



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Revisión sistemática de la recuperación de metales adquiridos de
las baterías ion – litio

AUTORES:

Alvarado Castillo, Ingrid Alessandra (ORCID: 0000-0002-3714-0045)

Jauregui Silvestre, Florcita del Pilar (ORCID: 0000-0002-3127-0770)

ASESOR:

Mg. Garzón Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Residuos Sólidos

TRUJILLO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Este informe es dedicado hacia mis padres, mis abuelos quienes están presentes y quienes son mis guías desde el cielo, ellos fueron quienes fueron ese nuestra “magic shop” quienes fueron mi refugio buscando consuelo, donde el miedo se intercambiaba en por felicidad, por con tan solo decir “está bien, cuenta hasta tres y olvida, borra los malos momentos y mantén esa sonrisa, los mejores momentos están por venir”. Por ser esos héroes los cuales me empujaron a dar un salto todos los días para extender mis alas, y volar lejos como los pétalos de una flor.

Ingrid Alessandra Alvarado Castillo

Dedico este trabajo a mi mamá, hermanos y abuela por quienes me forjaron como una persona correcta, quienes están detrás de cada uno de mis logros. Por ayudarme a formar mi carácter honesto, por la motivación constante de no derribarme para llegar a mis metas. Por ser ustedes mi espejo de vida en el cual quiero reflejar sus fortalezas.

Florcita del Pilar Jauregui Silvestre

En conjunto dedicamos este proyecto a Dios quien, si no fuera por tu sabiduría que derramaste en nuestras mentes para la elaboración de este, por ser quien nos levanta y acompaña en nuestro día a día y poner personas en nuestro camino que fueron guías y fortaleza.

Por ultimo lo dedicamos a nosotras, por el arduo esfuerzo, pese a las circunstancias que nos tocó vivir, mientras el tiempo pasaba sin pedir disculpas, la vida continuaba y nosotras en este momento las alas no estaban preparadas para volar, fuimos caminando con nuestros pies lentamente, ya que era el camino que deseábamos seguir, y aun así alcanzaremos las metas, porque no abandonaremos nuestro sueño.

Las autoras

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, nosotros agradecemos a Dios quien nos dio la vida, por nuestros padres por ser el eje principal de nuestras vidas, por mantenernos saludables, por brindar a docentes capacitados en lo largo de nuestros estudios, amigos quienes empujaron de manera indirecta nuestros sueños.

Agradecemos a nuestro asesor el Ing. Garzón Flores, Alcides, que en estos últimos ciclos nos brindó el apoyo con sus conocimientos y capacidades, y por la paciencia para guiarnos en cada clase en el desarrollo de nuestra tesis.

Agradecemos de igual manera a la Universidad Cesar Vallejo por otorgarnos una educación de calidad con docentes a su altura quienes brindaron de sus conocimientos y apoyo en nuestro día a día, abriéndonos el paso a llegar a nuestra meta.

Por ultimo agradecemos a nuestros amigos y compañeros de clase, ya que gracias a su amistad y apoyo moral han aportado un camino lleno de apoyo para culminar nuestra carrera profesional.

Las autoras.

Índice de contenidos

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO	14
III. METODOLOGÍA	24
3.1 Tipo y diseño de investigación	25
3.2 <i>Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística</i>	25
3.3 Escenario de estudio	28
3.4 Participantes	28
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.6 Procedimientos:	29
3.7 Rigor científico	32
3.8 Método de análisis de datos	32
3.9 Aspectos éticos	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
V. CONCLUSIONES	47
VI. RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS	51
VII. ANEXO	57

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Pares Galvánicos en baterías primarias</i>	18
Tabla 2 <i>Pares galvánicos más usados en baterías secundarias</i>	19
Tabla 3 <i>Componentes de LIBs, materiales, estructura y propiedades</i>	20
Tabla 4 <i>Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística</i>	26
Tabla 5 <i>Procedimiento de selección de datos (Inclusión)</i>	30
Tabla 6 <i>Proceso de extracción de datos (EXCLUSION)</i>	31
Tabla 7 <i>Tipos de baterías ion - litio</i>	35
Tabla 8 <i>Métodos de recuperación de metales</i>	37
Tabla 9 <i>Metales a recuperar</i>	42
Tabla 10 <i>TIPOS DE ÁCIDOS</i>	43

Índice de figuras

<i>Figura N° 1</i> Tipos de Batería.....	36
<i>Figura N° 2</i> Metodologías.....	41
<i>Figura N°3</i> Metales a recuperar	42

RESUMEN

Las baterías de ion-litio (LIBs) están presentes en nuestras fuentes de energía como el celular, laptop, vehículos eléctricos. Las LIBs ante esto, ha generado problemática social y ambiental, ya que esto involucra la explotación de metales valiosos de Li, Co y Cu, el aumento de los RAEE, por lo cual este trabajo tiene como objetivo realizar una investigación sistemática buscar un método donde se pueda recuperar estos residuos teniendo en cuenta las tecnologías de recuperación de metales, los agentes de lixiviación orgánicos, los cuales minimizaran este problema. Por ello se llevó a cabo revisión sistemática con el objetivo de analizar los agentes de lixiviación orgánica óptima y la técnica más usada para recuperar metales de baterías ion litio. El desarrollo fue empírica debido a la sistematización de los artículos recopilados en bibliotecas virtuales como EBSCO, SCIEDIRECT, SCIELO, REDALIC y otras bibliotecas importantes, luego dividimos los artículos en diferentes categorías y subcategorías para desarrollar este formulario, donde se creía conveniente que el uso del ácido cítrico como agente de lixiviación orgánica tenía mejores resultados en la recuperación de los metales valiosos presentes en las LIBs recicladas, según las fuentes revisadas. Así mismo el método de mayor accesibilidad era el método hidrometalúrgico por su costo y la recuperación de este.

Palabras clave: Baterías ion litio, Cobalto, Litio, lixiviación, ácidos

ABSTRACT

Lithium-ion batteries (LIBs) are present in our energy sources such as cell phones, laptops, electric vehicles. The LIBs before this, has generated social and environmental problems, since this involves the exploitation of valuable metals Li, Co and Cu, the increase of WEEE, for which this work aims to carry out a systematic investigation to find a method where these residues can be recovered taking into account metal recovery technologies, organic leaching agents, which will minimize this problem. Therefore, a systematic review was carried out in order to analyze the optimal organic leaching agents and the most used technique to recover metals from lithium ion batteries. The development was empirical due to the systematization of the articles collected in virtual libraries such as EBSCO, SCIEDIRECT, SCIELO, REDALIC and other important libraries, then we divided the articles into different categories and subcategories to develop this form, where it was believed convenient that the use of the Citric acid as an organic leaching agent had better results in recovering the valuable metals present in the recycled LIBs, according to the reviewed sources. Likewise, the most accessible method was the hydrometallurgical method due to its cost and its recovery.

Keywords: Lithium ion batteries, Cobalt, Lithium, leaching, acids

I. INTRODUCCIÓN

Los RAEE son aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), el cual su ciclo de vida ha culminado (OEFA, 2014). Estos residuos que han aumentado de una manera exponencial en los últimos años y han alcanzado globalmente casi 45 millones de Tm en 2016 y se pronosticó que para 2025 este alcanzará 53.9 Tm (Baldé et al, 2001, p. 24-26).

A nivel global, 3 millones de personas no cuentan con un centro de acopio de los desechos RAEE, por ende, está generando una disconformidad en zonas urbanas y rurales. (Mihai, 2017, p. 46). Estos residuos al no contar con un adecuado tratamiento afectan a los recursos: agua, suelo y aire. Sin embargo, gran parte de los componentes pueden ser reaprovechados, lo cual conlleva al cuidado del medio ambiente y genera una economía circular. (Galarza, 2017, p. 66).

La inapropiada gestión de Residuos Sólidos Municipales (RSM) muchas veces también ocasiona un mal manejo de los RAEE. (Qingbin y Junhui, 2014, p. 2587). En el Perú existen 195 municipalidades provinciales, donde 183 realizan la disposición final de los R.S. de una manera inadecuada, en los comúnmente llamados “botaderos”. (OEFA, 2015). Se desconoce el rumbo de 34,1 millones de TM de RAEE que podrían estar siendo mercantilizados, desechados o reciclados en pésimas condiciones ya que no se logró realizar seguimiento a envíos de las subregiones ricas a las más pobres del mundo. (Baldé et al, 2017, p. 67-70).

Teniendo una demografía global de 7. 400 millones de habitantes se registraron 7.700 millones de líneas móviles lo que quiere decir que 8 de cada 10 personas emplean un teléfono celular (ONU, 2017). En Perú el 78,3% de la población, utiliza un equipo móvil (INEI, 2018). En el año 2016 se generó aproximadamente 160 ton de RAEE y de estos casi el 100% son celulares, radios, televisores, computadoras, etcétera (MINAM, 2017). En 2017 se reportó 42 mil toneladas, y 46 mil toneladas y media para el 2018 (MINAM, 2019).

Cada RAEE está compuesto por piezas de metal y plástico, cables, pilas, entre otros; sumando 60 elementos. Para tener una referencia, un celular lleva en su interior cuarenta tipos de metales que se dividen en básicos (Cu y Sn), ferrosos (Co, In y Sb) y preciosos (Ag, Au y Pd) (MINAM, 2017).

Las baterías de ion-litio (LIB) han venido ganando terreno en el mundo de la tecnología debido al suministro de energía que emite a los dispositivos tecnológicos como los celulares, cámaras, computadoras, laptops y demás, a causa de facilidad de portabilidad y su elevado almacenamiento energético y ligereza (Maldonado, 2019, p. 64).

La producción mundial total de litio aumentó de 69,000 toneladas en 2017 a 85,000 ton en 2018, un aumento del 23% en un solo año (US Geological Survey & Orienteering). China es conocido como el mayor fabricante y consumidor de LIBs (Gu et al, 2017, p. 102). El litio a manera de entrar en contacto con el agua puede ocasionar incendios explosivos. (Choubey et al, 2016, p. 90).

Por el elevado crecimiento y mala gestión de los RAEE se plantean alternativas para recuperar metales valiosos de las baterías ion-litio, a través de los procesos de lixiviación, la cual sea ecológica. El uso de ácidos orgánicos ha empezado a surgir como agentes lixiviantes, ya que tienen un menor impacto en el ambiente. (Zheng et al., 2018, p. 361-370).

De acuerdo con la realidad problemática expuesta se planteó los problemas tanto el general y específicos de la investigación. Para esta investigación el problema general planteado es ¿cuál es el agente de lixiviación orgánico óptimo y que técnica es la más usada para recuperar metales en baterías ion litio? En donde se desplegaron los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Qué metodologías son aplicadas para la recuperación de metales presentes en LIBs?

PE2: ¿Cuál es el ácido orgánico que se utilizará para la lixiviación de los minerales en las LIBs?

PE3: ¿Cuáles serán las condiciones para restablecer los minerales presentes en las LIBs?

El objetivo general fue analizar mediante una revisión sistemática los agentes de lixiviación orgánica óptima y la técnica más usada para recuperar metales de baterías ion litio Los objetivos específicos fueron los siguientes:

OE1: Describir la metodología que son utilizadas en la recuperación de metales de las baterías ion – litio.

OE2: Identificar cuál es el ácido orgánico que recupera mayor cantidad de Co, Li, Ni y Mn de las baterías ion-litio.

OE3: Evaluar las condiciones en la que se presenta mayor lixiviación.

II. MARCO TEÓRICO

Los mecanismos existentes para la recuperación de metales son los procesos metalúrgicos e hidrometalurgia, sin embargo, incluye una gran desventaja debido a que perjudican al ecosistema. El método metalúrgico contamina la atmósfera puesto que este libera gases tóxicos y consume un desmesurado uso de energía, el tratamiento hidrometalúrgico tiene un exceso consumo de reactivos químicos como fuente residual. (Han, 2018, p. 102-112).

Para la realización de este proyecto se es necesario realizar investigaciones en donde se utilice tecnologías ecológicas en la recuperación de metales mediante lixiviaciones con materiales orgánicos, por lo cual se tomaron los diferentes autores que obtuvieron resultados exitosos ante el problema planteado.

Brahizade (2020) , aplicó el algoritmo de Optimización de Enjambre de Partículas (PSO) y una Red Neuronal Artificial (ANN) para la optimización del peso y sesgo de interconexión de las neuronas, a fin de encontrar el rendimiento óptimo en el modelamiento de los procesos de lixiviación del cobalto presente en las LIBs. Desarrollo 42 ensayos usando H_2SO_4 con H_2O_2 , en los análisis de lixiviación del Co. El autor manifestó que el híbrido ANN y el algoritmo PSO activaron el ritmo de lixiviación de las LIBs empleando H_2SO_4 y H_2O_2 a su vez encontró que el ácido sulfúrico tuvo mayor reacción con respecto en la recuperación de las LIBs (p. 50-55).

Maldonado (2019), utilizó una metodología eco amigable para la recuperación de metales (Li, Co, Ni, Cu y Al) presentes en batería, en el proceso de lixiviación oxidativa, usando la cáscara de naranja a diferentes concentraciones. Se analizó únicamente 8 baterías de celular iPhone 6, se utilizó pirolisis para el proceso de lixiviación con cáscaras de naranja. Logrando la cáscara funcionar como antes reductores y lixiviantes donde se recuperó un 52% de total de metales presentes en las LIBs (p. 67).

Sattar y otros (2019), investigaron la lixiviación del polvo catódico sin agente reductor y con adición de este (H_2O_2) a diferentes concentraciones, temperaturas y tiempo de exposición, por procesos de precipitación y extracción con solventes. Experimentó con aproximadamente 50 LIB de polvo catódico, diluyendo H_2O_2 en agua destilada como agente reductor. Concluyendo que los agentes

reductores se utilizan para aumentar la velocidad de lixiviación, como es el caso del peróxido de hidrógeno (p.88-95)

Se (2018), investigó sobre la regeneración de los minerales catódicos localizados en las LIBs, caracterizando y haciendo su disolución en diferentes concentraciones y parámetros. Desarrolló el proceso en tres fases, primero realizó la lixiviación ácida mixta, siguiendo se hace la separación y purificación de los metales mediante la extracción de solventes y por último la precipitación utilizando carbonato de sodio e hidróxido de sodio y su calcinación a altas temperaturas obteniendo los óxidos de metales Li, Co, Ni, Mn teniendo como pureza del Li, Co, Ni encima de 99.5% y el Mn de 93%. Concluyendo que la lixiviación hidrometalúrgica en relación líquido – sólido utiliza H_2SO_4 recuperando 98.5% Co, 99.8% Li, Ni 98.6% y 98.6 % Mn (p.109)

HAN (2018), estudió la viabilidad de la lixiviación asistida por microondas de los metales Co, Li y Mn presentes en las LIBs, teniendo en cuenta diferentes tipos de ácidos, relación sólido – líquido, el tiempo de exposición y potencia de las microondas. Evaluó el proceso de lixiviación utilizando HCl, H_2SO_4 , CH_3COOH y ácido ascórbico, con 5 minutos de exposición a 300W en relación 10 g/L. Concluyendo que el ácido ascórbico tiene una alta reducibilidad de lixiviación Co, Mn y Li, la eficiencia de este fue 80.09%, 69.80% 102.81%, respectivamente (p. 112).

Natarajan y otros (2018), evaluaron un enfoque ecológico y económico para la restauración del mineral catódico y aniónico que se encuentran en las LIBs de teléfonos celulares. Manejó el método pirometalúrgico, basándose en eliminar la humedad y fundir el material amónico y catódico a ciertos parámetros establecidos de acuerdo a las bibliografías revisadas. Los investigadores concluyeron que los minerales catódicos (Li, Co y Mn) tienen mejor tratamiento con ácido acético y H_2O_2 , siendo el mecanismo de difusión de la capa del producto como evaluación cinética para lixiviación óptima, obteniendo la pureza de las sales.

Golmohammadzadeh, y otros (2017), evaluaron la recuperación del Co y Li presentes en las LIBs con el método hidrometalúrgico con una dirección ecológica. Se utilizó los ácidos orgánicos (cítricos, DI-málico, oxálicos y acéticos)

y H_2O_2 , en las LIBs obtenidas de laptops LENOVO e IBM. El estudio tiene como conclusión el resultado de la lixiviación la temperatura fue el parámetro que más ha contribuido recuperando 99.80% Li y 96.46% Co.

Para el soporte y desarrollo del proyecto se considera los conceptos teóricos siguientes:

Las baterías son productos químicos, que su interior produce reacciones de oxidación - reducción, generando que el movimiento de las cargas circule con los iones encontrados en los electrolitos. (Se, 2019, p. 109)

Para entender el funcionamiento de estas debemos de conocer como está distribuida una celda electrolítica, la cual será que se origine electricidad, las cuales están compuestas por el ánodo que son los electrodos de carga negativa que en el proceso genera una reacción oxidativa; el cátodo que está compuesto por electrodos positivos teniendo una reacción reductiva y el electrolito que transporta las cargas del cátodo al ánodo (Guevara, y otros, 2019, p. 126).

Las baterías son un sistema cerrado donde interviene una placa exterior que permite el intercambio de los electrones aniónico hacia el cátodo para producir energía eléctrica (Han, 2018, p. 87).

Debido al tecnológico y las necesidades de mayor capacidad de almacenamiento, mayor tiempo de vida, más económicos, de fácil movilidad y que sean recargables, las baterías fueron mejorando (Betancur, 2016, p. 34).

Las baterías de acuerdo a su función y su reacción electroquímica son clasificadas como batería primaria y batería secundaria.

Las baterías primarias son las cuales su reacción electroquímica es estática y única vez entrega energía hasta que se los electrodos se gasten, queriendo decir que estas no son recargables, las cuales son desechadas después de su uso (Betancur, 2016, p. 117).

En las celdas primarias, los ánodos en la oxidación son desgastadas en el electrolito. El cátodo se degrada los compuestos metálicos. De acuerdo al voltaje

y el desempeño que se desea lograr, va de la mano con los metales a utilizar como, así como se muestra en la *Tabla 1*

Tabla N° 1. ***Pares Galvánicos en baterías primarias***

Ánodo	Cátodo	Electrolito	Voltaje Nominal (V)	Energía Específica teórica (Wh/kg)
Zn	MnO ₂	Acido	1.5	22
Zn	MnO ₂	Alcalino (KOH)	1.5	272
Zn	Ag ₂ O	Alcalino (KOH)	1.6	350
Zn	Aire (O ₂)	Alcalino (KOH)	1.45	1086
Li	MnO ₂	Orgánico	3.5	1005
Li	SOCl ₂	SOCl ₂	3.9	1470
Li	SO ₂	Orgánico	3.1	1175
Li	FeS ₂	Orgánico	1.8	1307
Li	CF _x	Orgánico	3.1	2189
Li	L ₂ (P2VP)	Orgánico	2.8	560

Fuente: Betancur Pulgarín, 2016

Las baterías secundarias, las reacciones químicas aniónicas y catódicas son transformativas teniendo en cuenta que pueden ser recargadas para la restauración de las reacciones de los electrodos.

A diferencia de las baterías primarias de tener un solo uso, las secundarias acumulan y generan electricidad por tiempo de prolongación, debido a una fuente primaria de electricidad, además del ahorro en el costo.

Las baterías pueden fabricarse con casi cualquier tipo de sustancias siempre que se intercambien electrones entre una sustancia química y un conductor eléctrico. Las baterías recargables parecen haberse convertido en las más utilizadas ahora

Tabla N° 2. *Pares galvánicos más usados en baterías secundarias*

Ánodo	Cátodo	Electrolito	Voltaje Nominal (V)	Energía Específica teórica (Wh/kg)
Pb	PbO ₂	H ₂ SO ₄	2	161
Cd	NiOOH	KOH	1.3	240
H ₂	NiOOH	KOH	1.3	300
AgO	Zn	KOH	1.5	180
AgO	Cd	KOH	1.1	120
Li	FeS ₂	Orgánico	1.7	350
Li	MnO ₂	Orgánico	3	265
LiXc	Li (-X)Mn O ₂	Orgánico	3.6	>450
Li Xc	Li (-X)Mn O ₃	Orgánico	3.8	570

Fuente: Betancur Pulgarín, 2016

Las LIBs fueron creadas por Sony en Japón para los años noventa en la busca de la necesidad de almacenamiento de energía y capacidad de ser recargables, por la cual son consideradas secundarias.

Estas se componen por el ánodo, cátodo, separadores, electrolitos y conchas. El ánodo consta de una placa de cobre (Cu), el cual está envuelto con materiales activos los cuales contienen de grafito, un conductor ya aglutinante orgánico (alginato). Con gran semejanza, el cátodo es una placa de aluminio (Al), la cual se encuentra recubierta con materiales activos, conductores y aglutinante orgánico. Debido a la alta resistencia de las LIBs, y su propiedad no reactiva, es más común utilizar como material aglutinante el fluoruro de polivinilideno (PVDF) (Zeng et al., 2014; Ordoñez et al., 2016, p. 100).

Tabla N° 3 **Componentes de LIBs, materiales, estructura y propiedades**

Componente	Material	Estructura	Propiedades
Cátodo	LiCoO ₂	Capas	Alta estabilidad estructural y puede reciclado por >500 veces
	LiMn ₂ O ₄	Espinela	Ecológico- económico
	LiNiO ₂	Capas	Barato- menor estabilidad
	LiFePO ₅	Olivino	Más seguro - menos costo
	Li Co 1/3 Ni 1/3 Mn 1/3 O ₂	Capas/ Espinela	Alta capacidad de potencia, con estructura y estabilidad térmica, seguro de usar
Ánodo	Carbono	Grafito	Bajo costo y alta disponibilidad
Electrolito	Sal de litio como LiPF ₆ , LiClO ₄ , LiBF ₄ , LiCF ₃ SO ₃ o Li(So ₂ CF ₃) ₂		Resistencia a temperatura altas, alta circulación de ion - Litio
Electrolito Solvente	Carbonato de etileno (EC), dimetil carbonato (DMC) o Dietil Carbonato (DEC)		No acuoso
Separador	Polietileno o polipropileno		Capas de 3 - 8 um con 50% porosidad
Aglutinante	Fluoruro de polivilideno (PVDF), o celulosa modificada		Resistencia al calor y electricidad
Actual Coleccionista	Lámina de Al y Cu		Conductivo
Externo caso	Acero inoxidable, aleación de aluminio y polímero		Batería sellada herméticamente

Fuente: HAN CHU, 2018

El litio y otros metales para el uso de las baterías son de recurso secundario, y dependiendo de su construcción técnica y sus diferentes propiedades. El contenido de litio en LIBs se encuentra entre los 0.60 g. a 4 g para las baterías primarias y en cuanto a las baterías secundarias contienen 0.35 g a 26 g (Talens et al., 2013, p.45).

El litio (Li) es uno de los 25 elementos más abundantes en el planeta, las fuentes en donde se extrae se encuentran en minerales, arcilla, sal y agua de mar. (Meshram et al., 2014, p. 83-86). Este metal ha ingresado en la industria de la cerámica, vidrio, grasa o lubricantes, tratamiento de aire, producción de aluminio, metalúrgica, farmacéutica, polímero, cohetes.

Otro metal que se encuentra en las LIBs es el cobalto (Co), es un metal de transición, de características afines a del Fe y Ni. (Betancur, 2016, p. 40); es básicamente importante en la producción industrial, a diferencia del Li es más escaso y costoso, se extrae como subproducto (Sheed, 2017, p. 33). Por lo tanto, el reciclaje o su recuperación de este son muy conveniente en el punto de vista ambiental y económico (Brininstool, 2017, p. 108).

Para 2018 se utilizaron 78, 000 toneladas de cobalto para la fabricación de baterías que en porcentajes hace un 60.9% de uso global. (U.S.Geological Survey, 2019.). Es de fin valioso en múltiples empleos comerciales, industriales, médicas y militares. El uso no metálico incluye: cerámicos, catalizadores, pigmentos para pinturas y cinturones radiales (The Editors of Encyclopædia Britannica, 2015.pp 10)

El manganeso gracias a sus propiedades (aleación, desoxidación y fijación de azufre) es indispensable para la producción de acero y hierro cuyos consumos representan el 85 y 90% (USGS, 2018).

El níquel (Ni) es uno de los metales pesados que debido a su toxicidad y dureza de su degradación se considera un contaminante peligroso para el ambiente. El Ni se encuentra en la naturaleza en forma de elemento, como sal y compuesto; este es el quinto elemento más común en la Tierra (Nickel in the environment, 2015, p. 525-534). Este metal se emplea en diferentes usos como las baterías,

tuberías, piezas de maquinarias, pinturas, catalizadores y acero inoxidable (Maddodi, y otros, 2020, p. 5-12)

En el ser humano el Ni es perjudicial en la salud teniendo como consecuencias problemas cardiacos, enfermedades renales y aumenta la probabilidad del cáncer. (Adsorption of Heavy Metals : A Review, 2014, p. 41-48)

Se le tiene que someter a temperaturas altas para que el rendimiento sea más efectivo caso contrario el rendimiento baja en un 55%. (Guevara y Vargas, 2019, p. 126)

Los metales se han vuelto para el ser humano uno de los bienes más importantes para su desarrollo, por lo cual estos cada vez es as importante su extracción y su punto de vista económico, lo que causa que estos se encuentren en menor medida.

En los últimos años se investigó diferentes métodos para la recuperación de los metales, buscando en las últimas décadas las mejoras en los diferentes procesos. Los procesos más utilizados son la pirometalurgia, hidrometalurgia.

Para las baterías ion – litio, antes que lleven uno de estos procesos deben de tener pre tratamiento, en el cual esta será descargada, para evitar riesgos.

El proceso hidrometalúrgico se basa en la lixiviación ácida o básica de los minerales presentes en el ánodo o cátodo, lo cual logrará una disolución, consecuentemente son separados los elementos del resto de las impurezas y recuperadas. En ciertas circunstancias este método es un proceso intermedio para la purificación del mineral. También influye el agente lixiviantes, que generalmente son ácidos.

Es uno de los métodos más eficientes y usados en la recuperación de los materiales en interés presentes en las baterías, muchos autores demostraron que este proceso es viable, ya que sus ventajas son altas como la alta recuperación de metales con mayor pureza, bajo consumo de energía y liberación de gases, sin embargo, produce efluentes líquidos, por lo cual se necesita un manejo correcto y disposición de estos.

La pirometalurgia es un proceso en donde se utiliza las temperaturas altas para la fundición de los metales que están presentes en las baterías para posteriormente separarlas, este método va de la mano con la hidrometalurgia. Dado a que las sustancias están en temperaturas altas pasan a un estado gaseoso, y luego para la purificación de estos metales se es necesario incluir el proceso hidrometalúrgico mediante lixivitaciones ácidas.

Las ventajas de este método es que no necesita un pre tratamiento, no tiene la necesidad de la separación de los componentes de las baterías, haciendo este proceso más simple. Como consecuencia esta consume altas cantidades de energía y emisión de gases

La biometalurgia tiene cierta similitud con el proceso de hidrometalurgia con la diferencia que los ácidos provienen de microorganismos. Esta producción de ácidos promueve la lixiviación de los metales bajo un previo pre tratamiento de las baterías.

En comparación con la pirometalurgia e hidrometalurgia, este proceso sus principales desventajas son que el proceso de lixiviación toma más tiempo que los otros dos las concentraciones de metales para ser lixiviados deben ser menores, difícil de cultivar y mantener. Así mismo como la hidrometalurgia, el impacto en el ambiente es en el agua residual. Estos microorganismos al producir ácidos cambian el pH del agua causando que esta se contamine

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación desarrollada fue de tipo aplicada. También llamada “investigación práctica o empírica”, son conocimientos que se adquieren de acuerdo a los hechos aprendidos a través de la reflexión y sistematización en la práctica de la investigación. Al ser capaces de reflexionar y ver los resultados de la investigación tenemos como efecto una investigación con más rigurosidad, organización y sistemática para llegar a conocer el contexto (Murillo, 2008, p. 180).

La investigación aplicada, se deduce como la utilización de experiencias, las cuales serán aplicadas para el aprovechamiento de los grupos los cuales participan de distintos métodos y la comunidad en general, asimismo del conjunto de nuevos conocimientos que van a incrementar las distintas especialidades. (Martínez, 2004, p. 59-72)

El diseño de investigación fue Narrativo de tópicos, el cual se enfoca a un tema, hecho o anómalos (Mertens, 2010, p. 91)

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Dividimos la investigación en tres categorías las cuales estaban relacionadas con los objetivos y problemas específicos; estos fueron plasmados en la matriz de categorización apriorística que mostramos a continuación

Tabla N° 4 **Categorías, subcategorías y matriz de categorización** **apriorística**

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión	
Describir la metodología que son utilizadas en la recuperación de metales de las baterías ion – litio.	¿Qué metodologías son aplicadas para la recuperación de metales presentes en LIBs?	Métodos	Hidrometalúrgico	Zheng, Watanabe, et al / 2020 Guevara, Vargas/ 2020	1. Artículos o tesis publicados en los últimos 4 años (2017 – 2020)	1.Artículos o tesis publicados del 2016 en descenso
			Pirometalúrgico	Nshizirungu, Agarwal, et al /2020 Barik, Kumar, et al/ 2017 De Oliveira, Cadore, et al / 2018		
			Biometalúrgico	Ning , Meng, et al / 2019 Nuñez, Gamiño , et al /2018 Maldonado /2019		
Determinar el ácido orgánico que recupera mayor cantidad de	¿Cuál es el ácido orgánico que se utilizará para la lixiviación de	Ácidos	Inorgánico Orgánico	Chen , Guo, et al / 2018 Fu, He, et al /2019 Rashchi, Vahidi /2017 Musariri, Akdogan, et al /2019	2. Artículos o tesis en el idioma de inglés/ español	1.Artículos o tesis que no se encuentren en

Co, Li, Ni y Mn de las baterías ion-litio	los minerales en las LIBs?			Yu, Zhang, et al / 2019 Li , Chen, et al / 2017 Menga, Liua, et al / 2019 Zhang, Wang, et al /2019	el idioma de inglés/ español
Evaluar las condiciones en la que se presenta mayor lixiviación	¿Cuáles serán las condiciones para restablecer los minerales presentes en las LIBs?	Parámetros	Tipos de ácido, concentración y temperatura	Urias /2017 Yi eat / 2019 Esmaelie / 2020 Guilan, Xiaoyi et al / 2019 Huang et/2019 Porvali et/ 2020 Han / 2018 HO/2019 Quintero, Gamiño et al/2019 Cerrillo, Villen et al /2020	3. Artículos o tesis que incluya el término “baterías ion – litio” “lixiviación” “recuperación” 2.Artículos o tesis que no incluya el término “baterías ion – litio” “lixiviación” “recuperación”

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Los RAEE al contener metales pesados, sustancias peligrosas y los contaminantes orgánicos, pueden generar un riesgo en el ambiente y la salud de las personas (MINAM)

En el reciclaje de los RAEE y en su recuperación, generan a nivel mundial preocupación debido a que emiten tres sustancias de los materiales de origen mineral (Lundgren, 2012, p. 22).

3.4 Participantes

Los participantes es una población finita o infinita dentro de una investigación, para este estudio, los participantes fueron los artículos indizados que se encontraban en las plataformas de búsqueda tales como EBSCO, SCIELO, SCIEDIRECT, REDALIC, DIALNET y REDIB

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas son los procedimientos mediante los cuales se generan información válida y confiable para ser utilizados como datos científicos. Las técnicas de recolección de información científica comprenden los procedimientos para realizar observaciones de la realidad y el análisis documental que es la recopilación de fuentes previas (Yumi y Urbano, 2006, p. 52).

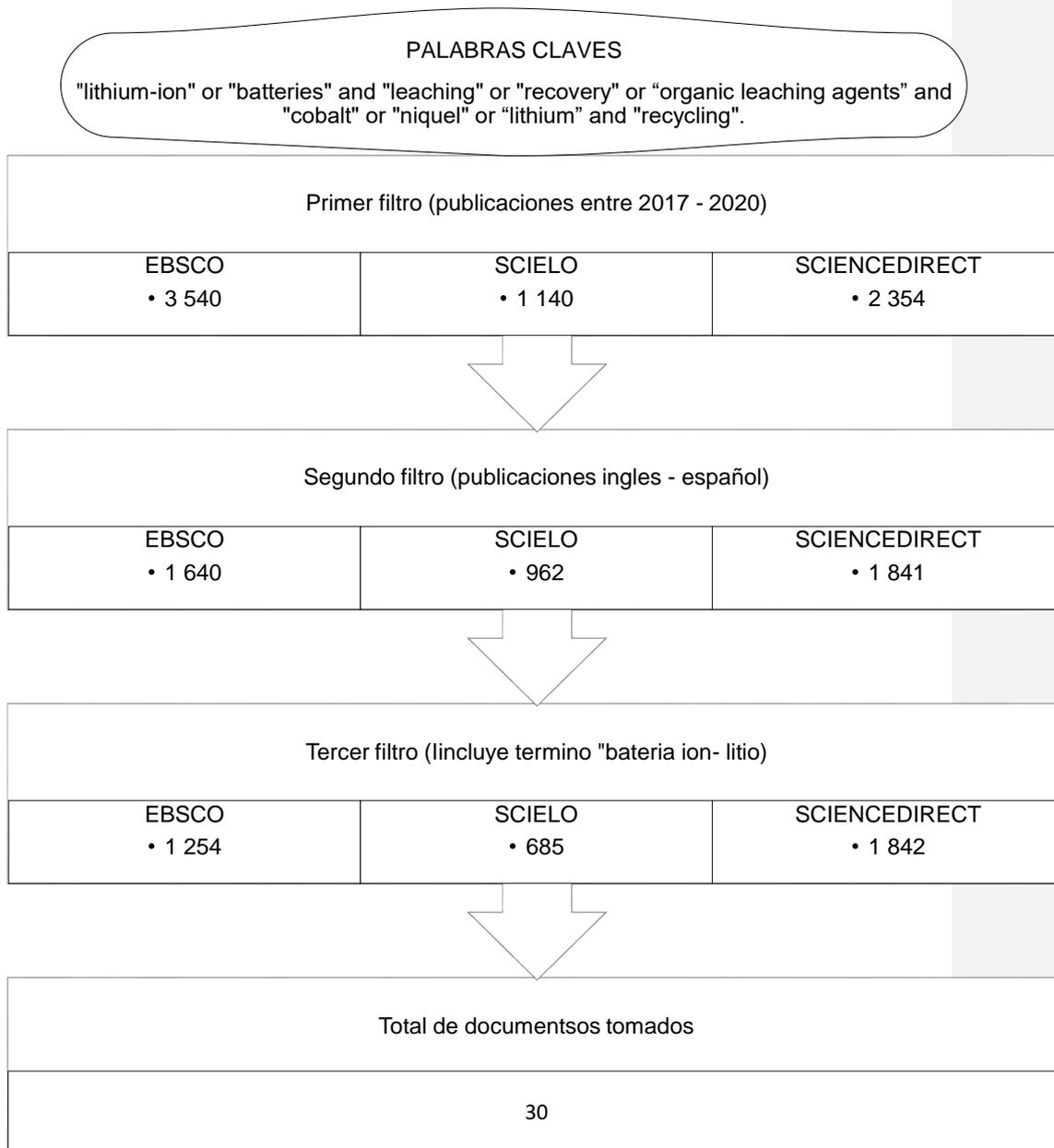
El investigador construye su información con los instrumentos, los cuales pueden ser mecanismos o dispositivos de carácter mecánico, formularios, guía de observación, cámara de video, etc. (Yumi y Urbano, 2006, p. 82). El instrumento con el cual se realizó la recolección se muestra en el ANEXO 1.

3.6 Procedimientos:

De Acuerdo al título de la investigación se determinó palabras claves que fueron indispensables para la búsqueda de información: cellphone "lithium-ion" or "batteries" and "leaching" or "recovery" or "organic leaching agents" and "cobalt" or "niquel" or "lithium" and "recycling". Que se llevara a cabo en 4 etapas ver tabla 5:

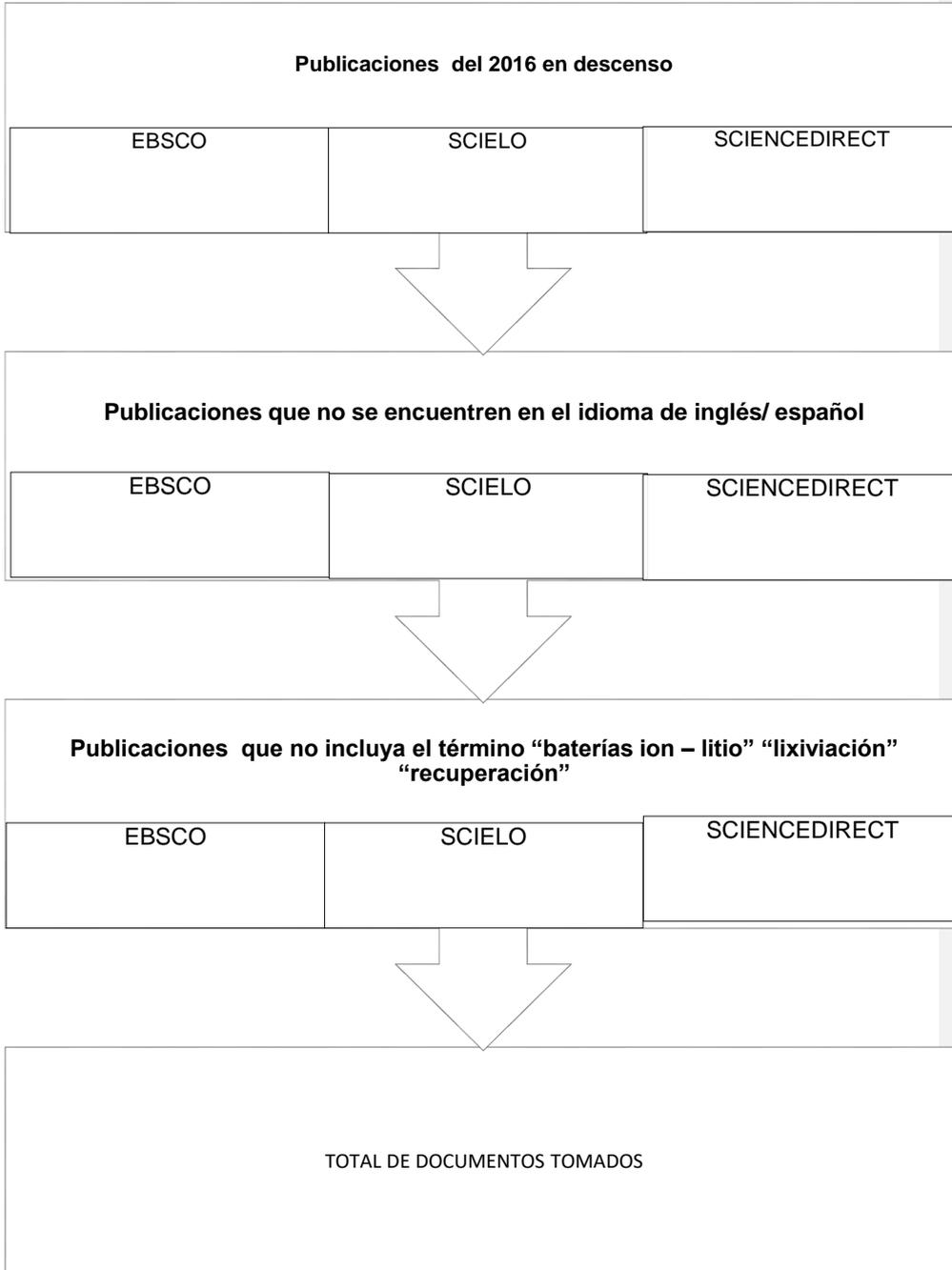
- Búsqueda: Ya teniendo las palabras claves se ingresó a las plataformas EBSCO, Scielo y Sciencedirect.
- Selección: En esta etapa se usó los filtros como, por ejemplo: Artículos de publicados entre los años 2017 y 2020, Artículos en el idioma inglés y español, artículos que incluyan el termino baterías de celulares y artículos que incluyan el termino agentes de lixiviación orgánicos
- Extracción de datos: Se filtró cada uno de los artículos seleccionados, posterior a ello se procedió a revisar y recopilar los datos más resaltantes que fueron de uso indispensable para la investigación, esto se realizó con ayuda de la ficha de recolección de datos.
- Presentación de datos: Para cada artículo se tendrá una ficha donde se especificó los datos importantes como: problema, objetivo, resultados, procedimiento, conclusiones y recomendaciones

Tabla N° 5 *Procedimiento de selección de datos (Inclusión)*



Fuente: Elaboración propia

Tabla N|°6. *Proceso de extracción de datos (EXCLUSION)*



Fuente: Elaboración propia

3.7 Rigor científico

El rigor científico es el ajuste y correlación del documento científico desde el título hasta las conclusiones. Se consideran los conceptos de la relación que representa la relación entre el título y los objetivos; el respaldo a las conclusiones y la respuesta que se obtiene logrando que la conclusión guarde coherencia (Mac, 1979, p. 280)

La credibilidad supone asegurarse que los resultados de la investigación son verdaderos y corresponden con los términos estudiados, la conformidad se alcanza cuando podemos concluir que los resultados no están utilizados o manipulados a conveniencia (Medina, 2005, p. 106)

En esta investigación se asegura la dependencia de la información revisada, la credibilidad de la información cita en el presente informe de investigación, transferencia en cuanto a los resultados obtenidos.

3.8 Método de análisis de datos

Los análisis de datos ocurren en forma cíclica, ya que tras el término de la recolección de datos estos son analizados con las diversas técnicas, como listas libres, las comparaciones paralelas, etc. El proceso del análisis empieza en la compilación selectiva de datos, seguidamente delimitantes para su identificación, clasificación, síntesis y agrupamiento. Por último, los datos son analizados para generar conclusiones las cuales serán verificadas. (Gibbs, 2007, p. 160).

Para el análisis de los datos en esta investigación se recopilaron de distintos artículos, los cuales pasaron por diferentes filtros para la selección, luego se clasificó y agrupó según los datos y resultados de cada investigación revisada.

3.9 Aspectos éticos

Los participantes conocen exactamente lo que sucede durante la investigación y como serán utilizados los datos. Es preciso que se les haga saber antes de que la investigación comience (Gibbs, 2007, p. 165-166)

La Universidad César Vallejo tiene ciertos lineamientos como:

- Citación apropiada en respeto a la autoría
- Cumplimiento de los principios éticos del colegio profesional al que pertenecerán los autores
- Permisos de los representantes legales de las entidades en las que se realizará la investigación para: realizar la investigación y difundir los resultados usando el nombre de la entidad.
- Autorizaciones de los comités de ética: Comité de ética de la institución en la que se realizar la investigación, Comité de ética de la escuela o facultad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla N° 7 **Tipos de baterías ion - litio**

Autores / Año	Tipos de batería		
	Binarias	Terciarias	Mixta
Zheng, Watanabe, et al / 2020	X	X	
Guevara, Vargas/ 2020		X	
Nshizirungu, Agarwal, et al /2020		X	
Barik, Kumar, et al/ 2017		X	
De Oliveira, Cadore, et al / 2018	X		
Ning , Meng, et al / 2019	X		
Nuñez, Gamiño , et al /2018		X	
Maldonado /2019	X		
Chen , Guo, et al / 2018			X
Fu, He, et al /2019	X		
Golmohamma, Rashschi, et al /2017		X	
Musariri, Akdogan, et al /2019		X	
Yu, Zhang, et al / 2019		X	
Li , Chen, et al / 2017	X		
Menga, Liua, et al / 2019			X
Zhang, Wang, et al /2019			X
Urias /2017			
Yi, Zhang, et al / 2019		X	
Esmaeili, Rastegar, et al / 2020	X		
Guilan, Xiaoyi et al / 2019	X		
Huang et/2019			
Porvali et/ 2020			
Han /2018		X	
Rigo, Moura, et al/ 2019	X		

Ho /2018	X
Quintero, Gamiño et al/2019	X
Cerrillo, Villen et al /2020	X

Fuente: Elaboración propia

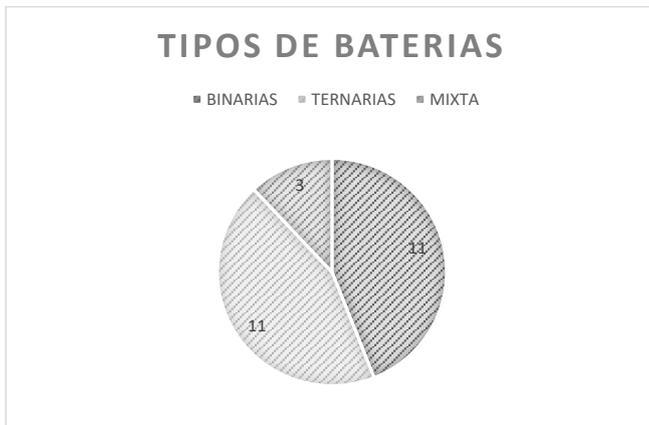


Figura N° 1. Tipos de Batería

Fuente: Elaboración propia

En la tabla nos damos cuenta que los autores trabajaron con ambos tipos de batería ya sea binaria o ternaria. La primera su cátodo está formado por Oxido de Litio de cobalto (LiCoO_2) las cuales se encuentran en celulares, tabletas, permitiendo que la población y muestreo tenga más variedades, aun así, esto dificulta, ya que no todas las marcas ni modelos de estos equipos, tienen el mismo porcentaje de metales en las LIBs binarias. Las baterías ternarias que están formadas por Oxido de níquel, cobalto, manganeso y litio, están presentes en las laptop, motos y autos, lo cual favorece debido que el material catódico se encuentra en mayor proporción que las baterías binarias. Otros autores trabajan mezclando las baterías binarias y ternarias, debido a que pueden analizar todos los metales que se encuentran en las LIBs.

Tabla N° 8 **Métodos de recuperación de metales**

Autores / Año	Métodos de lixiviación																		
	Pirometalurgico						Biometalurgico						Hidrometalurgico						
	Li	Co	Ni	Mn	Cu	Al	Li	Co	Ni	Mn	Cu	Al	Li	Co	Ni	Mn	Cu	Al	
Zheng, Watanabe, et al / 2020													81%	100%	73%				
Guevara, Vargas/ 2020													80.49 %	76.70 %					
Nshizirung u, Agarwal, et al /2020													98.71 %	97.69 %					
Barik, Prabahara n, et al/ 2017		90 %	95 %																
De Oliveira, Cadore, et al / 2018													90.57 %	93.22 %	99.53 %				

Ning , i Meng, et al / 2019					98%	97.60 %	97.80 %
Almanza, Gamiño , et al /2018					3.2gr	5.5gr	
Maldonado /2019	22%	25%	27%	39 %	37 %		
Chen , Guo, et al / 2018					96%	98%	
Fu, He, et al /2019					99%	97%	
Rashchi, Vahidi /2017					92%	81%	
Musariri, Akdogan, et al /2019					97%	95%	99%

Yu, Zhang, et al / 2019	99%	97%					
Li , Chen, et al / 2017	99.10 %	99.80 %	98.70 %	95.20 %			
Menga, Liua, et al / 2019	91%	90.90 %	94.10 %	88.60 %	19.50 %	26.90 %	
Zhang, Wang, et al /2019							
Urias /2017	85.94 %	83.52 %					
Demarco/2 019							
Yi, Zhang, eat / 2019	0.30 %	3.40 %	2.60 %	3.20 %	80.80 %	89.10 %	
Esmaeili, Rastegar, et al / 2020	100%	96%	96%				

Guilan, Xiaoyi et al / 2019										95.50 %			
Huang et al/2019										98.62 %	97.99 %		
Porvali et al/ 2020											95%		
Han Chu/ 2018	100 %	96 %	96 %										
Rigo, Moura, et al/ 2019													
Ho /2018										99.80 %	98.50 %	98.60 %	98.60 %
Quintero, Gamiño et al/2019												93%	
Cerrillo, Villen et al /2020												62% 80%	

Fuente: Elaboración propia

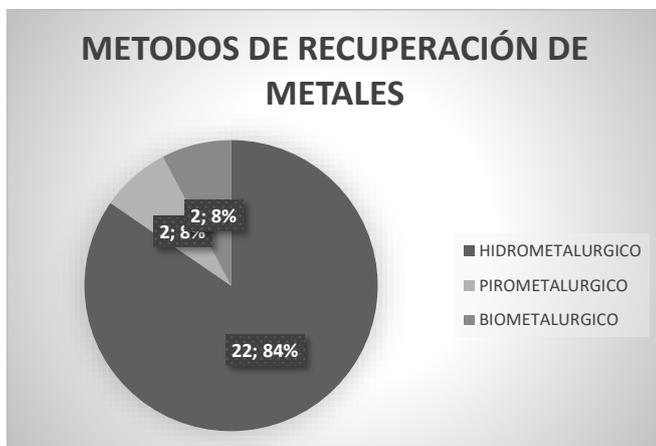


Figura N° 2. Metodologías

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información recopilada, podemos observar que el método hidrometalúrgico, es uno de los más utilizados debido a que este es un proceso con mayor eficiencia en la recuperación de los metales presentes en las baterías de Ion Litio, sin embargo, para que este dé mejores resultados, existen reactivos de extracción selectiva adecuados ya que la eficiencia de extracción de la hidrometalurgia es mayor y más directa. Por lo general, esta metodología no genera muchas emisiones de gases, a diferencia de los otros métodos de recuperación de metales. La pirometalurgia requerirá muchos más procesos y ácidos con mucho mas concentración lo que va conlleva a la generación de GEI y lluvias acidas adicionales (Domic, 2001, p. 80). Es por ello que también, este método no puede lograr ganancias a pequeña escala debido a los altos costos de inversión que requiere cada fundición. Comparando con la hidrometalurgia puede ser diseñado a diferentes escalas (Restrepo et al, 2007, p. 102-104). En el proceso pirometalúrgico, existen problemas en el tratamiento de la escoria y la emisión de gas a la atmósfera (Rosenqvist, 1983, p. 64). Como alternativa ambiental, la biolixiviación se ha vuelto cada vez más popular debido a su proceso simple, bajo costo, alta eficiencia de recuperación y respeto al medio ambiente (Gu et al., 2018, p. 74; Lee y Pandey, 2012, p. 93). La biometalurgia es similar a la hidrometalurgia con la diferencia que los ácidos orgánicos e inorgánicos provienen de microorganismos. Esta producción de ácidos

promueve la lixiviación de los metales bajo un previo pretratamiento de las baterías. El uso de bacterias como *Acidithiobacillus thiooxidans* para la producción de ácido sulfúrico y férrico ha sido utilizado en investigaciones pasadas para un proceso de biolixiviación de las baterías con el fin de extraer los metales (Mishra, Ralph, & Rhee, 2008, p. 333-338)

Tabla N°9. **Metales a recuperar**

Pirometalurgico		Biometalurgico		Hidrometalurgico	
Li	1	Li	3	Li	16
Co	2	Co	3	Co	19
Ni	2	Ni	3	Ni	6
Mn	0	Mn	1	Mn	4
Cu	0	Cu	1	Cu	2
Al	0	Al	1	Al	2

Fuente: Elaboración propia

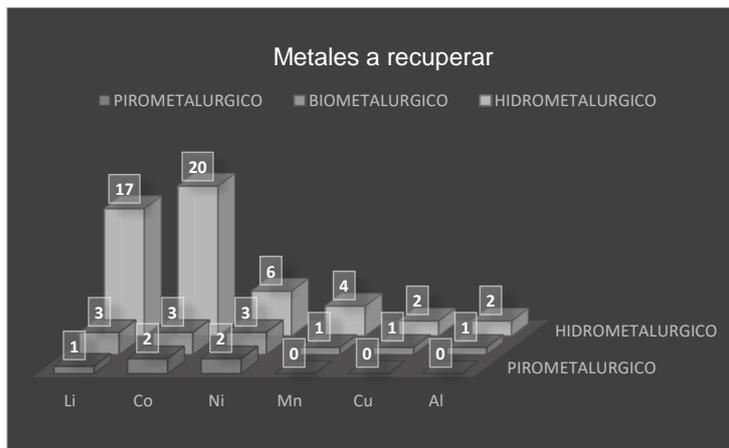


Figura N° 3. **Metales a recuperar**

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 podemos observar que el metal que más lixivia es el Li seguido por el Co y Ni. El cátodo de papel de aluminio recubierto con una capa de óxido metálico contiene Li y Co en grandes cantidades es por ello que son los metales con mayor grado de lixiviación. Los minerales oxidados de cobre pueden disolverse en soluciones de ácido sulfúrico. Una facilidad del uso de la técnica de lixiviación del ácido sulfúrico es la facilidad para recuperar el cobre metálico de la solución (Ferreira et al., 2009, p. 238-246)

Tabla N°10. **Tipos de ácidos**

Autores / Año	Acido												
	Ac. Cítrico	HCL	Ac. Málico	Ac. Fórmico	H2SO4	Ac. Bencenosulfónico	CPV C	Ac. Oxálico	Ac. Acético	Ac. Ascórbico	Ac. Adípico	Ac. Nitrotriacé	
Zheng, Watanabe, et al / 2020	X												
Guevara, Vargas/ 2020	X												
Nshizirungu, Agarwal, et al /2020							X						
Barik, Kumar, et al/ 2017		X											
De Oliveira, Cadore, et al / 2018	X												
Ning , Meng, et al / 2019			X										
Núñez, Gamiño , et al /2018					X								
Maldonado /2019	X												
Chen , Guo, et al / 2018		X											
Fu, He, et al /2019				X		X							
Rashchi, Vahidi /2017	X		X					X	X				
Musariri, Akdogan, et al /2019	X		X										
Yu, Zhang, et al / 2019	X												
Li , Chen, et al / 2017	X												
Menga, Liua, et al / 2019	X												
Zhang, Wang, et al /2019										X	X	X	
Urias /2017	X												

Yi eat / 2019	X		
Esmaelie / 2020	X		
Guilan et / 2019	X		
Huang et/2019	X		
Porvali et/ 2020	X		
Han / 2018	X		X
HO	X		
Quintero, Gamiño et al/2019		X	
Cerrillo, Villen et al /2020	X		

Fuente: Elaboración propia



Ilustración N°3. Tipos de acidos

Fuente: Elaboración propia

En la tabla numero 11 podemos observar que los tipos de ácidos donde el más utilizado es el cítrico, seguido por el fórmico. Al utilizar el ácido cítrico a una concentración de 0,4 M, durante la lixiviación tienen un efecto positivo en la tasa de recuperación de cobre (Chucos et al, 2006, p.146). La alta extracción de Li y Co al realizarse con el uso de los ácidos inorgánicos como el Ac. Clorhídrico, Ac. Sulfúrico y Ac. Nítrico, tiene algunas desventajas notables en comparación con los ácidos orgánicos. Al utilizar los ácidos inorgánicos generan impactos indirectos tales como las aguas residuales que pueden causar problemas a la salud y medio ambiente, sin contar con el alto costo que implica la utilización de estos ácidos como los equipos, además otra desventaja se observa que tiene un bajo valor agregado. Sin embargo, al buscar alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente los ácidos orgánicos serian una gran ventaja, ya que este además ayuda a la recuperación de los metales, sobre todo en el Co, teniendo como una respuesta favorable un mayor valor agregado. (Urbanska, 2020, p. 117) (Nayaca y otros, 2019, p. 109), por otro lado las eficiencias de lixiviación aumentaron constantemente a medida que la temperatura aumentaba de 30 a 70 C, pero el impacto se volvió menos significativo de 70 a 90°C. (Li, et al, 2017, p. 122),

eso quiere decir que uno de los factores que influyen en la lixiviación es la temperatura (Guevara, 2019, p. 104), la velocidad y el grado de lixiviación aumentan a medida que la temperatura se eleva hasta llegar a la óptima, después de que la temperatura aumenta aún, la velocidad de lixiviación no acelera ni aumenta en el grado de lixiviación. (Yuanpeng et al, 2019, p. 88-91). Los artículos que utilizaron ácido cítrico lixiviaron Li, Co y Ni con valores mayores a 80% que llega al 99.10%, 75% que llega al 100% y 70% respectivamente todos ellos emplearon el método Hidrometalúrgico (Qingxin et al, 2020, p. 60-65) a excepción uno que empleo el método Biometalúrgico y obtuvo valores de lixiviación no mayores al 30% (Maldonado, 2019, p. 76). Cuando utilizaron HCL con NaClO (Hipoclorito de sodio), NaCO₃ (Carbonato de Sodio) se utilizó el método Pirometalúrgico donde solo se lixiviaron dos metales: Co y Mn con 90% y 95% respectivamente (Barik et al, 2017, p. 106). El ácido DL-málico y peróxido de hidrógeno utilizados juntos en el proceso Hidrometalúrgico lixivian Li, Co, Ni y Mn con valores de 98%, 97.6%, 97.8% y 97.3% respectivamente (Peichao et al, 2019, p. 100) El ácido DL-málico junto con el Ac. Cítrico y H₂O₂ en un proceso hidrometalúrgico lixiviaron Li, Co y Ni con valores de 97% 95 y 99% respectivamente (Bruce 2019, p. 105). Al emplear DL-málico, cítrico y fórmico juntos logran lixiviar Li, Co y Mn con valores de 90.57%, 93.22% y 99.53% respectivamente. (De Oliveira, 2018, p. 134-135). El CPVC (policloruro de vinilo clorado) en un proceso hidrometalúrgico lixivió Li y Co con valores de 98.7% y 97.6% respectivamente utilizando un proceso hidrometalúrgico (Theoneste Nshizirungu, 2020, p. 86). Se determinó que para obtener mayor porcentaje de lixiviación de Litio se debe emplear el ácido cítrico ya que lixivian un máximo de 99.10%, para el Co se deberá emplear el ácido DL-málico junto con el Ac. Cítrico y peróxido de hidrógeno ya que lixivian un máximo de 97.6%, para el Ni se obtiene mayor lixiviación empleando ácido cítrico y ácido DL-málico, H₂O₂ con un valor máximo de 99%, finalmente el Mn se logra lixiviar al 99.53% empleando DL-málico, cítrico y fórmico juntos.

V. CONCLUSIONES

De los métodos de recuperación de las LIBs es más eficiente y beneficioso el método hidrometalúrgico, ya que su costo de elaboración es factible y no genera grandes impactos ambientales negativos en comparación al método Pirometalúrgico, sin embargo, un método amigable y viable que es el Biometalúrgico, que a diferencia del método hidrometalúrgico, el tiempo de exposición a los ácidos orgánicos es mayor.

Los métodos de lixiviación ácida, con ácidos orgánicos, tienen mayor rendimiento en la recuperación de metales sobre todo de Li y Co presentes en las baterías de ion litio, a diferencia de los ácidos inorgánicos. De estos determinamos que el ácido cítrico al entrar en contacto con el cátodo de las LIBs es un gran potencial ya que recupera hasta el 100% de los metales presentes en las LIBs, también este reduce los impactos negativos ambientales.

De acuerdo a la síntesis de la información los parámetros más influyentes es la temperatura, siendo la óptima entre los 30 – 70 °C, ya que si este parámetro tenía una variación aumentando su temperatura hasta los 100 °C esta se veía afectada debido a que su punto máximo ya fue alcanzado y decaería el proceso de lixiviación. Otro era la relación de la cantidad de ácido al cual sería expuesto el material catódico, siendo muy alta la concentración puede perjudicar de manera significativa los resultados, más aún si se trata de a recuperación del cobalto.

VI. RECOMENDACIONES

- Para que al recuperar los metales lleguen a su estado puro, se puede continuar con la investigación de la purificación de los metales una vez se ha realizado la recuperación profunda y su valorización de estos.
- Investigar el tratamiento que se le daría a cada uno de los metales lixiviados.
- En que procesos pueden ser reinsertados los metales lixiviados y de qué manera poder incluirlos.

REFERENCIAS

- ADSORPTION of Heavy Metals: A Review. Lakherwal, Dimple. 2014. 1, India: International Journal of Environmental Research and Development, 2014, Vol. 4, 41 – 48 pp. 2249-3131.
- ARIZA, Margarita Ballén. Abordaje hermenéutico de la investigación cualitativa. Teorías, procesos, técnicas. U. Cooperativa de Colombia, 2007. 65 pp.
- ASTUTI, W, HIRAJIMA, T, SASAKI, K Y OKIBE, N. Comparación de la efectividad del ácido cítrico y otros ácidos en la lixiviación de minerales saprolíticos indonesios de bajo grado. Ingeniería de minerales, 2016. 1-16 pp. doi: 10.1016 / j.mineng.2015.10.001.
- BALDÉ, C.P, WANG, F, KUEHR, R, HUISMAN, J. The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany, 2014. 24-26 pp.
- BETANCUR Pulgarín, Juan. Recuperación de cobalto y litio de baterías ion-litio por métodos no convencionales. 2016 Tesis (Doctoral). Departamento de Materiales y Minerales, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia: Repositorio Universidad Nacional de Colombia, 2016. 117 pp.
- BISQUERRA, Alzima. Metodología de la investigación educativa 2da edición, 2009. 123 pp.
- CÁCERES, Diego y GÓMEZ, Juan. Financiación global de proyectos. Project finance. ESIC Editorial, 2001. 87 pp.
- CERRILLO, M, et al. Recuperación de Li y Co a partir de LiCoO₂ mediante tratamiento hidrometalúrgico-electrodialítico. Ciencias Aplicadas, 2020, vol. 10, no 7, 2367 pp.
- SUSTAINABLE Recovery of Metals from Spent Lithium-Ion Batteries: A Green Process. ACS Sustainable Chemistry & Engineering por Chen Xiangping [et al.] 2015, 3104–3113 pp.
- CHINYAMA, Gabriel. Recovery of Lithium from Spent Lithium Ion Batteries. Lulea University of Technology, 2016. 1-119 pp.

- ADVANCE review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium por Choubey, Pankaj [et al] part I: From mineral and brine resources. Miner. 90 pp.
- A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries. Engineering por Zheng Xiaohong [et al.], 2018. 361–370.pp <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05>.
- CHUCOS, Roy y Espinoza, Yoni. Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la recuperación de cobre mediante lixiviación por agitación de minerales oxidados de tipo cuprita. 2006. 456 pp.
- DEVI, Sethu y LALITHAMBIGAI, Priya PG. Study on the toxicokinetics of Ni(II) on *Artemia franciscana*. Desalin. Water Treat, 2016. 123 pp 57:10723-10729
- DOMIC E. Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones. 2001. 46 pp. ISBN 956-291- 083-0
- ELECTRODEPOSITION of cobalt from spent Li-ion battery cathodes by the electrochemistry quartz crystal microbalance technique por GARCIA, J. [et al]. Power Sources, vol. 185, no. 1, 2008. 549–553 pp.
- PSO–ANN-based prediction of cobalt leaching rate from waste lithium-ion batteries por EBRAHIZADE, Hossein [et al.].Japan: Springer Japan KK, 2019. 228–239 pp.
- A sustainable process for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries por Fan B [et al.]. Waste Manage. Res, 2016.34474-481.
- HYDROMETALLURGICAL separation of aluminium, cobalt, copper and lithium from spent Li-ion batteries por Ferreira [et al]. J. Power Sources ,2019. 238–246 pp.
- FRACATI Manual 2015. Guidelines for collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, 53 pp.
- AN investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China por Fu Gu [et al]. Journal of Cleaner Production.2017, pp 102.

- LITHIUM carbonate recovery from cathode scrap of spent lithium- ion battery: a closed-loop process por Gao [et al.]. Environ. Sci. Technol, 2017,1662–1669 pp.
- GIBBS, Graham. El análisis de datos en investigación cualitativa. Ediciones Morata, 2012. 34 – 40 pp.
- GOLMOHAMMADZADEH, Rabeeh, RASHCHI, Fereshteh and VAHIDI, Ehsan. Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: Process optimization and kinetic aspects. Tehran, Iran: s.n., 2017. 244-254 pp. 0956-053X.
- GUEVARA, Andrés y VARGAS, Stefany. Evaluación del proceso de recuperación de litio y cobalto presentes en baterías gastadas de ion-li de vehículos eléctricos e híbridos por medio de un proceso de lixiviación ácida. Tesis Pre grado. Ingeniería Química, Universidad de America. Bogotá : Fundación Universidad de América, 2019. 126 pp.
- HAN, Bella. Microwave-Assisted Leaching of Valuable Metals from Spent Li-ion Batteries. Tesis (Magister). CHEMICAL ENGINEERING, National Taiwan University of Science and Technnology. Taiwan: Repository (NTUSTR), 2018. 112 pp.
- HO, Hsing . Recovery of Valuable Metals from Lithium-ion Batteries Waste NMC Cathode Materials. [Tesis Magister]. Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University. China: NCKU Institutional Repository, 2018. 109 pp. 20754701.
- JIMÉNEZ R. Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica. Editorial Ciencias Médicas, La Habana, 1998. 233 pp.
- RECENT progress in carbon/lithium metal composite anode for safe lithium metal batteriespor Li [et al], 2018. 32 pp. 37:449-458.
- SUSTAINABLE recovery of cathode materials from spent lithium-ion batteries using lactic acid leaching system por Li [et al.], 2017. 224–233 pp.
- MACLEAN, Alejandro. Comunicación escrita. IICA, San José (Costa Rica), 1975. 879 pp.

- ISOTHERM and computational fluid dynamics analysis of nickel ion adsorption from aqueous solution using activated carbon por Maddodi Saeed [et al] Bagdad, Iraq: South African Journal of Chemical Engineering, 2020. 5-12 pp. 6721-6739.
- MALDONADO, Nicolás. Recuperación “verde” de metales de baterías de ionlitio utilizando cáscara de naranja. (Tesis Pre Grado). Colegio de Ciencias e Ingenierías, universidad san francisco de quito USFQ. Ecuador - Quito: Quito, 2019. 64 pp.
- MARTÍNEZ, M. Los grupos focales de discusión como método de investigación. 2004, 59-72 pp.
- RESIDUOS de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): flujos, cantidades y gestión: un escenario global. Gestión electrónica de residuos y tecnología de tratamiento por Mihai [et al.]. 2019. 1-34 pp. doi: 10.1016 / b978-0-12-816190-6.00001-7
- MIHAI, Florin. One global map but different worlds: worldwide survey of human access to basic utilities. Human Ecology an Interdisciplinary Journal, 2017. pp 46.
- MINAM. 2019. Ministerio del Ambiente promueve la valorización de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. [Online] Ministerio del Ambiente MINAM, Abril 4, 2019. [Cited: Abril 17, 2020.] <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/27210-ministerio-del-ambiente-promueve-la-valorizacion-de-los-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos>.
- MISHRA, D., Kim, D.-J., Ralph, D. E., Ahn, J.-G., & Rhee, Y.-H. (2008). Bioleaching of metals from spent lithium ion secondary batteries using *Acidithiobacillus ferrooxidans*. 63 Waste Management, 28(2), 333–338.
- MOYA, José Luis Medina. Deseo de cuidar y voluntad de poder. La enseñanza de la enfermería. Edicions Universitat Barcelona, 2006.
- MURILLO, W. (2008). La investigación científica. Consultado el 18 de abril de 2008 de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/investcientifica.shtml>
- EVALUACIÓN de ácidos orgánicos como reactivos de lixiviación alternativos para la recuperación de metales de baterías de iones de litio

- por Musaruru [et al.]. Ingeniería de minerales, 137, 108-117. doi: 10.1016 / j.mineng.2019.03.027
- NATARAJAN, Subramanian, BORICHA, A and BAJAJ, Hari. 2018. Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries. India : s.n., 2018. p. 12.
 - NAYAKA, Gp. Un intento respetuoso con el medio ambiente de reciclar el cátodo de la batería de iones de litio gastada mediante la lixiviación de ácidos orgánicos. Revista de Ingeniería Química Ambiental, 2019. 1028 pp.
 - NICKEL in the environment. Harasim, Pawel and Filipek, Tadeusz. 2, Polonia: Journal of Elementology, 2015, Vol. 20, 525-534 pp.
 - OEFA, 2014-2015. Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de Gestión Municipal Provincial. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 135 pp.
 - OEFA. 2014. La Fiscalización ambiental en Residuos Sólidos. [Online] 1, Febrero 2014. [Cited: Abril 17, 2020.] https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471.
 - ONU Noticias México; Crecen los residuos electrónicos: qué hacer con los aparatos que ya no funcionan [Consultado el 02 de julio]
 - QUIBING, Song y JINHUI, Li. Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: a systematic review. Waste Manag, 2018. 2587–2594 pp.
 - RECUPERACIÓN de metales valiosos a partir de materiales de cátodo de $\text{LiNi}_0.5\text{Co}_0.2\text{Mn}_0.3\text{O}_2$ de baterías de iones de litio usadas utilizando ácido mixto suave como material de partida por Zhuang, L [et al.], 2019 85 pp. 175-185. doi: 10.1016.
 - RECUPERACIÓN de cobalto de baterías de teléfonos móviles de iones de litio gastadas mediante extracción líquido-líquido. Baterías por Quintero Dniel [et al.]. 2019, vol. 5, no 2, 44 pp.
 - SALEH TA. Mercury sorption by silica/carbon nanotubes and silica/activated carbon: A comparison study. J. Water Supply Res. T 2015;64:892-903.

- SATTAR, Rabia, ILYAS, Sadia y KOUSAR, Sidra. Recycling of end-of-life LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ batteries for rare metals recovery. Departamento de Química. Universidad de Agricultura Faisalabad. Pakistán: Environmental Engineering Research, 2019. 88 – 95 pp, Artículo de investigación. 1226-1025.
- SE Ho. A Study on the Recovery of Li₂CO₃, Ni and Co from Cathode Active Material NCA (LiNiCoAlO₂) of Spent Lithium Ion Battery. Metal Engineering, Pukyong National University. South Korea: KERIS Theses & Dissertations, 2019. 109 pp, Tesis maestría. 4690995.
- SOTO, Carlos y Rincón, Julián. Presupuestos: Bajo normas internacionales de información financiera y taxonomía XBRL. Ediciones de la U, 2017. 120 pp.
- TALENS, Laura; VILLALBA, Gara y AYRES, Robert. Lithium: Sources, production, uses, and recovery outlook. En: Jom. vol. 65, no. 8, 2013. 986-996 pp.
- THE Editors of Encyclopædia Britannica, "Cobalt (Co) Chemical element," Encyclopædia Britannica, 2015. [Online]. Available: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/123235/cobalt-Co>
- U. S. Geological Survey & Orienteering. 2020. Mineral Commodity Summaries. [Online] January 31, 2020. [Cited: Abril 17,2020] <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>
- U.S. Geological Survey, 2019. Mineral Commodity Summaries 2019
- URBAŃSKA, W. Recuperación de Co, Li y Ni de baterías de iones de litio gastadas mediante el método de lixiviación asistida por reductores inorgánicos y / u orgánicos. Minerales 2020, 89 pp.
- USGS, 2017. 2014 minerals yearbook manganese. United States geological Survey
- USGS. (2018). mcs-2018-cobal.pdf. USGS.
- YOSHIO, Masaki; BRODD, Ralph y KOZAWA, Akiya. Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies. Springer New York, 2010. 97 pp.
- YUNI, José y URBANO, Claudio. Técnicas para investigar: recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación. Editorial Brujas, 2006. 75 pp.

VII. ANEXOS



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

RECUPERACIÓN DE METALES ADQUIRIDOS DE LAS BATERÍAS ION – LITIO EMPLEANDO PROCESOS DE LIXIVIACIÓN ECOLÓGICOS

AUTOR(ES):

Alvarado Castillo, Ingrid Alessandra
Jáuregui Silvestre, Florcita del Pilar

Referencia	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas estadísticas	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
1										
2										
N										

ANEXO 1 FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

ARTICULO / TESIS	TITULO	AUTOR	AÑO	ANODO / CATODO	BATERIA	ACIDO	METODO	TRATAMIENTO	Li	Co	Ni	Mn	Cu	Al																
ARTICULO	Hydrothermal Leaching of Ternary and Binary Lithium-ion Battery Cathode Materials with Citric Acid and the Kinetic Study	Qingxin Zheng, Masaru Watanabe, Yuta Iwatate, Daiki Azuma, Kensuke Shibasaki, Yuya Hiraga, Atsushi Kishita, Yuta Nakayasu	2020	CATODO	MIXTA BINARIA / TERNARIA	ACIDO CITRICO H3 Cit	HIDROMETALURGICO	<table border="1"> <tr><td>TERCIARIA</td><td>T° 60 - 90</td></tr> <tr><td></td><td>RPM 300</td></tr> <tr><td></td><td>t 1 - 20 MIN</td></tr> <tr><td></td><td>5ml H3Cit (0.4 mol/L)</td></tr> <tr><td>BINARIA</td><td>T° 90 - 120</td></tr> <tr><td></td><td>RPM 300</td></tr> <tr><td></td><td>t 1 - 20 MIN</td></tr> <tr><td></td><td>5ml H3Cit (0.4 mol/L)</td></tr> </table>	TERCIARIA	T° 60 - 90		RPM 300		t 1 - 20 MIN		5ml H3Cit (0.4 mol/L)	BINARIA	T° 90 - 120		RPM 300		t 1 - 20 MIN		5ml H3Cit (0.4 mol/L)	81%	100%	73%	-	-	-
TERCIARIA	T° 60 - 90																													
	RPM 300																													
	t 1 - 20 MIN																													
	5ml H3Cit (0.4 mol/L)																													
BINARIA	T° 90 - 120																													
	RPM 300																													
	t 1 - 20 MIN																													
	5ml H3Cit (0.4 mol/L)																													
TESIS	EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE LITIO Y COBALTO PRESENTES EN BATERÍAS GASTADAS DE ION-LI DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS POR MEDIO DE UN PROCESO DE LIXIVIACIÓN ÁCIDA	ANDRÉS MAURICIO GUEVARA CORONADO STEFANNY VARGAS PÉREZ	2019	CATODO	TERNARIA (VEHICULO)	ácido cítrico (C6H8O7) y peróxido de hidrogeno (H2O2) como reactivos	HIDROMETALURGICO	<table border="1"> <tr><td>TERNARIA</td><td>t 120 minutos</td></tr> <tr><td></td><td>ácido cítrico 2M</td></tr> <tr><td></td><td>T° 80</td></tr> </table>	TERNARIA	t 120 minutos		ácido cítrico 2M		T° 80	80.49%	76.70%	-	-	-											
TERNARIA	t 120 minutos																													
	ácido cítrico 2M																													
	T° 80																													
ARTICULO	Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) assisted leaching of lithium and cobalt from spent lithium-ion battery in subcritical water	Theoneste Nshizirungu, Ashutosh Agarwal, Young Tae Jo, Masud Rana, Dong Shin, Jeong-Hun Park	2020	CATODO	BINARIA (CELULAR)	CPVC	HIDROMETALURGICO	<table border="1"> <tr><td>TERNARIA</td><td>T° 250</td></tr> <tr><td></td><td>60 min</td></tr> <tr><td></td><td>m:l 1:3</td></tr> </table>	TERNARIA	T° 250		60 min		m:l 1:3	98.71%	97.69%	-	-	-											
TERNARIA	T° 250																													
	60 min																													
	m:l 1:3																													
ARTICULO	Leaching and separation of Co and Mn from electrode materials of spent lithium-ion batteries using hydrochloric acid: Laboratory and pilot scale study	S.P. Barik, G. Prabaharan, L. Kumar	2017	CATODO	TERNARIA	HCl, NaClO, NaCO3	PIROMETALURGICO	<table border="1"> <tr><td>TERNARIA</td><td>T° 50</td></tr> <tr><td></td><td>t 120 - 180 min</td></tr> <tr><td></td><td>pH 1.25</td></tr> <tr><td></td><td>RPM 400</td></tr> <tr><td></td><td>lit. g. 100</td></tr> <tr><td></td><td>Agua regia 1L</td></tr> <tr><td></td><td>HCl 36%</td></tr> <tr><td></td><td>NaCl 12.5%</td></tr> </table>	TERNARIA	T° 50		t 120 - 180 min		pH 1.25		RPM 400		lit. g. 100		Agua regia 1L		HCl 36%		NaCl 12.5%		90%		95%	-	
TERNARIA	T° 50																													
	t 120 - 180 min																													
	pH 1.25																													
	RPM 400																													
	lit. g. 100																													
	Agua regia 1L																													
	HCl 36%																													
	NaCl 12.5%																													

ANEXO 2 TABLA RESUMEN DE LOS 30 ARTICULOS SELECCIONADOS

ARTICULO	Recovery of metals from spent lithium-ion batteries using organic acids	Jessica de Oliveira Demarco, Jéssica Stefanello Cadore, Francisca da Silveira de Oliveira, Eduardo Hirotsugu Tanabe, Daniel Assumpção Bertoni	2018	CATODO	BINARIA (Batería de celulares)	Acido málico, cítrico y fórmico	HIDROMETALURGICO	BINARIA	t 60 min	90.57%	93.22%		99.53%			
ARTICULO	Recycling of cathode material from spent lithium ion batteries using an ultrasound-assisted DL-malic acid leaching system	Peichao Ning, Qi Meng, Peng DONG, Jangoo Duan, Mingli Xu, Yan Lin, Yingjie Zhang	2019	CATODO	BINARIA (Batería de celulares)	ácido DL-málico y peróxido de hidrógeno	HIDROMETALURGICO	BINARIA	T=80 5/L 5g/L 40 min H2O2 4% AC Málico 1M	98%	97.60%	97.80%	97.30%			
ARTICULO	RECUPERACIÓN DE METALES A PARTIR DE BATERÍAS DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS	Núñez Almanza, José Luis, Gamiño Arroyo, Zefrenio, Rubio Campos, Beatriz Eugeni	2018	CATODO	TERNARIAS (Com'putadoras)	ácido sulfúrico (H2SO4), hidróxido de sodio (NaOH) y ácido sulfúrico	HIDROMETALURGICO	TERNARIA	3.2 g	5.5 g			0.1			
TESIS	Recuperación "verde" de metales de baterías de ionlitio utilizando cáscara de naranja	Nicolás Maldonado Velázquez	2019	Anodo/Catodo	BINARIAS (Baterías de celular (iPhone 6))	cáscara de naranja, peróxido de hidrógeno al 5%, ácido cítrico	BIOMETALURGICO	BINARIA	1 g de cáscara de naranja, peróxido de hidrógeno al 15%, 50 g de material activo a una temperatura de reacción de 70°C durante 3 horas.	32%	35%	27%	39%	37%		
ARTICULO	Organic reductants based leaching: a sustainable process for the recovery of valuable metals from spent lithium ion batteries	Jiangping Chen, Chunshu Guo, Hongrui Ma, Jiahu Li, Tao Zhou, Ling Cao, Duozhi Kang	2018	Catodo	MIXTA	ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno	HIDROMETALURGICO	MIXTA	temperatura de reacción 95 °C, tiempo de reacción 120 min	96%	98%					
ARTICULO	Effective leaching and extraction of valuable metals from electrode material of spent lithium-ion batteries using mixed organic acids leachin	Yuanpeng Fu, Yaqun He, Hengchao Chen, Cuiying Ye, Qichang Lu, Rongnian Li	2019	CATODO	BIANRIA (Celular samsung)	ácido benzenosulfónico y ácido fórmico como reactivos de lixiviación.	HIDROMETALURGICO	BINARIA	ácido benzenosulfónico de 1.5 mol / L, ácido fórmico de 4.5 mol / L, una relación de sólido a líquido (S / L) de 30 g / L y tiempo de reacción de 40 min a 50 ° C	99%	97%					
ARTICULO	Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: Process optimization and kinetic analysis	Rabeeh Golmohammadzadeh, Ferehshah Baidchi, Ehsan Vahidi	2017		TERNARIA (Laptops)	ácido cítrico, ácido DL-málico, ácido oxálico y ácido acético	HIDROMETALURGICO	TERNARIA	T = 60 C 5 / L, 30 g L ⁻¹ concentración de ácido cítrico: 2 M	92%	81%					
ARTICULO	Evaluating organic acids as alternative leaching reagents for metal recovery from lithium ion batteries	Bruce Musarrif, Guven Akdogan, Christie Dording, Steven Bradshaw	2019		TERNARIA (Laptops)	ácido cítrico y ácido DL-málico, H2O2	HIDROMETALURGICO	TERNARIA	t 30 min ácido cítrico se obtuvo en soluciones de ácido 1,5 M	97%	95%	99%				
ARTICULO	A more simple and efficient process for recovery of cobalt and lithium from spent lithium-ion batteries with citric acid	Min Yu, Zehui Zhang, Feng Xue, Bin Yang, Guanghui Guo, Janghua Qiu	2019	Catodo	TERNARIA (Vehículo)	ácido cítrico, H2O2	HIDROMETALURGICO	TERNARIA	ácido cítrico 4.0 M, peróxido de hidrógeno al 8% (V peróxido de hidrógeno / V ácido cítrico), temperatura de reacción de 70 ° C, tiempo de lixiviación de 20 min y proporción de sólido a líquido de 30 g / L	99%	97%					
ARTICULO	Process for recycling mixed-cathode materials from spent lithium-ion batteries and kinetics of leaching	Li Li, Yifan Bian, Xiaoxiao Zhang, Huihao Guo, Sicha Fan, Fang Wu, Renjie Chen	2017	Catodo	BINARIA	ácido cítrico (C6H8O7) y peróxido de hidrógeno	HIDROMETALURGICO	BINARIA	temperatura de lixiviación de 90 °C, una concentración de H2O2 de 4.2% con un tiempo de lixiviación de 60 min	99.10%	99.80%	98.70%	95.20%			
ARTICULO	Selective recovery of valuable metals from industrial waste lithium ion batteries using citric acid under reductive conditions: Leaching optimization and kinetic analysis	Fei Meng, Qingcai Liu, Bing Kim, Jingku Wang, Jisu Liub, Ahmad Shahremanb	2019	Catodos	MIXTA	ácido cítrico	HIDROMETALURGICO	MIXTA	0,5 mol / L de ácido cítrico, relación S / L de 80g / L a 90 °C durante 80 min	91%	90.90%	94.10%	88.60%	19.50%	26.90%	
ARTICULO	An environmental friendly attempt to recycle spent Li-ion battery cathode through organic acid leaching	S. P. Nayak, Yingjie Zhang, Peng Dong, Ding Wang, Zhongren Zhou, Jangoo Duan, Xue Li, Yan Lin, Qi Peng, K.V. Pal, J. Manjanna, G. Santhosh	2019	Catodo	MIXTA	ácido oxibutírico, ácido adipico y ácido ascórbico	HIDROMETALURGICO	MIXTA	A-A	98%	75%					

ANEXO 3 CONTINUACION DEL ANEXO 4