el presente proyecto de investigación sobre los Métodos para la Reducción y Reutilización de los Residuos de Manganeso Electrolítico (RME), en tanto consideramos que los análisis realizados por los distintos autores sobre el tema de investigación tienen similitudes y relaciones en tanto al tema de los residuos de manganeso electrolítico y su tratamiento, lo cual resulta fundamental para poder comprender a cabalidad.

JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Este trabajo de investigación se basa en la necesidad de adjuntar, mejorar o consolidar la información adquirida por los diversos estudios realizados por los autores de diversas investigaciones enfocadas en los tratamientos para los residuos de Manganeso Electrolítico (RME). El resultado de la investigación basada en Métodos para la Reducción y Reutilización de los Residuos de Manganeso Electrolítico (RME) permitirá, por ello, elaborar en el futuro más estrategias concisas para mejorar dicha área ambiental de manera sustancial y así lograr un impacto positivo en la humanidad en general.

JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Para lograr los objetivos propuestos, se recurrirá al empleo de técnicas de investigación. A través de la técnica de análisis documental el investigador crea un nuevo documento donde reunirá las ideas más relevantes de todo lo leído.

El investigador busca organizar la información encontrada a través del análisis documental, procurando reducir el volumen de información obtenida, con el fin de facilitar su comprensión y fácil acceso a las ideas relevantes que pretende extraer para ser analizadas (Peña T. y Pírela J., 2007, p.59).

JUSTIFICACIÓN DE RELEVANCIA SOCIAL

En la presente investigación se trata de abordar en mayor medida la situación sobre los Métodos para la Reducción y Reutilización de los Residuos de Manganeso Electrolítico (RME) que es un tema complejo debido a la poca información del tema en comparación con otros temas similares, también debido a las enfermedades que acarrea los residuos de Manganeso que al ser un conjunto de enfermedades y síntomas que se presenta a largo plazo por el tipo de concentración y por el exceso del mineral en cuestión los Métodos para la Reducción y Reutilización de los Residuos de Manganeso Electrolítico (RME) es un tema de vital importancia en la sociedad.

II. MARCO TEÓRICO

Chen Jin et al., (2017), en su investigación investigar la influencia del calentamiento por microondas en la descomposición térmica y el comportamiento de disociación del mineral de manganeso. Para lo cual Los patrones XRD y el análisis termodinámico muestran que el proceso de calentamiento por microondas se puede dividir en tres partes, a saber, la reacción de descomposición de MnCO_3 , Mn_2O_3 y CaCO_3 , respectivamente. Dando como resultado que el Mn_3O_4 se obtuvieron por calcinación con microondas con temperaturas superiores a $577\text{ }^\circ\text{C}$. Concluyendo según los resultados, que el calentamiento por microondas se puede aplicar de manera eficaz y eficiente para el pretratamiento del mineral de manganeso.

Zhou Feng et al., (2016); presentó como objetivo de estudio, diseñar y sintetizar un nuevo ácido hidroxámico de linoleato (LHA) que demostró una alta selectividad y una gran capacidad de recolección para el beneficio del mineral de manganeso mediante flotación selectiva. Presentando como metodología experimental, la comparación del rendimiento de este LHA y el ácido oleico (OA) utilizado para la flotación de espuma aniónica, y se investigaron los factores críticos de la flotación de rodocrosita. Demostrando que el uso de carbonato de sodio en lugar de hidróxido de sodio como regulador de pH, las dosis de depresor y colector, y la adición de sinergista son esenciales para la recuperación efectiva de Mn en la flotación; además la recuperación de manganeso podía alcanzarse hasta un 97 % cuando se usaba el LHA para la separación por flotación de la rodocrosita en las condiciones operativas óptimas.

Ding Fenghua et al., (2016); en su artículo propone un proceso de lixiviación simultánea para extraer tanto bismuto como manganeso mediante lixiviación de un solo paso en solución de ácido clorhídrico. En la metodología los parámetros de lixiviación operativos más adecuados se establecieron de la siguiente manera: relación de líquido a sólido (mL/g), 5:1; concentración inicial de ácido clorhídrico, 4 mol/L; temperatura de lixiviación, $70\text{ }^\circ\text{C}$; proporción de mineral (medida por la proporción molar de manganeso y azufre, $n(\text{Mn})/n(\text{S})$), 1,4/1; tiempo de lixiviación, 2 h; y velocidad de agitación, 500 rpm. Donde los experimentos electroquímicos

presentaron las reacciones electroquímicas de la bismutinita y la pirolusita y las investigaciones termodinámicas del diagrama E h –pH de los sistemas Mn–H₂O y Bi–S–Cl–H₂O mostraron que los potenciales de equilibrio del par MnO₂/Mn²⁺ eran mucho más altos que los del Bi₂S₃pareja/Bi(III). Donde el resultado mostró que se obtuvieron eficiencias de lixiviación de 96,6% y 97,1% para bismuto y manganeso, respectivamente, bajo las condiciones experimentales óptimas.

Xiong Shaofeng et al., (2018); en su estudio investigó la recuperación de manganeso a partir de pirolusita de bajo grado mediante el método de lixiviación reductora utilizando lignina como reductor en el medio de ácido sulfúrico. En la metodología experimental el estudio se examinaron los efectos de la cantidad de lignina, la temperatura, la concentración de H₂SO₄ y el tiempo de lixiviación sobre la eficiencia de lixiviación de Mn y las principales impurezas (Fe, Al). Los resultados mostraron que la eficiencia máxima de lixiviación del manganeso puede alcanzar más del 91% en condiciones experimentales óptimas; así mismo los resultados experimentales demostraron que la lignina es un reductor de bajo costo, renovable y ambientalmente benigno para la lixiviación de mineral de manganeso de baja ley.

Shu Jiancheng et al., (2018); en su trabajo, sintetizó el residuo de manganeso electrolítico modificado (MEMR) como un adsorbente de alta eficiencia para la eliminación de azul de metileno (MB) mediante un método hidrotermal. Las caracterizaciones de MEMR se caracterizaron por difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja transformada de Fourier, isotermas de adsorción/desorción de N₂ y microscopio electrónico de barrido. Los resultados mostraron que con la superficie específica BET de 500,8 m²/g la MEMR alcanzó la máxima capacidad de adsorción (548,15 m²/g) dentro de los 50 min cuando el pH de la solución inicial era 6,05 y la concentración inicial de MB era 1600 mg/L.

Zhang D. et al., (2017); estudió la utilización de escoria electrolítica de manganeso (EMS) en la preparación de sílice mesoporosa de alto rendimiento utilizando poliamida hiperramificada con extremos amino (AEHPA) como plantilla. Se han investigado los efectos del contenido de AEHPA y el peso molecular en las propiedades de la sílice mesoporosa, incluidos el área superficial específica, el diámetro de los poros, el volumen de los poros, el tamaño y la distribución. Sobre

la base de 0,3 % en peso de AEHPA-2 durante la preparación de sílice, el área superficial específica, el volumen de poro y el diámetro de poro del sílice mesoporoso amorfo producido son $451,34 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, $0,824 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ y $7,09 \text{ nm}$, respectivamente, mostrando mejoras notables sobre la sílice sin AEHPA en área de superficie específica ($271,05 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), volumen de poro ($1,167 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) y diámetro de poro ($17,43 \text{ nm}$).

Li K. et al., (2019); propuso la pirólisis por microondas de cáscara de nuez para el proceso de reducción de pirolusita de bajo grado. El análisis termogravimétrico indicó que el proceso de pirólisis de biomasa para la reducción de pirolusita se dividió en cuatro fases identificadas por temperaturas: etapa de deshidratación ($<150 \text{ }^\circ\text{C}$), etapa de prepirólisis ($150 \text{ }^\circ\text{C}$ – $290 \text{ }^\circ\text{C}$), etapa de descomposición de curado ($290 \text{ }^\circ\text{C}$ – $480 \text{ }^\circ\text{C}$) y etapa de carbonización ($>480 \text{ }^\circ\text{C}$), y la recuperación de manganeso alcanzó 92.01% a $650 \text{ }^\circ\text{C}$ por 30 min con 18% de cáscara de nuez.

Wang K. et al., (2019); en su estudio utilizó CaCO_3 activado mecánicamente para eliminar el hierro de la solución de sulfato de manganeso mediante la molienda conjunta de CaCO_3 con solución de sulfato de manganeso en un molino de bolas agitado en húmedo. Se investigaron los efectos de la velocidad de rotación, el tiempo de molienda, la relación bola/volumen líquido y la relación molar $\text{CaCO}_3 / \text{Fe}^{2+}$ sobre la eliminación de hierro. Los resultados mostraron que el hierro en las soluciones de sulfato de manganeso se eliminó de manera eficiente con una tasa de eliminación de hierro de aproximadamente el 100 % en las condiciones óptimas. Concluyendo que este estudio proporcionaría un método alternativo para eliminar el hierro de la solución de manganeso.

Zheng Fan et al., (2020); en su trabajo usó agua pura para lixiviar manganeso soluble de RME. Se estableció y examinó el modelo de cinética de lixiviación del manganeso, se analizaron las características de RME antes y después de la lixiviación mediante XRF, XRD, EPMA-WDS y SEM. Los resultados revelaron que la energía activada aparente (E) durante los procesos de lixiviación fue de $11,17 \pm 2,02 \text{ kJ/mol}$ y la pendiente en la recta de ajuste de la ecuación de Arrhenius fue de $-1,343,2+$ migran a la solución a granel desde la capa de difusión. Las principales fases cristalinas en RME son cuarzo (SiO_2) y sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (n

= 0.5 o 2), pero la relación de distribución entre SiO_2 y $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ no fue regular. Concluyendo que la condición óptima de lixiviación fue S: L (sólido: líquido) 1:4, la temperatura fue de 24 °C y la velocidad de agitación fue de 300 r/min cuando se combinaron el costo y la eficiencia, y el 83,35 % del manganeso soluble se puede lixiviar de RME.

Peng Ning et al., (2018); tiene como objetivo de estudio la recuperación de hierro y manganeso a partir de residuos de manganeso con alto contenido de hierro. El producto tostado se muele y se somete a una separación magnética de varias etapas. Las condiciones óptimas son las siguientes: tostado a 750 °C bajo corriente de aire durante 30 min, tostado en atmósfera de CO a 750 °C durante 30 min, y separación bajo una intensidad magnética de 1000 G para separación magnética débil y de 12 000 G para separación magnética débil con fuerte separación magnética. La recuperación y ley de hierro en el concentrado de hierro fue de 72,29% y 62,21%, respectivamente, y las de manganeso en el concentrado de manganeso fueron de 90,75% y 35,21%, respectivamente. Concluyendo que la combinación de tostado y separación magnética proporciona un proceso prometedor para la recuperación de hierro y manganeso a partir de residuos de manganeso con alto contenido de hierro.

Ante los estudios presentados se realizó que emplearon métodos para reducir y reutilizar residuos de manganeso electrolítico (RME) contaminantes de los ecosistemas locales, se presenta a continuación una síntesis de la problemática y los métodos de remediación:

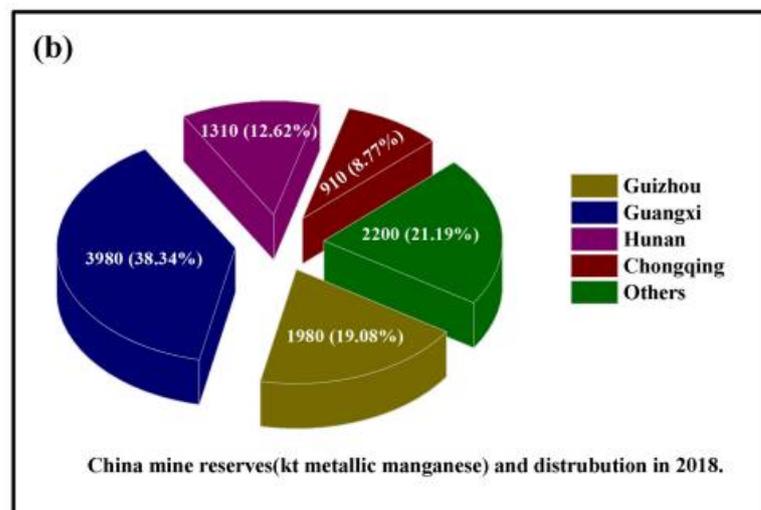
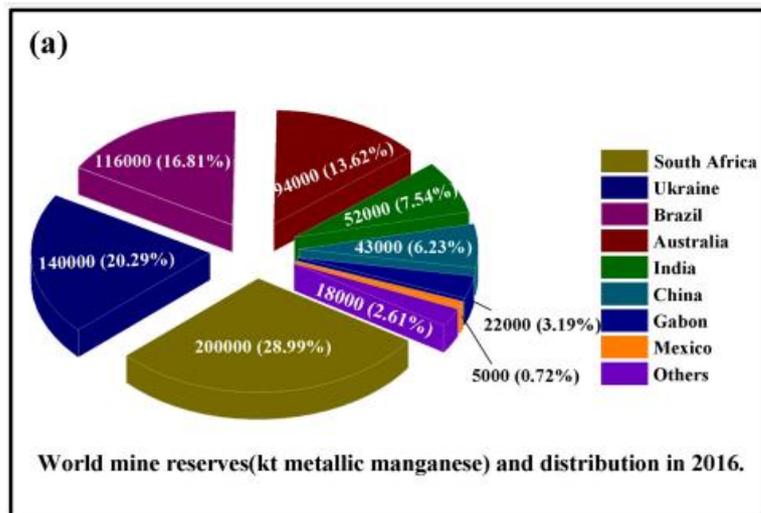
Los residuos de manganeso electrolítico (RME) se producen en cantidades significativas en la industria del manganeso metálico electrolítico (MME), con 6-9 toneladas de residuos generados por tonelada de metal (Singh V. y Biswas A., 2017, p.4).

A saber, el manganeso es uno de los metales más estratégicos, ya que, el manganeso y sus compuestos son ampliamente utilizados en la metalurgia, la química, las baterías, los fertilizantes, los aditivos para piensos, especialmente, la industria de las ferroaleaciones, que se consume por más del 90% (Camargo F. et al., 2018, p.1). Además, hay muchos minerales de manganeso, principalmente

pirolusita (MnO_2), rodocrosita rosa ($MnCO_3$), rodonita ($(Mn, Ca) SiO_3$), manganita negra ($MnO \cdot OH$) y alabandita (MnS), mientras que las materias primas dominantes de la industria del manganeso metálico electrolítico (MME) son la pirolusita y la rodocrosita (He et al., 2016).

Así también, el manganeso existe principalmente como minerales de manganeso en la naturaleza, y los minerales de manganeso son geográficamente variados (Li Jia et al., 2018, p.2). Siendo así que, Sudáfrica, Ucrania, Brasil, Australia, India, China, Gabón y México representan casi el 97,39% de las reservas mundiales (690.000 kt) con una ley del 15% al 50%. (Ver figura 1).

Figura N°1. Reservas de mineral de manganeso en el mundo



Fuente: Shanghai M., (2018)

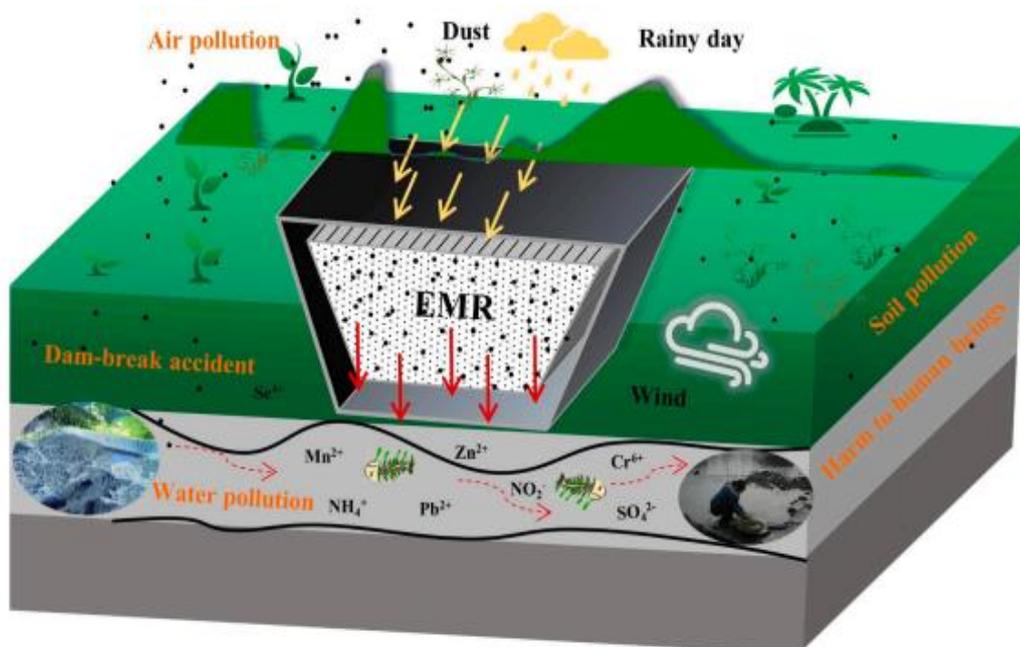
La figura 1 muestra a) Reservas mundiales de mineral de manganeso (kt de manganeso metálico) y distribución en 2016, (b) Reservas de mineral de manganeso de China (kt de manganeso metálico) y distribución en 2018.

Además, la producción de MME es una de las industrias con un alto consumo de recursos y energía y un vertido sustancial de residuos; donde, por una media de 1 tonelada de EMM producida, se vierten al medio ambiente 1 a 3 toneladas de aguas residuales y 6 a 9 toneladas de residuos sólidos.

A partir de ello, la mayor parte de estos residuos permanecen sin tratar y generalmente se almacenan y los elementos metálicos peligrosos (Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Cr) asociados a estos residuos dan lugar a elevados riesgos medioambientales y desperdician recursos valiosos potencialmente recuperables (Banerjee A. et al., 2017, p.2).

Pero, además, el RME contiene muchos iones peligrosos solubles, incluidos Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , Se^{4+} , Pb^{2+} y Ni^{2+} , además de Mn^{2+} y NH_4^+ (ver tabla 2).

Figura N° 2. Influencia de los RME en el medio ambiente y la fauna



Fuente: Wang Xuan et al., (2022)

Aunque se establecen patios o represas, los RME aún representa un riesgo ambiental significativo para el suelo y el agua circundantes debido a las medidas imperfectas contra la filtración (Lv Ying et al., 2019, p.1).

En patios abiertos de RME, el RME puede ocupar una gran cantidad de terreno, y los iones solubles (especialmente Mn^{2+} y NH_4^+) pueden moverse con las lluvias, lo que genera graves problemas ambientales (Luo et al., 2019, p.1). También el EMR es dañina para el crecimiento de las plantas, la salud humana y animales acuáticos (Lu F. et al., 2018, p.3).

Así mismo, según se informa, el 28,1% del Mn entra en el medio ambiente a través de tres vías principales: efluentes y lodos, lodo anódico y residuos de manganeso (Lu Jianming. Et al., 2016, p.4). Donde las aguas residuales de la producción de MME contienen altas concentraciones de iones que son extremadamente perjudiciales para los seres humanos y los animales (Yamaguchi T. et al., 2018, p.1). Donde, superar una determinada cantidad de ingesta de Mn provoca graves daños en la salud humana (Shu Jiancheng et al., 2017, p.2).

Por otra parte, el dióxido de selenio se añade a los productos MME para mejorar la eficiencia energética, lo que puede convertirse en una fuente de contaminación por selenio en el medio acuático, y causar un riesgo potencial para la salud biológica (Elliott R. et al., 2018, p.2).

Donde, previamente se han realizado algunas investigaciones sobre la reutilización de los RME, incluida la preparación de adsorbentes, materiales fotocatalíticos y fertilizantes del suelo, producción de rellenos para hormigón de cemento de azufre, cemento de escoria de alto horno granulado, ladrillos esterilizados en autoclave con vapor, lechos de carreteras y materiales cementosos cuasi-sulfoaluminosos, la recuperación de metales valiosos, entre otros.

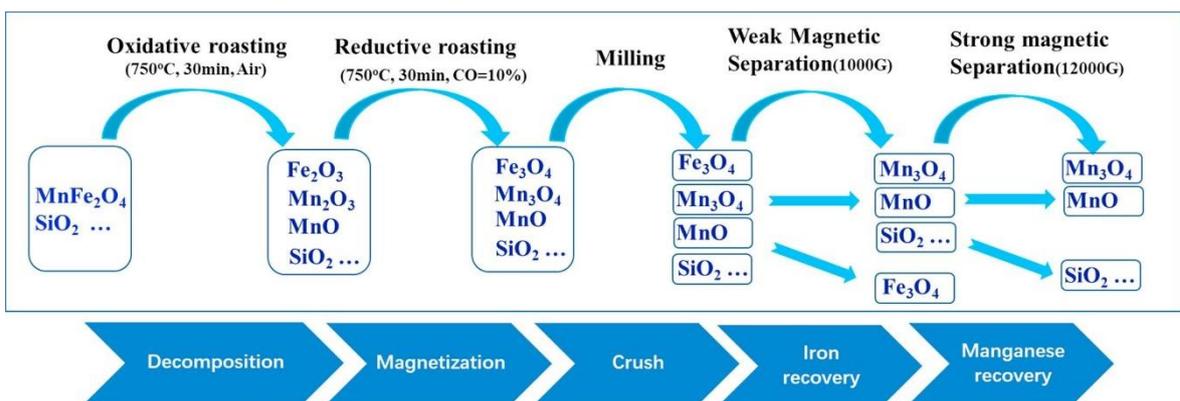
Por ello, el reciclaje y la recuperación del manganeso de los REM ha despertado una creciente atención en los últimos años y es que el manganeso se recupera principalmente por la vía hidrometalúrgica utilizando un proceso de lixiviación ácida en caliente (HAL) con ácido sulfúrico como disolvente (Randhawa D. et al., 2018, p.2). Donde, la extracción máxima de manganeso mediante este proceso varía

porque el manganeso sólo es soluble en su forma de baja valencia (Tan Ping L. et al., 2020, p.4).

Además del proceso HAL, se ha aplicado por la lixiviación con ácido cítrico asistida por ultrasonidos y la lixiviación con ácido sulfúrico con glucosa y sacarosa, así como, la lixiviación con ácidos orgánicos y la biolixiviación alcanzándose la máxima extracción de manganeso en el proceso de biolixiviación por encima del 90% (Aziam H. et al., 2021, p.2).

Sin embargo, los procesos tradicionales de lixiviación química tienen desventajas, incluyendo el consumo masivo de disolvente y la generación de residuos secundarios con alto contenido en hierro en el proceso de precipitación del hierro (Yi Chenxing et al., 2021, p.3). Siendo así que, la biolixiviación sería el método más prometedor si se pudiera acelerar la cinética de lixiviación, ya que el tiempo de lixiviación de este método se cuenta en días. (Ver figura 3).

Figura N°3. Combinación de tostado y separación magnética para la recuperación de manganeso a partir de residuos de manganeso

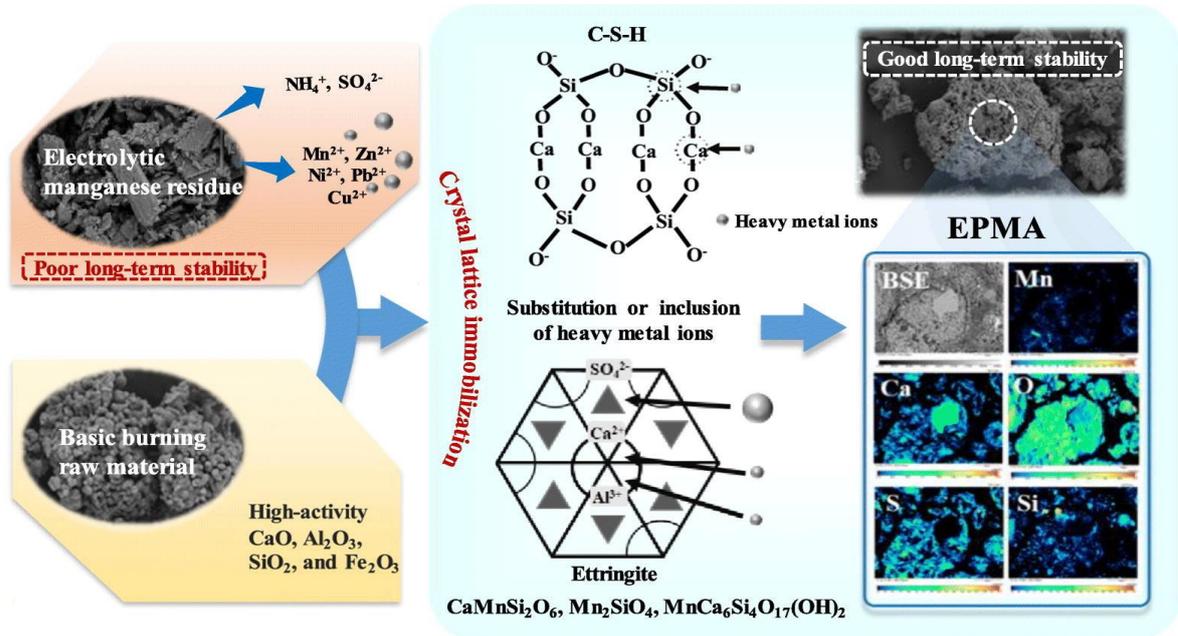


Fuente: Peng Ning et al., (2018)

Por otro lado, el método electrolítico, también conocido como el proceso de "lixiviación-purificación-electrodeposición", es ampliamente aplicado en la industria de manganeso metálico electrolítico (MME) porque podría adoptar comparativamente baja calidad (8%- 15%) y producir CEM con una pureza superior al 99,8% (Zhang R. et al., 2020, p.5). (Ver figura 4).

Donde, el amonio del lixiviado se elimina formando una precipitación de estruvita con fuentes de fosfato y magnesio de magnesita, MgO, y $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, y los iones de metales pesados del suelo y las cenizas residuales son inmovilizados por el fosfato (Chen H. et al., 2019, p.1).

Figura N°4. Eliminación electrolítica de residuos de manganeso



Fuente: He Dejun et al., (2022)

Así mismo, el proceso de lixiviación se puede examinar mediante el método de conductividad eléctrica específica in situ (Shu Jiancheng et al., 2021, p.3). Además, entre las técnicas usadas para identificar las composiciones químicas y mineralógicas, así como la morfología de la superficie de los RME se encuentran las técnicas: FRX, DRX, EMPA y MEB. Estos ayudan a observar el efecto del agua pura sobre los RME durante los procesos de lixiviación (Tian Yang et al., 2019, p.2).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación utilitaria o pragmática son de aprovechar los conocimientos que atreves de la investigación de la investigación teórica o básica son el conocimiento y la solución de los problemas que aquejan a nuestro entorno, llamada también investigación científica aplica. El método para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico se aplicó directamente a partir de los conocimientos ya encontrados y con el fin de resolver dicha problemática.

El método que nos permite entender sobre explorar y entender de manera diferente el conocimiento la práctica y la educación ha sido el -método biográfico narrativo, este método nos hace captar la esencia del conocimiento a través de vivencias en espacios y tiempos diferentes. Estas narraciones ayudan a aclarar situaciones o hechos que podrían encontrarse en dudas y necesitan ser aclaradas para el efectivo desarrollo de la investigación.

Debido al diseño usado todo dato sobre las Métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) contaminantes de los ecosistemas locales los cuales fueron expuestos por el investigador en base a su forma natural en las que fueron encontradas donde los resultados expresan congruencia con ello.

3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización apriorística

En esta investigación científica se presenta la matriz de categorización apriorística (Ver tabla N°1) el cual está basado en los objetivos y problemas específicos; los cuales fueron divididos en categorías y subcategorías.

Tabla N°1. Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de Análisis
Clasificar los métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales	¿Cuáles son los métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales?	Reducción de los residuos de manganeso electrolítico	Separación por gravedad en húmedo, Lixiviación de Mn2p con alta eficiencia, Separar el hierro de la solución de lixiviación.	(Chen Jin et al., 2017, p.2) (Zhou Feng et al., 2016, p.2)
Clasificar los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales	¿Cuáles son los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales?	Reutilización de los residuos de manganeso electrolítico	Adsorción, Geopolímero, Recuperación de recursos valiosos de los RME, Materiales de ingeniería de la construcción.	(Ding Fenghua et al., 2016, p.1), (Milatovic D. et al., 2017, p.1).
Identificar la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales	¿Cuál es la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales?	Eficiencia de la aplicación para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso	Porcentaje de recuperación, contenido del RME.	(Xiong Shaofeng et al., 2018, p.2) (Shu Jiancheng et al., 2018, p.3)

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

En el análisis de cada artículo científico usado se encontraron escenarios de estudios como laboratorios, bibliotecas y entre otros campos; por ello cada escenario que fue usado para el estudio de las problemáticas que fueron estudiadas en las lecturas se considera en conjunto el escenario de estudio del presente trabajo de investigación, ya que, esta es una revisión sistemática y los datos extraídos para la obtención de resultados se dan a través de estos artículos científicos.

3.4 Participantes

Los participantes son fuentes que servirán para la obtención de los datos a estudiar para resolver una problemática, por ello en el presente estudio las fuentes como: Sciencedirect, Redalyc y Scielo son las participantes, ya que a través de ellas se extrajo la información para el análisis y obtención de resultados.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

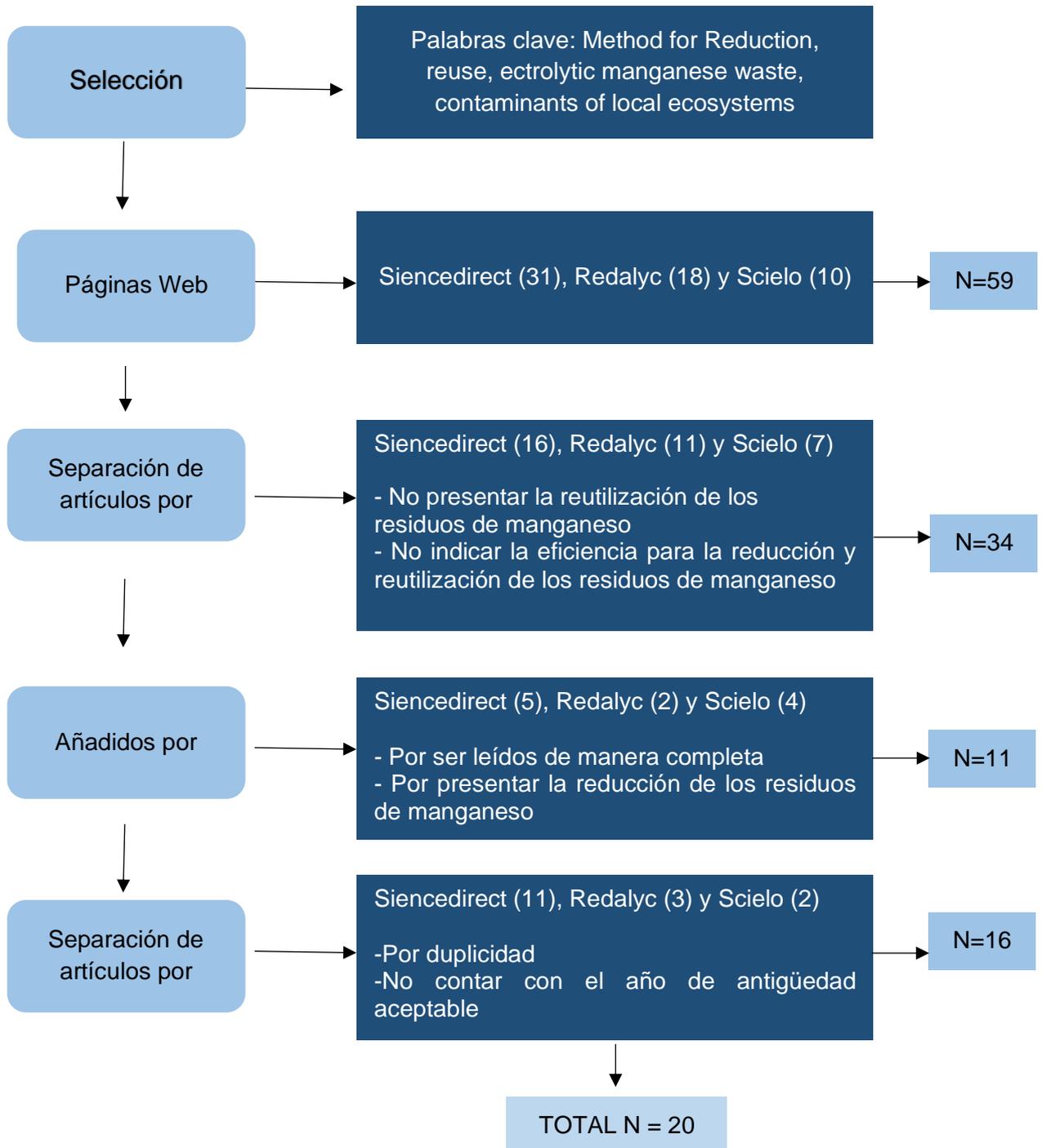
La técnica de análisis documental es una técnica de investigación descriptivo-cualitativa, basada en el análisis de documentos e información (materiales escritos o hablados) con la finalidad de transformarlos en datos cualitativos y hacer accesible su comprensión e interpretación. Se efectúa una clasificación conforme a las categorías establecidas por el investigador. Puede incluir publicaciones, entrevistas grabadas, cartas, canciones, caricaturas, dibujos, gráficos, etc. El análisis de contenido puede llevar a la cuantificación de los datos y a su posterior interpretación. Se indagó y recopiló en un nuevo documento los datos más relevantes sobre los métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico donde se sintetizaron las ideas con perspectivas similares del presente estudio.(Carlos Reyes Romero, 2018)

Para el desarrollo de la técnica de análisis documental nos apoyamos en la ficha de análisis de contenido que conlleva en ella una síntesis de lo contenido como datos de autor, aspectos específicos, metodologías, procedimientos que se podrá visualizar en el (Ver gráfico N°1).

3.6 Procedimientos

Los artículos científicos seleccionados se muestran en el gráfico N°1.

Gráfico N°1. Procedimientos de selección de artículos al estudio



Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Se cumplieron 4 criterios de acuerdo al rigor científico; el criterio de credibilidad, confiabilidad, transferibilidad y conformabilidad; siendo cada uno de ellos descritos en los siguientes puntos:

- Credibilidad: Criterio de rigor de la metodología cualitativa que asegura la veracidad de los resultados de la investigación. (Katia Mejía, 2018, p.41).
- La confiabilidad: . Implica las cualidades de estabilidad, consistencia, exactitud, tanto de los instrumentos como de los datos y las técnicas de investigación. Al igual que la validez, la confiabilidad puede ser entendida en relación con el error, pues a mayor confiabilidad, menor error. Es la capacidad del instrumento para producir resultados congruentes cuando se aplica por segunda vez en condiciones lo más parecidas a la inicial. Se expresa en forma de correlaciones. Se presentan tres formas muy conocidas para estimar la confiabilidad de un instrumento: método por mitades, métodos test-retest y método de instrumentos paralelos. (Hugo Sánchez, 2018, p.35). Este criterio se obtuvo en el punto IV del estudio en el cual se comparó y discutió resultados con diferentes puntos de vista y similares a los obtenidos.
- La transferibilidad: Este criterio determina que tan posible es que los resultados de una investigación se expandan y transfieran hacia otros campos; siendo esto determinado por la audiencia o los lectores (Paudyal V., 2018, p.4). Este criterio se cumple dejando la metodología planteada en el estudio para que los futuros investigadores tengan claro como se desarrolló el estudio.
- Confirmabilidad: Este criterio se refiere a la neutralidad del contenido de la investigación y que tan factible es que otros investigadores puedan continuar con las pistas dejadas para llegar a resultados similares (Paudyal V., 2018, p.4). Este criterio se ve mediante la información dejada a los lectores de los autores de quienes se usó los estudios; dejando así testimonio de la fuente original de cada información.

3.8. Método de análisis de información

El método usado para el análisis de la información fue aplicado para lograr resolver el objetivo planteado en el estudio, en la cual el objetivo principal es determinar cuáles son los aspectos más resaltantes de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) utilizando diversos métodos; siendo resuelto mediante la búsqueda de la clasificación de los métodos más usados para la reducción de los residuo de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales, la clasificación los métodos más usados para la reutilización de los residuo de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales e Identificar la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuo de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales

Para llegar a la solución de lo mencionado se empleó el método de triangulación, el cual consiste en utilizar dos o más métodos o técnicas, siendo esencial en el presente estudio el uso de la técnica de análisis documental y el uso de la matriz de categorización apriorística; esta última nos permite elaborar las categorías y subcategorías que nos brindarán el proceso de validación de la información. Siendo detalladas las categorías y subcategorías a continuación:

Categorías: Reducción de los residuos de manganeso electrolítico, Reutilización de los residuos de manganeso electrolítico, Eficiencia de la aplicación para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso.

Subcategorías: Separación por gravedad en húmedo, lixiviación de Mn^{2+} con alta eficiencia, separar el hierro de la solución de lixiviación, adsorción, geopolímero, recuperación de recursos valiosos de los RME, materiales de ingeniería de la construcción, porcentaje de recuperación y contenido del RME.

3.9. Aspectos éticos

Mantener aquellos principios de la ética (justicia, autonomía, no maleficencia y beneficencia), también cumpliendo los aspectos más relevantes del código de ética del área que se dedica a la investigación de la universidad Cesar Vallejo, en este caso de la escuela de ingeniería ambiental. Los aspectos éticos fueron cumplidos siguiendo la resolución de consejo universitario N° 0103-2018 de la UCV, así como teniendo en cuenta la guía de productos observables y los autores que se usaron para brindar aporte al estudio fueron debidamente citados mediante la norma ISO - 690. De igual manera mantener aquellos principios de la ética (justicia, autonomía, no maleficencia y beneficencia), también cumpliendo los aspectos más relevantes del código de ética del área que se dedica a la investigación de la universidad Cesar Vallejo, en este caso de la escuela de ingeniería ambiental, en el cual mencionan que al momento de realizar una investigación, esta se basa en una serie de diversas normas que regulan las buenas prácticas y también los principios éticos, mediante el cual poder garantizar la responsabilidad y también la honestidad de aquellos investigadores que realicen la investigación. Por ello el autor está informado a recibir infracciones o sanciones que están descritas en la Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV en el artículo número 22. Esta investigación fue revisada por el sistema antiplagio (Turnitin) para garantizar la fidelidad de los datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aspectos más resaltantes de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) utilizando diversos métodos son los tipos de métodos usados tanto para la reducción como para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico ya que, ello permite determinar la eficiencia para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales.

OE1: Para ello, se desarrolló la tabla 2 y 3; siendo la tabla 2 donde se clasificaron los métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico.

Tabla N°2. Descripción general de la reducción de RME

Beneficio y enriquecimiento	Concentrado grado de Mn	Eficiencia de recuperación	Fuente
Métodos			
Separación por gravedad húmeda	NA	91.1%	Muriana R., 2016
Separación magnética de dos etapas	22.4%	44.7%	Tripathy S. et al., 2016
Calentamiento por microondas	30%	40%	Chen Jin et al., 2017
Separación magnética de alto gradiente y método hidrometalúrgico	30%	64%	Zhang Y. et al., 2017
Flotación con linoleato de ácido hidroxámico	18.3%	97%	Zhou Feng et al., 2016
Lixiviación de Mn²⁺ con alta eficiencia			
Materias primas	Métodos	Eficiencia de lixiviación de Mn ²⁺	Fuente
Minerales de carbonato de manganeso	H ₂ SO ₄	96.2%	Li Chang X. et al., 2016
Minerales de óxido de manganeso	SO ₂	95.5%	Ding F. et al., 2016
Minerales de óxido de manganeso	CaS	>95%	Xiong S. et al., 2018
Minerales de óxido de manganeso	HCl	97.1%	Li Changxin et al., 2019

Mineral de dióxido de manganeso	<i>Alicyclobacillus sp.</i> Y <i>Sulfobacillus sp.</i>	99%	Xin Baoping et al., 2016
Dióxido de manganeso de bajo grado	Mejora del campo eléctrico	98.2%	Zhang Y. et al., 2017

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 2, los métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales son los métodos físicos; siendo estos: separación por gravedad en húmedo, la separación magnética de alta intensidad, la flotación, el calentamiento por microondas y la combinación de estos métodos.

Siendo así, descrito por Muriana R., (2016, p.2), que entre estos la separación por gravedad húmedo se utiliza para enriquecer los minerales que contienen manganeso a partir de los minerales en bruto de manganeso, basándose en la diferencia de densidad de los minerales, y la eficiencia máxima de recuperación de MnO podría ser del 91,1%.

Pero ello es rechazado por Zhou F. et al., (2016, p.2), quien manifiesta que este método no es lo suficientemente eficaz para separar los minerales de hierro de los de manganeso debido a su ignorable diferencia de densidad. Ante ello Zhang Y. et al., (2017), afirma que la separación magnética de alta intensidad es una tecnología común para separar los minerales de hierro y los de manganeso debido a sus diferencias de susceptibilidad magnética.

Ante ello, presentando apoyo a lo mencionado Tripathy S. et al., (2016, p.4); en su estudio demuestra que el manganeso podría concentrarse a más del 45% después de la separación magnética de alta intensidad con una eficiencia de recuperación de Mn de casi el 90%.

Pero, por otro lado, Chen Jin et al., (2017), manifiesta en su trabajo que el mineral de manganeso podría calentarse volumétricamente rápidamente a 1000 °C en 17 min mediante calentamiento por microondas, con un aumento en el contenido de manganeso del mineral del 30 % al 40 %. Afirmando que el calentamiento por

microondas se puede aplicar de manera eficaz y eficiente para el pretratamiento del mineral de manganeso.

Ante lo expuesto Zhang Y. et al., (2017, p.3), manifiesta que la eficiencia de recuperación de Mn del 64% podría incrementar mediante un proceso combinado con la separación magnética de alto gradiente y el método hidrometalúrgico, y se puede obtener MnCO₃ con una pureza del 97,9%.

OE2: Por otro lado, se buscó clasificar los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales, mediante la tabla 3, donde se detallaron los métodos usados, así como los materiales usados.

Tabla N° 3. Descripción general de la reutilización de RME

Recuperación de recursos de RME		
Métodos	Mn ²⁺ eficiencia de recuperación	Fuente
Residuos de lavado con agua: doble precipitación	99.5%	Zheng F. et al., 2020
Lixiviación de amoníaco/CO₂	94.2%	Wang N. et al., 2016
Separación magnética	90.8%	Peng Ning et al., 2018
Lixiviación asistida por microondas	> 90%	Chang J. et al., 2020
Mejora del campo eléctrico y surfactante	97.1%	Shu J. et al., 2020
Bacterias de silicato	NA	Lv Ying et al., 2019
<i>Paenibacillus mucilaginosus</i>	NA	Lv Ying et al., 2020
Materiales de ingeniería de construcción		
Materiales	Contenido de RME	Fuente
Cemento de recubrimiento de TiO₂	8%	Li Qingzhu et al., 2016
Hormigón	5%–10%	Chousidis N. et al., 2018
Material cementoso activado por EMR	45%	Wang D. et al., 2020
Ladrillo tratado en autoclave	30%–71%	Li J. et al., 2020
Base de la carretera	30%–100%	Zhang Y. et al., 2019

Ladrillo permeable no sinterizado	30%–60%	Wang Y. et al., 2019
Ladrillo permeable no cocido	15%	Tang B. et al., 2019
Cerámica porosa	55%–68%	Wang N. et al., 2016
Ceramisita	42%	Chaochao H. et al., 2019

Fuente: Elaboración propia

Los métodos de recuperación de los residuos electrolíticos de manganeso incluyen la reutilización; donde estos permiten el reciclaje de recursos valiosos de los RME, siendo estos la aplicación de la ingeniería de la construcción y otras aplicaciones, que se resumen en la Tabla 3; donde los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales son la lixiviación; mediante agua, asistida por ultrasonidos con aditivo, con amoníaco/CO₂ y la extracción asistida por microondas así como el uso de microorganismos.

Siendo ello corroborado por los siguientes investigadores: Zheng F. et al., 2020, Wang N. et al., 2016, Peng Ning et al., 2018, Chang J. et al., 2020, Shu J. et al., 2020, Lv Ying et al., 2019, Lv Ying et al., 2020.

Donde Li et al., (2016), explica como los materiales de ingeniería de construcción contribuye a la recuperación de los residuos de manganeso; y es que, el C3S (3CaO·SiO₂, silicato tricálcico), el C2S (2CaO·SiO₂, silicato dicálcico), el C3A (3CaO·Al₂O₃, aluminato dicálcico) y el C4AF (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃, aluminoferrita tetracálcica) son los minerales primarios del cemento Portland, y pueden formarse mediante la calcinación de RME, arcilla, piedra caliza y otras materias primas.

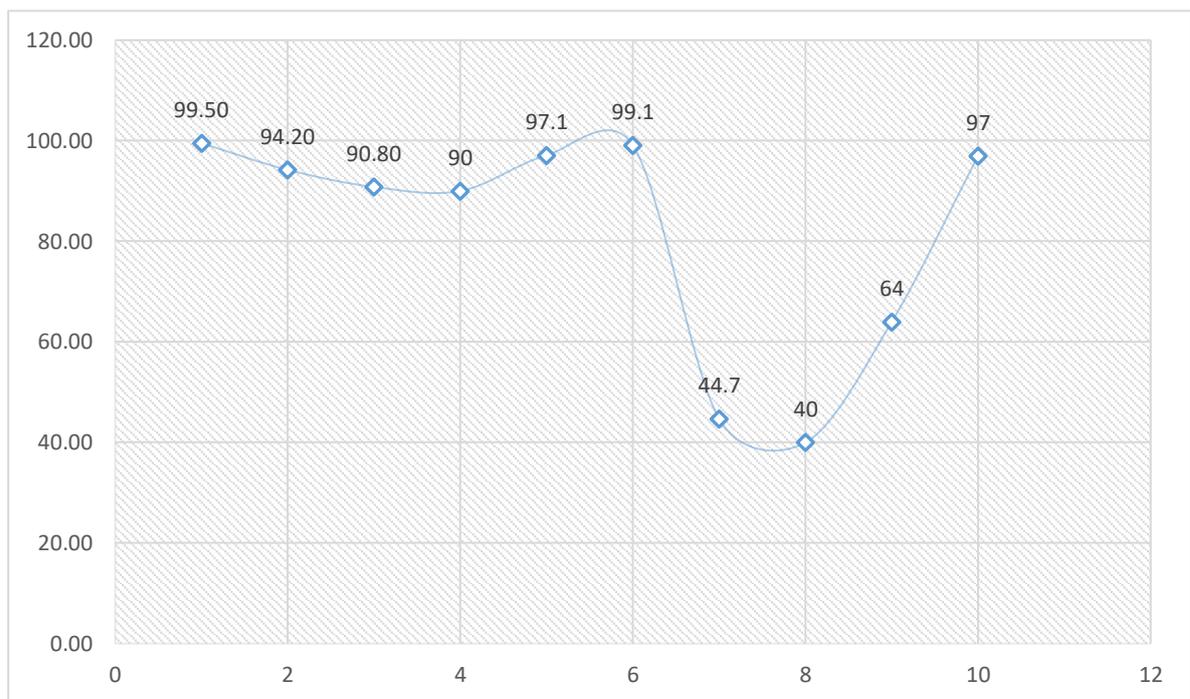
Así también lo confirma Chousidis N. et al., (2018), quien menciona que el RME es una materia prima alternativa para la producción de hormigón y concreto de azufre debido a su alto contenido de Al₂O₃, SiO₂ y CaO.

Así también confirman Li Qingzhu et al., 2016, Li J. et al., 2020, Wang N. et al., 2016, Chaochao H. et al., 2019, quienes muestra que los RME pueden recuperarse

para la elaboración de Cemento de recubrimiento de TiO₂, ladrillo tratado en autoclave, cerámica porosa y ceramisita respectivamente.

OE3: Por otro lado, la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales es alta, siendo ello corroborado por los 24 estudios aplicados a la reducción y reutilización de los RME.

Gráfico N° 2. Promedio porcentual de la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los RME



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, de acuerdo al gráfico 2 respecto a la tabla 2 y 3, se tiene que la eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización varía en un 90 a 100% en la mayoría de los estudios.

La eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales se dan mediante los métodos de; lixiviación con agua, la lixiviación asistida por ultrasonidos con aditivo, la lixiviación con amoníaco/CO₂, y

la extracción asistida por microondas para lixiviar el Mn^{2+} soluble de los REM y las eficiencias de lixiviación son del 83,4%, 57,3%, 94,2% y 90%, respectivamente.

De acuerdo con Zheng et al., (2020); la biolixiviación tiene las ventajas de un bajo coste, operaciones sencillas y casi ninguna contaminación secundaria. Sin embargo, el tiempo de tratamiento de los microbios es largo.

Así mismo, apoyando las afirmaciones anteriores, la eficiencia de recuperación de Mn^{2+} alcanzó el 99,7%, y el silicio disponible en la solución de lixiviación llegó a 514,00mg/L (Lv et al., 2020). Además, presentando cierto contraste, Shu et al., (2020b).; indica que los microbios como las bacterias de silicato, las bacterias oxidantes de azufre, las bacterias lixivadoras de piritita y *Paenibacillus mucilaginosus* también pueden lixiviar Mn^{2+} , NH_4^+ y otros iones de los REM.

Así también lo corroboran; Muriana R., 2016 y Zhou Feng et al., 2016; quienes con el método de separación por gravedad húmeda y flotación con linoleato de ácido hidroxámico obtuvieron una eficiencia de recuperación del 91.1 y 97 % de EMR.

V. CONCLUSIONES

Se puede concluir de manera general que los aspectos más resaltantes de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME) utilizando diversos métodos son las limitaciones asociadas a la reducción de los RME, debido que, para el pretratamiento y la reutilización de los RME, el método existente es difícil de lograr, donde, la eliminación o reutilización de los RME a nivel industrial y a gran escala son difíciles de conseguir, razones que limitan el pretratamiento de los RME; así mismo:

Los métodos más usados para la reducción de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales son los métodos físicos; siendo estos: separación por gravedad en húmedo, la separación magnética de alta intensidad, la flotación, el calentamiento por microondas y la combinación de estos métodos.

Los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales se dan mediante la recuperación, donde los métodos más usados para la reutilización de los residuos de manganeso electrolítico contaminantes de los ecosistemas locales son la lixiviación; mediante agua, asistida por ultrasonidos con aditivo, con amoníaco/CO₂ y la extracción asistida por microondas, así como el uso de microorganismos.

La eficiencia de la aplicación de los diversos métodos para la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolíticos contaminantes de los ecosistemas locales varían en un 90 a 100% en la mayoría de los estudios. Donde, la lixiviación con agua, la lixiviación asistida por ultrasonidos con aditivo, la lixiviación con amoníaco/CO₂, y la extracción asistida por microondas son los principales métodos para lixiviar el Mn²⁺ soluble de los RME y las eficiencias de lixiviación son del 83,4%, 57,3%, 94,2% y 90%, respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar los siguientes puntos en los nuevos estudios a realizar acerca de la reducción y reutilización de los residuos de manganeso electrolítico (RME):

La reutilización a gran escala de los RME debería combinar el proceso de producción de los RME, las caracterizaciones de los RME con tecnologías de reducción y pretratamiento de los RME.

La reducción de los RME, o la producción más limpia de RME, es muy necesaria para el pretratamiento y la reutilización de los RME, y la reutilización de los RME debe basarse en su pretratamiento.

Además, que el impacto medioambiental de los productos resultantes no debería ser mayor que los de los RME, y los RME sin reutilización deben ser pretratados.

Así también, la eliminación de los RME debe combinar un conjunto de tecnologías, ya que una sola tecnología de eliminación no puede resolver los problemas asociados a los RME. Siendo en el caso de la industria de los RME, se debe acelerar la investigación y la introducción de tecnologías y equipos de beneficio, producción limpia y filtro de prensas de alta eficiencia para reducir la cantidad total y la toxicidad de los RME.

REFERENCIAS

1. AZIAM, Hasna. Recovery of Nanomaterials for Battery Applications. En Waste Recycling Technologies for Nanomaterials Manufacturing. Springer, Cham, 2021. p. 125-145. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68031-2_5
2. BANERJEE, Anjan, et al. Increasing the durability of Li-ion batteries by means of manganese ion trapping materials with nitrogen functionalities. Journal of Power Sources, 2017, vol. 341, p. 457-465. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.12.036>
3. CAMARGO, Franciele Pereira, et al. Bioleaching of toxic metals from sewage sludge by co-inoculation of Acidithiobacillus and the biosurfactant-producing yeast Meyerozyma guilliermondii. Journal of environmental management, 2018, vol. 211, p. 28-35. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.045>
4. CHANG, Jun, et al. Optimization of microwave-assisted manganese leaching from electrolyte manganese residue. Green Processing and Synthesis, 2020, vol. 9, no 1, p. 2-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0001>
5. CHAOCHAO, H. U., et al. Preparation of ceramsite with MSWI fly ash and electrolytic manganese residues. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, vol. 13, no 1, p. 177-185. Disponible en: <https://doi.org/10.12030/j.cjee.201806068>
6. CHEN, Hongliang, et al. Simultaneous immobilization of NH₄⁺ and Mn²⁺ from electrolytic manganese residue using phosphate and magnesium sources. RSC advances, 2019, vol. 9, no 8, p. 4583-4590. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8RA09615E>

7. CHEN, Jin, et al. Rapid thermal decomposition of manganese ore using microwave heating. *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, vol. 699, p. 430-435. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.12.379>
8. CHOUSIDIS, N.; IOANNOU, I.; BATIS, G. Utilization of Electrolytic Manganese Dioxide (EMD) waste in concrete exposed to salt crystallization. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 158, p. 708-718. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.036>
9. DING, Fenghua, et al. Simultaneous leaching of low grade bismuthinite and pyrolusite ores in hydrochloric acid medium. *Hydrometallurgy*, 2016, vol. 166, p. 279-284. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.08.009>
10. ELLIOTT, Richart, et al. Review of manganese processing for production of TRIP/TWIP Steels, Part 1: current practice and processing fundamentals. *Jom*, 2018, vol. 70, no 5, p. 680-690. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11837-018-2769-4>
11. HE, Dejun, et al. A critical review on approaches for electrolytic manganese residue treatment and disposal technology: Reduction, pretreatment, and reuse. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 418, p. 126235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126235>
12. HE, Dejun, et al. Electrolytic manganese residue disposal based on basic burning raw material: Heavy metals solidification/stabilization and long-term stability. *Science of The Total Environment*, 2022, p. 153774. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153774>
13. LI, Jia, et al. Activation of silicon in the electrolytic manganese residue by mechanical grinding-roasting. *Journal of cleaner production*, 2018, vol. 192, p. 347-353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.184>
14. LI, Jia, et al. Synthesis of electrolytic manganese residue-fly ash based geopolymers with high compressive strength. *Construction and Building Materials*, 2020, vol. 248, p. 118489. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118489>

15. LI, Kangqiang, et al. Microwave pyrolysis of walnut shell for reduction process of low-grade pyrolusite. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 291, p. 121838. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121838>
16. LI, Qingzhu, et al. Self-cleaning performance of TiO₂-coating cement materials prepared based on solidification/stabilization of electrolytic manganese residue. *Construction and Building Materials*, 2016, vol. 106, p. 236-242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.088>
17. LU, Jianming; DREISINGER, David; GLÜCK, Thomas. Electrolytic manganese metal production from manganese carbonate precipitate. *Hydrometallurgy*, 2016, vol. 161, p. 45-53. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.01.010>
18. LU, F.; CHEN, M.; CHEN, L. L. Characteristics of heavy metal pollution in manganese residues of electrolytic manganese in Songtao, Guizhou and its toxic effects on plant growth. *Science Technology and Engineering*, 2018, vol. 18, no 5, p. 124-129. Disponible en: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-202426/v1>
19. LV, Ying, et al. Bioleaching behaviors of silicon and metals in electrolytic manganese residue using silicate bacteria. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 228, p. 901-909. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.289>
20. LV, Ying, et al. Bioleaching of silicon in electrolytic manganese residue (EMR) by *Paenibacillus mucilaginosus*: Impact of silicate mineral structures. *Chemosphere*, 2020, vol. 256, p. 127043. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127043>
21. Milatovic, D., Gupta, RC, Yin, Z., Zaja-Milatovic, S. y Aschner, M. Manganeso. Chapter 32 - Manganese, 2017, pages 567–581. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804239-7.00032-9>

22. Molina-Poveda, C. Nutrient requirements. *Formulación de alimentos acuícolas*, 75–216. 2016, Pages 75-216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800873-7.00004-X>
23. MURIANA, R. A. Responses of Ka'oje metallurgical manganese ore to gravity concentration techniques. *Int J Sci Eng Technol*, 2015, vol. 4, no 7, p. 392. ISSN :2277-1581
24. PENG, Ning, et al. Recovery of iron and manganese from iron-bearing manganese residues by multi-step roasting and magnetic separation. *Minerals Engineering*, 2018, vol. 126, p. 177-183. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.07.002>
25. QUEIROZ, Hermano M., et al. Manganese: The overlooked contaminant in the world largest mine tailings dam collapse. *Environment international*, 2021, vol. 146, p. 106284. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106284>
26. Shanghai Metals Market. Electrolytic metallic manganese. 2018. Disponible en: <https://hq.smm.cn/manganese>
27. SHU, Jiancheng, et al. An innovative method for manganese (Mn²⁺) and ammonia nitrogen (NH₄⁺-N) stabilization/solidification in electrolytic manganese residue by basic burning raw material. *Chemosphere*, 2020, vol. 253, p. 126896. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126896>
28. SHU, Jiancheng, et al. Adsorption of methylene blue on modified electrolytic manganese residue: kinetics, isotherm, thermodynamics and mechanism analysis. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2018, vol. 82, p. 351-359. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.11.020>
29. SHU, Jiancheng, et al. Enhanced discharge performance of electrolytic manganese anode slime using calcination and pickling approach. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2017, vol. 806, p. 15-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.10.041>

30. SHU, Jiancheng, et al. Enhanced removal of Mn^{2+} and NH_4^+-N in electrolytic manganese metal residue using washing and electrolytic oxidation. *Separation and Purification Technology*, 2021, vol. 270, p. 118798. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118798>
31. SINGH, Veerendra; BISWAS, Arijit. Physicochemical processing of low grade ferruginous manganese ores. *International Journal of Mineral Processing*, 2017, vol. 158, p. 35-44. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.11.013>
32. TANG, Binwen, et al. Pore structure analysis of electrolytic manganese residue based permeable brick by using industrial CT. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 208, p. 697-709. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.066>
33. TAN-PING, L. I., et al. Determination of Heavy Metal Elements in Leaching Solution of Electrolytic Manganese Dioxide Waste Residue by Inductively Coupled Plasma-Tandem Mass Spectrometry. *Rock and Mineral Analysis*, 2020, vol. 39, no 5, p. 682-689. Disponible en: <https://doi.org/10.15898/j.cnki.11-2131/td.201911230162>
34. TIAN, Yang, et al. Manganese and ammonia nitrogen recovery from electrolytic manganese residue by electric field enhanced leaching. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 236, p. 117708. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117708>
35. TRIPATHY, Sunil Kumar; BANERJEE, P. K.; SURESH, Nikkam. Effect of desliming on the magnetic separation of low-grade ferruginous manganese ore. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 2015, vol. 22, no 7, p. 661-673. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12613-015-1120-0>
36. WANG, Dengquan; WANG, Qiang; XUE, Junfeng. Reuse of hazardous electrolytic manganese residue: Detailed leaching characterization and novel application as a cementitious material. *Resources, Conservation and*

- Recycling, 2020, vol. 154, p. 104645. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104645>
37. WANG, Kui, et al. Efficient removal of iron (II) from manganese sulfate solution by using mechanically activated CaCO₃. Hydrometallurgy, 2019, vol. 188, p. 169-173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.07.003>
38. WANG, Nanfang, et al. Recovery of soluble manganese from electrolyte manganese residue using a combination of ammonia and CO₂. Hydrometallurgy, 2016, vol. 164, p. 288-294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.06.019>
39. WANG, Xuan, et al. Anaerobic microbial manganese oxidation and reduction: A critical review. Science of The Total Environment, 2022, p. 153513. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153513>
40. WANG, Yaguang, et al. Preparation of non-sintered permeable bricks using electrolytic manganese residue: Environmental and NH₃-N recovery benefits. Journal of hazardous materials, 2019, vol. 378, p. 120768. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120768>
41. XIONG, Shaofeng, et al. Recovery of manganese from low-grade pyrolusite ore by reductively acid leaching process using lignin as a low cost reductant. Minerals Engineering, 2018, vol. 125, p. 126-132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.06.003>
42. XUE, Fei, et al. Self-solidification/stabilisation of electrolytic manganese residue: Mechanistic insights. Construction and Building Materials, 2020, vol. 255, p. 118971. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118971>
43. YAMAGUCHI, T., et al. Development of Mn recovery process from waste dry cell batteries. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2018, vol. 20, no 4, p. 1909-1917. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0679-0>

44. YI, Chenxing, et al. Technology for recycling and regenerating graphite from spent lithium-ion batteries. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2021, vol. 39, p. 37-50. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ciche.2021.09.014>
45. ZHANG, Daohong, et al. Preparation of mesoporous silica from electrolytic manganese slags by using amino-ended hyperbranched polyamide as template. *Acs sustainable chemistry & engineering*, 2017, vol. 5, no 11, p. 10258-10265. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02268>
46. ZHANG, Ruirui, et al. Life cycle assessment of electrolytic manganese metal production. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 253, p. 119951. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119951>
47. ZHANG, Yongtao, et al. Mn bio-dissolution from low-grade MnO₂ ore and simultaneous Fe precipitation in presence of waste electrolytic manganese anolyte as nitrogen source and iron scavenger. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 158, p. 182-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.129>
48. ZHANG, Yuliang, et al. Synergic effects of electrolytic manganese residue-red mud-carbide slag on the road base strength and durability properties. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 220, p. 364-374. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.009>
49. ZHENG, Fan, et al. Pure water leaching soluble manganese from electrolytic manganese residue: Leaching kinetics model analysis and characterization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 4, p. 103916. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103916>
50. ZHOU, Feng, et al. The flotation of low-grade manganese ore using a novel linoleate hydroxamic acid. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, vol. 466, p. 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.10.055>

ANEXO

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
TITULO:	
AÑO DE PUBLICACION: <input data-bbox="392 692 724 768" type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACION: <input data-bbox="989 692 1318 768" type="text"/>
TIPO DE INVESTIGACION <input data-bbox="389 864 719 940" type="text"/>	AUTOR(ES) <input data-bbox="1000 864 1329 940" type="text"/>
PALABRAS CLAVES:	
PROBLEMA:	
OBJETIVOS:	
ZONA DE ESTUDIO:	
TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS:	
RESULTADOS:	
CONCLUSIONES:	