



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Revisión sistemática y meta-análisis sobre las actuales técnicas de
recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos
eléctricos y electrónicos

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth (orcid.org/0000-0003-0827-1342)

ASESOR:

Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo (orcid.org/0000-0003-2526-112X)

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

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes son las personas que me han apoyado incondicionalmente para lograr mis metas profesionales.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por guiar mi camino para completar esta etapa de mi vida, al asesor por haberme guiado en la realización de este trabajo, así como también a la universidad por brindarme una formación profesional adecuada.

Declaratoria de Autenticidad del Asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, VALVERDE FLORES JHONNY WILFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Revisión sistemática y meta-análisis sobre las actuales técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos", cuyo autor es GUTIERREZ RAMOS KAREN LIZBETH, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 13 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VALVERDE FLORES JHONNY WILFREDO DNI: 18120253 ORCID: 0000-0003-2526-112X	Firmado electrónicamente por: VALVERDE el 27-07- 2022 15:29:49

Código documento Trilce: TRI - 0341855

Declaratoria de Originalidad del Autor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, GUTIERREZ RAMOS KAREN LIZBETH estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Revisión sistemática y meta-análisis sobre las actuales técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
KAREN LIZBETH GUTIERREZ RAMOS DNI: 73030870 ORCID: 0000-0003-0827-1342	Firmado electrónicamente por: KGUTIERREZRA el 13- 07-2022 17:50:30

Código documento Trilce: TRI - 0341852

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variables y operacionalización	14
3.3. Población, muestra y muestreo	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.5. Procedimientos	18
3.6. Métodos de análisis de datos.....	22
3.7. Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS.....	23
V. DISCUSIÓN.....	41
VI. CONCLUSIONES	43
VII. RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS	46
ANEXOS.....	58

Índice de tablas

Tabla 1: Principales agentes lixiviantes.....	11
Tabla 2: Cantidad de artículos en páginas webs	16
Tabla 3: Validación de expertos	17
Tabla 4: Tratamientos realizados a los RAEE para la recuperación de metales	28
Tabla 5: Compuestos químicos y parámetros empleados en la técnica de lixiviación de recuperación de metales a partir de los RAEE	30
Tabla 6: Procedimientos que emplean las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE	35

Índice de figuras

Figura 1: Composición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.....	6
Figura 2: Composición de metales en una pantalla de televisor.....	7
Figura 3: Composición de metales en un monitor de computadora.....	7
Figura 4: Composición de metales en un celular.....	8
Figura 5: Composición de metales en una calculadora.....	8
Figura 6: Proceso de recuperación de metales de los RAEE utilizando la técnica hidrometalurgia.....	10
Figura 7: Proceso de recuperación de metales de los RAEE utilizando la técnica de pirolisis.....	12
Figura 8: Bacterias utilizadas en la biolixiviación.....	13
Figura 9: Flujograma de procedimientos.....	19
Figura 10: Selección de artículos mediante la escala de Newcastle – Ottawa modificada.....	24
Figura 11: Recuperación de un solo metal mediante las técnicas a partir de los RAEE.....	26
Figura 12: Recuperación de dos a más metales mediante las técnicas a partir de los RAEE.....	27
Figura 13: Forest Plot.....	38

Resumen

El problema en esta investigación es ¿Cuál es la técnica más eficiente para la extracción de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos empleando la revisión sistemática de artículos y meta-análisis?, para el cual se planteó el objetivo de determinar la técnica más eficiente en la recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis. Siendo el diseño de investigación no experimental descriptivo, en la que se recolecto información de artículos de investigación publicados en páginas web de gran impacto internacional (Scopus y ScienceDirect) las que brindaron información sobre las técnicas para la recuperación de metales a partir de los RAEE. La revisión sistemática y meta-análisis consto de cuatro etapas: búsqueda de información, selección de artículos científicos, extracción de los datos para completar las fichas de análisis y análisis de los artículos de revisión. Obteniendo como resultado, que el método hidrometalurgia y biohidrometalurgia son las técnicas más eficientes en la recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Palabras Clave: Revisión sistemática y meta-análisis, técnicas de recuperación de metales, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Abstract

The problem in this research is: What is the most efficient technique for the extraction of metals from waste electrical and electronic equipment using the systematic review of articles and meta-analysis, for which the objective was to determine the most efficient technique for the recovery of metals from waste electrical and electronic equipment according to the systematic review and meta-analysis. The non-experimental descriptive research design, in which information was collected from research articles published in international high impact web pages (Scopus and ScienceDirect) which provided information on the techniques for the recovery of metals from WEEE. The systematic review and meta-analysis consisted of four stages: information search, selection of scientific articles, data extraction to complete the analysis sheets and analysis of the review articles. As a result, the hydrometallurgical and biohydrometallurgical methods were found to be the most efficient techniques for the recovery of metals from waste electrical and electronic equipment.

Keywords: Systematic review and meta-analysis, metal recovery techniques, waste electrical and electronic equipment (WEEE).

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los aparatos eléctricos y electrónicos son necesarios para la sociedad ya que estos dispositivos son los que facilitan y mejoran la vida de las personas, más aún frente a la crisis sanitaria que venimos atravesando por el Covid 19. Gracias a estos aparatos pudimos realizar nuestras actividades desde casa (trabajo, negocio, estudios, etc). Sin embargo, estos dispositivos tienen un tiempo corto de duración o simplemente son reemplazados por nuevas tecnologías más recientes, por consiguiente, pasan a ser residuos que muchas veces son tirados, quemados o llegan a parar a lugares inadecuados donde no se realiza ningún tratamiento.

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) son aquellos equipos que permiten tener un mejor nivel de vida y satisfacen las necesidades de las personas, sin embargo, estos al ser desechados pasan a ser residuos que ponen en riesgo la salud de las personas y el medio ambiente ya que contienen sustancias nocivas (Wagner et al, 2021). Los RAEE contienen metales pesados que producen daños en las personas, como el mercurio que ocasiona daños en el sistema nervioso y los riñones; el plomo que causa daños cognitivos, afecta el sistema nervioso, reproductivo y circulatorio, al estar expuestos de forma continua a este elemento químico ocasiona anemia, saturnismo y disminución de plaquetas; el cadmio que afecta al cerebro, hígado, riñones, huesos y médula ósea (González, 2012, p.23). En el ambiente los RAEE genera impactos negativos en el aire, agua y suelo; como por ejemplo una micro pila de mercurio puede contaminar hasta 600.000 L de agua, mientras una de zinc- aire llega a contaminar 12.000 L de agua, en caso de una micro pila de óxido de plata contamina 14.000 L de agua y la pila común puede llegar a contaminar 3.000 litros de agua (Fernández ,2013, p.37).

En su estructura se pueden encontrar hasta 69 elementos de la tabla periódica, dentro de ello se hallan metales preciosos como el cobre, iridio, oro, osmio, paladio, platino y plata; así mismo se encuentran las materias primas como el antimonio, bismuto, cobalto, germanio, indio y paladio; y finalmente

se encuentran los metales no críticos como el aluminio y el hierro (Forti et al, 2020, p.58).

En el año 2019 la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en nuestro planeta fue alrededor de las 53,6 toneladas métricas; se estima que al año 2030 la producción de estos residuos será 74,7 toneladas métricas (Forti et al, 2020, p.14).

La mayor generación de RAEE en todo el globo terráqueo es producida por Asia con 18.2 millones de toneladas métricas, luego sigue Europa con 12.3 millones de toneladas métricas, posterior a ello esta América con 11.3 millones de toneladas métricas, seguido a eso viene África con 2.2 millones de toneladas métricas y por último se tiene a Oceanía con 0.7 millones de toneladas métricas (Baldé et al, 2017).

Hoy en día la generación de los RAEE es cada vez mayor y el principal problema es la mala gestión de estos residuos, el tratamiento inadecuado que se realizan a estos, la exportación ilegal de estos residuos de países desarrollados a países que están en desarrollo originando así daños en la salud humana y generando una contaminación toxica al ambiente (Pascuas et al, 2018). En el mundo solo el 17,4 % de los RAEE son recolectados y reciclados de forma adecuada, mientras que 82,6% de estos residuos son almacenados en vertederos, incinerados o simplemente son reutilizados y reparados para luego ser enviados de países desarrollados a países que están en vías de desarrollo (Forti et al, 2020, p. 15).

Por ello, para esta revisión sistemática se formuló como problema general lo siguiente: ¿Cuáles son las técnica más eficientes para la extracción de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos empleando la revisión sistemática de artículos y meta-análisis?, y como problemas específicos tenemos: ¿Cuáles son los tratamientos que se realizan a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para que las técnicas de recuperación de metales sean más eficientes de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis?, ¿Qué compuestos químicos y parámetros se emplean en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para que sea más eficaz la extracción de

los metales según la revisión sistemática y meta-análisis? y ¿Cuáles son los procedimientos adecuados que se emplea en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis?

Con el propósito de responder a las interrogantes del problema planteamos como objetivo general lo siguiente: Determinar la técnica más eficiente en la recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis. Así mismo se planteó tres objetivos específicos para entrar a mayor detalle, los cuales son: Identificar los tratamientos que se realizan a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para que las técnicas de recuperación de metales sean más eficientes de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis, determinar los compuestos químicos y parámetros que se consideran en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para que sea más eficaz la extracción de los metales según la revisión sistemática y meta-análisis y precisar los procedimientos adecuados que se emplea en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis.

Esta revisión sistemática y meta-análisis se justifica teóricamente de la siguiente manera: se busca informar sobre los diversos tipos de técnicas que se utilizan en la recuperación de metales a partir de los RAEE, así mismo los compuestos químicos o parámetros que se debe emplear en cada una de las técnicas y los procedimientos que se deben realizar en cada técnica. Se justifica de manera práctica, se pretende proporcionar información sintetizada para futuras investigaciones sobre la recuperación de metales, mediante la recopilación de información de distintos artículos científicos. Así mismo se justifica metodológicamente, según Chauhan et al (2018) las técnicas más usadas en la recuperación de metales son el proceso de hidrometalurgia, biohidrometalurgia, lixiviación, pirolisis, pirometalurgia y biolixiviación.

II. MARCO TEÓRICO

Para conocer más sobre la revisión sistemática y meta-análisis se ha revisado los siguientes antecedentes:

Aristizábal et al (2021) en su investigación titulado “Revalorización de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Colombia: una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria”. La recuperación de los metales se realizó a partir de teléfonos celulares mediante la técnica de hidrometalurgia, esta técnica inicia con la lixiviación de los RAEE con ácido sulfúrico en donde se obtiene una solución rica en cobre con otros metales, sucesivo a ese procedimiento se realizó una separación sólido-líquido mediante tratamientos como la cementación, coagulación y precipitación a fin de obtener metales. Concluyeron que la recuperación de metales fue Cu 3807,92 Kg/año, Ag 56,53 Kg/año, Pd 6,02 Kg/año, Au 10,04 Kg/año, para el cual los autores hicieron una estimación mediante cálculos.

Garcés (2018) en su investigación titulado “Recuperación de oro a partir de tarjetas de circuito impreso de aparatos eléctricos y electrónicos descartados con tiosulfato de sodio como agente lixivante”. Utilizo el proceso de lixiviación, para el cual realizó previos tratamientos que consistían en lo siguiente: trituración (disminución del tamaño), tostación oxidante y lixiviación (quitar el cobre con ácido nítrico con una disolución al 93%). Utilizó 3,20 Kg de tarjetas para su estudio. A fin de recuperar el oro realizó cuatro procesos: la primera fue lixiviar el oro a una temperatura ambiente con 5% de sólidos y con una solución de 0.7 M de tiosulfato de sodio, así mismo utilizaron amoniaco para conseguir un pH de 10.5, el tiempo empleado fue de 6 horas y con una agitación de 700 rpm consiguiendo así un 85% de oro. En el segundo se realizó el proceso de adsorción con la resina Purogold MTA5011 logrando una absorción del 87% de oro durante 24 horas a temperatura ambiente. El tercero consistió en el proceso de elución, en donde se utilizó el tiosulfato de sodio amoniacal para la extracción del cobre que fue en un 87% y el tiocianato de potasio para extraer el oro en un 98%. Y finalmente realizó el proceso electrowinning en donde recuperó el oro en un 62%, las condiciones que tuvieron para lograr dicho porcentaje de recuperación fueron utilizando una corriente de 0,5 V por un tiempo de 6 horas y a una temperatura ambiente.

Natarajan et al (2018) en su investigación titulado “Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries”. Realizó la recuperación de metales de materiales de cátodo y ánodo procedentes de baterías de litio de teléfonos móviles. En donde emplearon el método pirometalúrgico para eliminar la humedad y fundir el material ánodo y cátodo cumpliendo algunos parámetros. Concluyeron que para los minerales catódicos (como el Mn, Li y Co), haciendo uso del ácido acético y H_2O_2 en el tratamiento se obtuvo mejores resultados, siendo el mecanismo de difusión de la capa del producto como evaluación cinética para lixiviación óptima, obteniendo así la pureza de las sales.

Golmohammadzadeh et al (2017) en su investigación titulado “Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: Process optimization and kinetic aspects”, evaluaron la recuperación del Co y Li presentes en las LIBs con el método hidrometalúrgico con una dirección ecológica. Se usó los ácidos orgánicos (cítricos, DI-málico, oxálicos y acéticos) y H_2O_2 , en las LIBs obtenidas de laptops LENOVO o 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.

Vargas (2017) en su investigación titulado “Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuito integrado de aparatos eléctricos y electrónicos”. Empleó la técnica hidrometalúrgica el cual estuvo formado por los siguientes procesos: reducción de tamaño y clasificación (desmantelamiento manual), separación magnética y electrostática (eliminación de materiales ferrosos y no metálicas), lixiviación y electrólisis (utilización del $CuSO_4$, NH_4CO_3 Y NH_3). Para el cual utilizó aproximadamente 1000 g de tarjetas de circuitos impresos obtenidos de los RAEE. Tuvo como resultado una recuperación de 7.580,74 mg Cu/L, con valores de $CuSO_4$ de 0,05 M y de NH_4CO_3 de 1,0 M; así mismo considero la agitación (200 rpm), tiempo (24 horas) y amoníaco (0,5 M) como datos importantes para el estudio.

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) son aquellos equipos o dispositivos que necesitan para su funcionamiento corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y que son utilizados con una tensión nominal no

mayor a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios de corriente continua (Fernández, 2013, p.59)

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) son desechos provenientes de los AEE, que requieren ser sometidos a un manejo especial (Silva, 2012, p.14). Así mismo forman parte de estos, los residuos los aparatos y sus componentes, materiales y subconjuntos que conforman estos equipos o dispositivos eléctricos y electrónicos (Fernández, 2013, p.59). Según MINAM (2014) los RAEE están formados por una combinación de diferentes materiales, que pueden ser materias primas escasas y valiosas las que deben ser recuperadas, tales como el cadmio, plásticos, mercurio, cromo, plomo, metales ferrosos, metales no ferrosos, entre otros.

La composición de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos está formada por materiales ferrosos en un 38%, metales no ferrosos en un 28%, plásticos en un 19%, vidrio en un 4%, madera en 1% y otros materiales en un 10%. Así mismo los metales que abundan en los RAEE son principalmente el hierro (Fe), aluminio (Al), cobre (Cu), plata (Ag), oro (Au), paladio (Pd) (Ocampo, 2018).

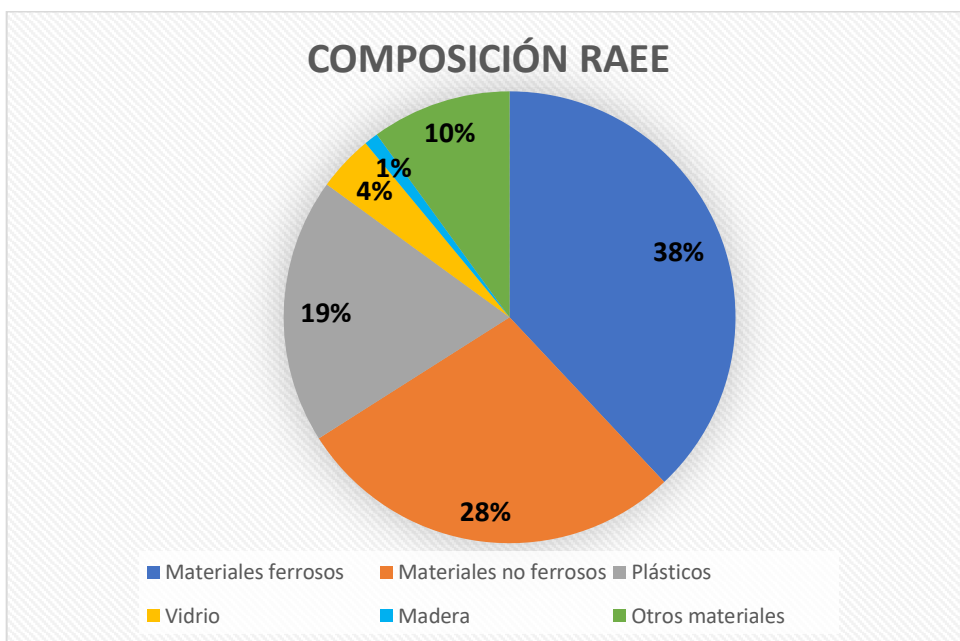


Figura 1: Composición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

Fuente: Datos obtenidos de Ocampo (2018)

En las siguientes figuras se muestra la composición de metales que tienen algunos aparatos eléctricos y electrónicos.

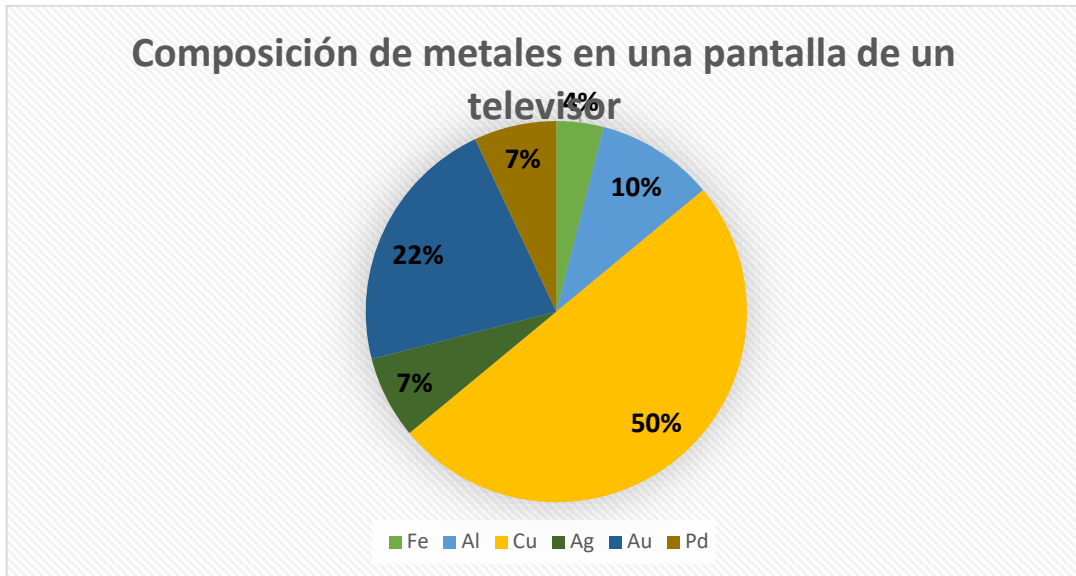


Figura 2: Composición de metales en una pantalla de televisor

Fuente: Datos obtenidos de Ocampo (2018)

Los metales que componen una pantalla de un televisor son: hierro en un 4%, aluminio en un 10%, cobre en un 50%, plata en un 7%, oro en un 22% y paladio en 7%.

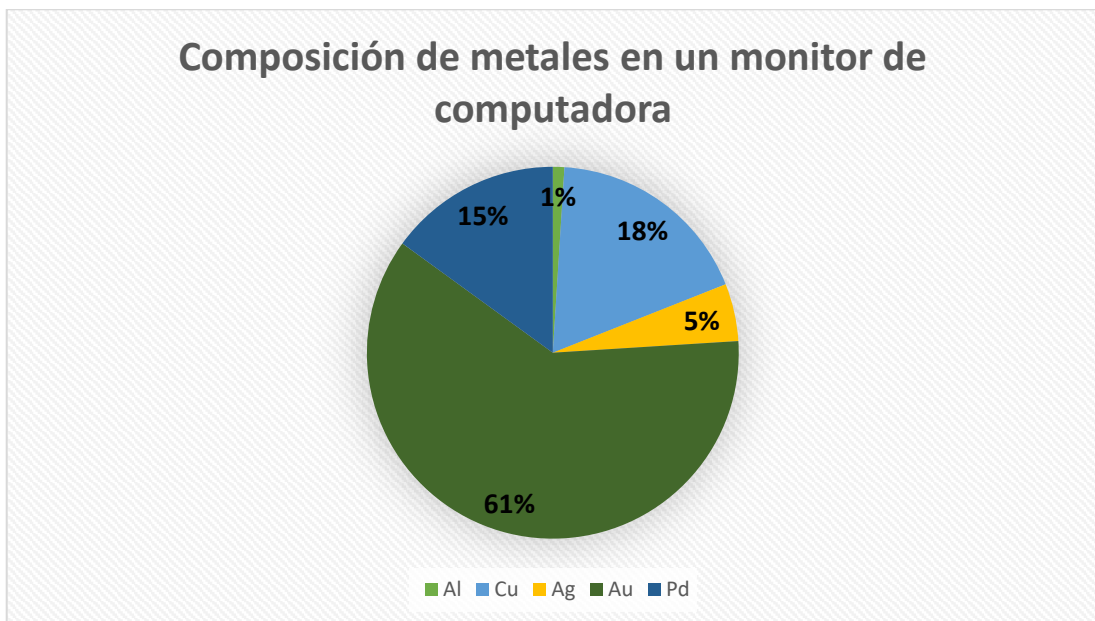


Figura 3: Composición de metales en un monitor de computadora

Fuente: Datos obtenidos de Ocampo (2018)

La composición de metales en un monitor de computadora, se encuentra formado por: 1% de aluminio, 18% de cobre, 5% de plata, 61% de oro y 15% de paladio.

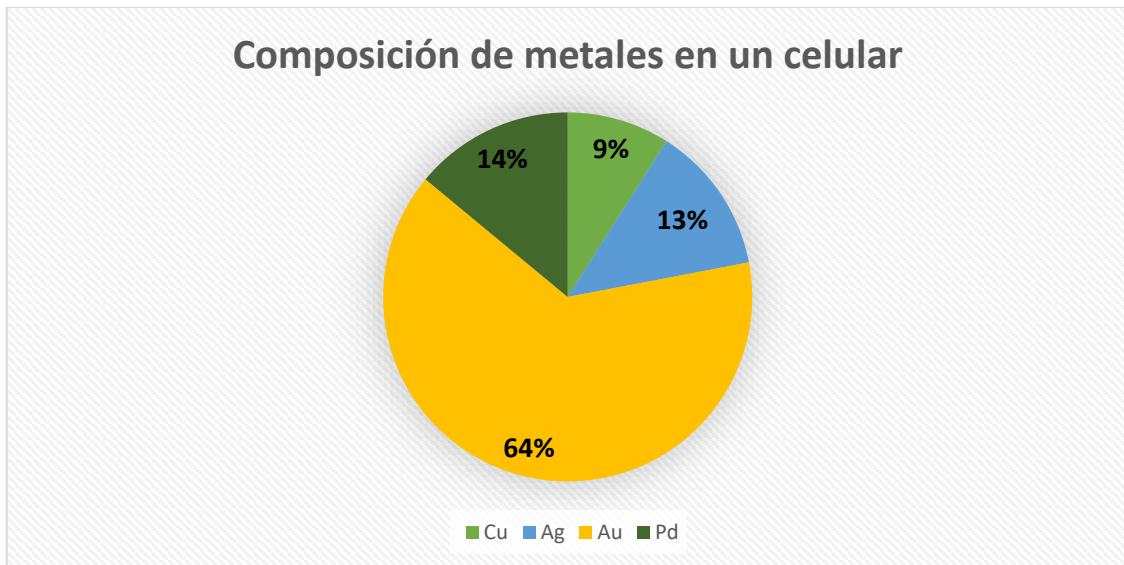


Figura 4: Composición de metales en un celular

Fuente: Datos obtenidos de Ocampo (2018)

Los metales que se encuentran en un celular son: cobre 9%, plata 13%, oro 64% y paladio 14%.

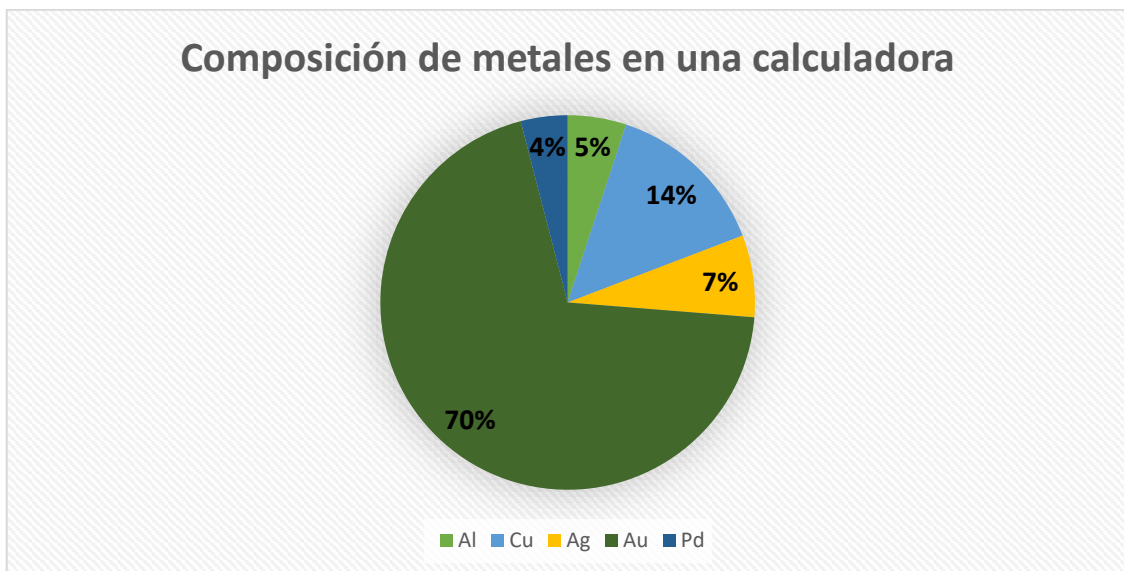


Figura 5: Composición de metales en una calculadora

Fuente: Datos obtenidos de Ocampo (2018)

Los metales que componen una calculadora son: aluminio en un 5%, cobre en un 14%, plata en un 7%, oro en un 70% y paladio en un 4%.

Las técnicas más utilizadas en la recuperación de metales de los RAEE son:

El proceso de bio-Fenton consiste en la formación de radicales altamente reactivos del hidroxilo (OH) mediante la oxidación avanzada. Esto se hace en condiciones de ambiente ácido, con presión y temperatura de ambiente. Esta técnica consiste en una reacción química utilizada en la extracción de metales, en esta técnica se emplea la reacción de fenton y la glucosa oxidasa (GO_x) como biocatalizador especialmente el *Aspergillus niger* (Trivedi y Hait, 2021).

La hidrometalurgia es una técnica que consiste en un proceso de disolución selectiva de metales en una solución acuosa, así mismo está formado por los siguientes procesos: lixiviación, separación sólido-líquido, purificación de la solución y finalmente la producción o recuperación de los metales (Uceda, 2016, p. 38). Esta técnica está formada por el proceso lixiviación en donde se hace el uso de productos químicos acuosos con la finalidad de solubilizar los metales de los RAEE, y el proceso de recuperación consiste en la extracción selección de los metales a partir de los lixiviados (Sethurajan, 2019). Según Uceda (2016) la palabra hidrometalurgia proviene etimológicamente de la raíz "hidro" por lo que vendría a ser el arte y la ciencia de extraer metales de minerales o de materiales que contienen metales de un medio acuoso. Así mismo la recuperación de los metales se da en formas de óxidos e hidróxidos.

La figura 6 muestra el proceso para la recuperación de metales a partir de los RAEE mediante la técnica hidrometalurgia, y este proceso está formado por las siguientes etapas:

- Recojo de los residuos electrónicos y clasificación manual.
- Desmontaje y preparación para la trituración.
- Trituración de los residuos y separación (ferrosa, no ferrosa y plásticos).
- Recuperación de componentes no ferrosos.
- Tratamiento hidrometalurgia.
- Refinación.
- Recuperación de metales.

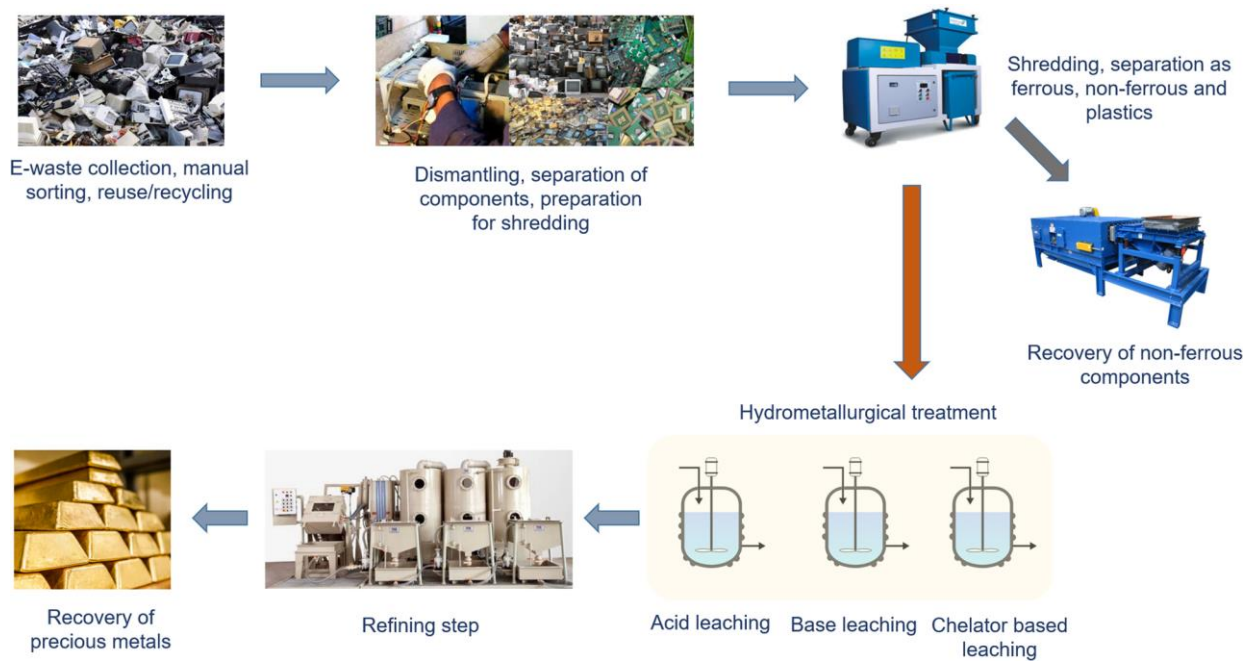


Figura 6: Proceso de recuperación de metales de los RAEE utilizando la técnica hidrometalurgia

Fuente: Rene et al (2021)

La lixiviación etimológicamente viene del latín “Lixivia, -ae” lo que significa legía. Esta técnica es un proceso químico que consiste en disolver los minerales generalmente en una solución acuosa. Los encargados de realizar la disolución son conocidos como agente lixivante o lixivante (Uceda, 2016). El agente lixivante es una sustancia química encargada de disolver selectivamente uno o más elementos (Lombana et al, 2018), según Uceda (2016) para elegir los agentes lixiviantes se tiene que considerar los siguientes factores: solubilidad, costo, corrosividad, selectividad y regeneración.

Tabla 1: Principales agentes lixiviantes

Lixiviante o agente lixiviante	Características
Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Es barato - No corrosivo. - Es limitado, ya que tiene una acción sobre pocos minerales. - Pueden ser utilizados en combinación con agentes oxidantes.
Ácidos	<p>Son los más usados como, por ejemplo:</p> <p><u>Ácido sulfúrico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo bajo. - Fácil de manipular. - Se usa para recuperar cobre, níquel, cromo, zinc, etc. <p><u>Ácido clorhídrico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Alta solubilidad. - Costo bajo. - Se usa para recuperar zinc, níquel y cadmio. <p>Ácido nítrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reacciona con la mayoría de metales. - Se usa para recuperar oro y plata.
Base	<p>Los mas utilizados son:</p> <p><u>Amoniaco:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Es soluble en agua. - Se utiliza para recuperar cobre, oro y plata. <p>Cianuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es toxico y dañino. - Son usados para la lixiviación de oro y plata.

Fuente: Datos obtenidos de Uceda (2016) y Lombana et al (2018)

En la lixiviación también interviene los agentes oxidantes, estos son empleados cuando los minerales son difíciles de disolver, los más utilizados son: el peróxido de hidrogeno, oxigeno, ozono y dióxido de magnesio. (Uceda, 2016).

La pirolisis consiste en aplicar calor sin añadir oxígeno para generar producto de residuos (Tangri y Wilson, 2017), los residuos que se obtiene después de la pirolisis contienen metales y compuestos orgánicos de los que se pueden separar para recuperar los metales (Rene et al, 2021). Antes de realizar la pirolisis para la recuperación metales se realizó la trituración de los residuos electrónicos como pretratamiento (Chen et al, 2021). El uso de las microondas

para la pirolisis fue más eficiente que la pirolisis convencional (Huang et al, 2020)

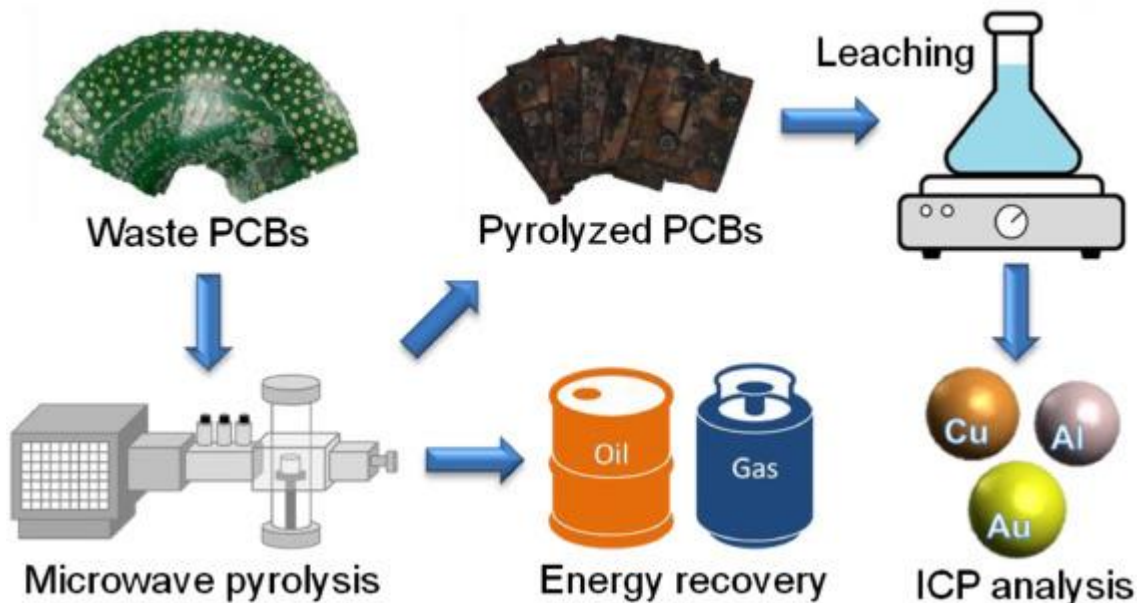


Figura 7: Proceso de recuperación de metales de los RAEE utilizando la técnica de pirolisis

Fuente: Huang et al (2020)

El proceso de la pirolisis consiste en introducir los residuos PCBs al microondas en donde se realizará la pirolisis de los cuales se obtendrá los residuos para luego recuperar los metales mediante la lixiviación, así mismo se recupera el petróleo y el gas (Huang et al, 2020).

La biolixiviación es una tecnología que permite extraer metales de un medio acuoso (Misari, 2016), es decir para la extracción de metales en presencia de bacterias que realizan la solubilización de metales (Delgado, 2019). Con ayuda de microorganismos los metales de fase solida se movilizan a una fase liquida por medio de tres mecanismos: acidólisis, complexólisis y redoxólisis (Sethurajan et al, 2018). La acidólisis se forma por la disolución de los protones con ácidos orgánicos biogénicos o inorgánicos; mientras que el complexólisis consiste en la disolución ocasionadas por los agentes complejantes generadas microbianamente; el redoxólisis biocataliza mediante procesos de biooxidación y biorreducción (Kaksonen et al, 2020).

Las bacterias más utilizadas en la biolixiviación de metales son el *Acidithibacillus sp.* y el *Leptospirillum sp.* (Sethurajan et al, 2018).

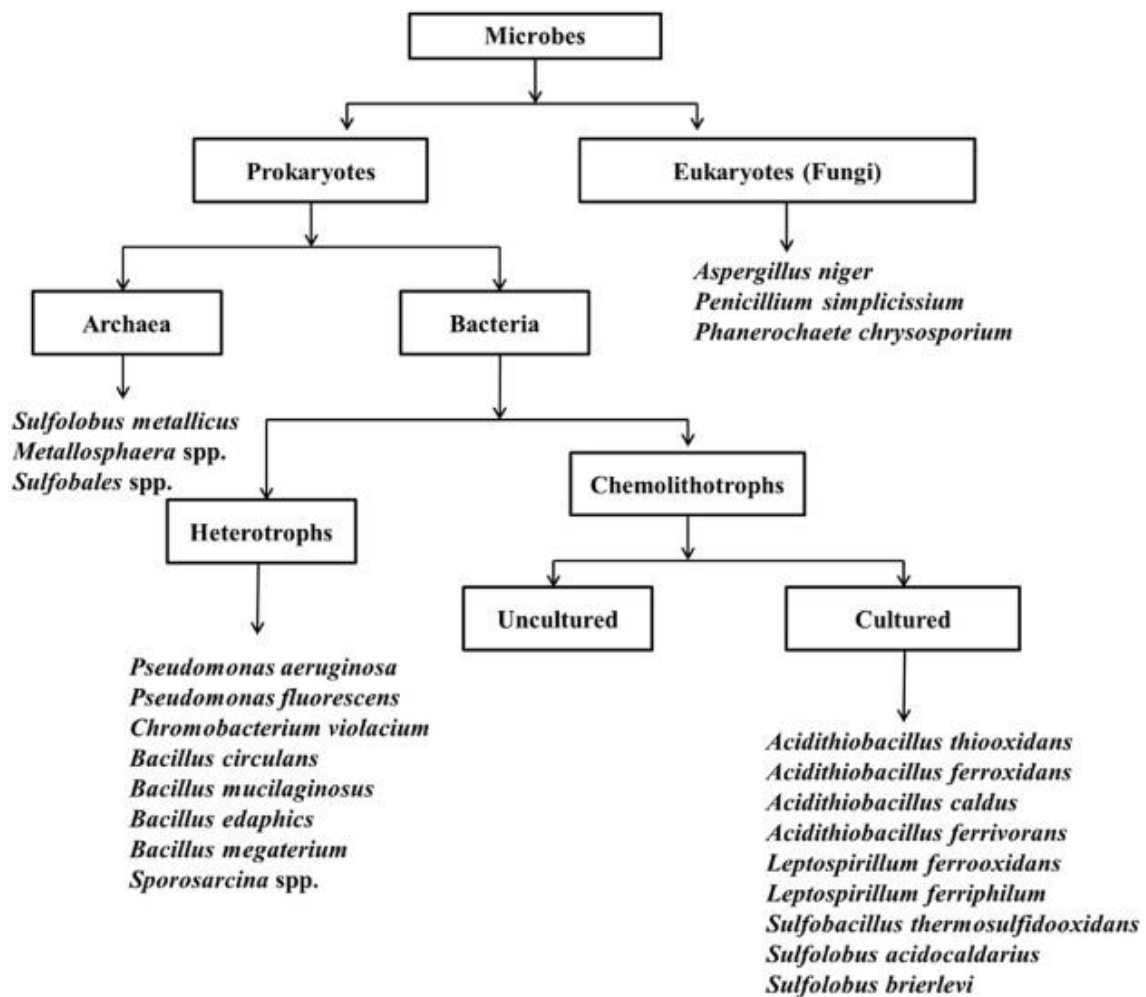


Figura 8: Bacterias utilizadas en la biolixiviación

Fuente: Sethurajan et al (2018)

La biohidrometalurgia es una técnica que consiste en utilizar procesos microbiológicos para recuperar metales, así mismo dentro de esta técnica se encuentra tres procesos (Romina, 2013), los cuales son:

- Biolixiviación: Se da cuando los microorganismos realizan una disolución en algunos minerales. El mineral es utilizado como fuente de energía para los microorganismos. La fuente de energía que utilizan los microorganismos son los minerales (Romina, 2013).
- Biooxidación: Es un proceso que consiste en la descomposición microbiológica de un mineral, es decir los minerales no son solubilizados sino son liberados de lo que estaban atrapados (Romina, 2013).

- Biolixiviación de acida de minerales no sulfurados: consiste en solubilizar los metales con el medio ácido producido por los microorganismos (Romina, 2013).

III.METODOLOGÍA

3.1.Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, puesto que se apoya o se fundamenta en los resultados de investigaciones puras o básicas, en las ciencias naturales y sociales con la finalidad de resolver los problemas de una comunidad, religión o país; los problemas pueden ser de salud, educación, contaminación ambiental y otros problemas que se han visto afectados, para que a partir de ello se formulen problemas e hipótesis para solucionar los problemas que tiene una sociedad (Ñaupas et al, 2018, p.136). Así mismo la investigación aplicada tiene la finalidad de buscar y fundamentar conocimientos para resolver un problema (Cevallos et al, 2017), por ello con esta revisión sistemática y meta análisis se recopiló conocimientos e información de los artículos científicos para determinar la técnica más eficiente en la recuperación de metales a partir de los residuos de AEE.

Diseño de investigación

Este proyecto de investigación presenta un diseño no experimental descriptivo, ya que busca descubrir las propiedades y características de personas, grupos, comunidades, objetivos, fenómenos, situaciones, contexto y sucesos; así mismo pretende medir o recoger información de los conceptos o variables ya sea de manera independiente o conjunta. En donde el investigador debe tener la capacidad de definir y visualizar los conceptos, variables y componentes que se medirán en el estudio, así como también recopilar información (Hernández et al, 2014, p.92)

3.2.Variables y operacionalización

Para este trabajo de revisión sistematiza y meta-análisis se determinó las siguientes variables de estudio.

Variable independiente: Técnicas de recuperación de metales.

Según la RAE (2021) la técnica es un grupo de procedimientos y recursos que son aprovechados por la ciencia o el arte.

Los metales son aquellos elementos químicos que conducen el calor y la electricidad, se caracterizan por tener un brillo peculiar y son sólidos cuando están a temperatura ambiente; así mismo forman iones electropositivos o cationes a partir de sus sales de disolución (RAE, 2021).

Variable dependiente: Recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

RAEE son los que han llegado al final de su vida útil por el desuso de estos aparatos, los que son desechados por los usuarios. Así mismo se considera también como RAEE a sus componentes y accesorios de estos aparatos (MINAM, 2019).

Según la RAEE (2021) la recuperación es el acto de recuperar algo.

* La matriz de variables y operacionalización se encuentran en el **ANEXO A.**

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Fueron 70 artículos de investigación que se encontraron en revistas indexadas, las que tuvieron relación con temas de técnicas de recuperación de metales y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en los periodos de 2013 al 2022. Para Niño (2019) la población está formada por un conjunto de unidades es decir elementos que pueden formar parte de la investigación como por ejemplo personas, animales, objetos, sucesos, fenómenos, etc.

Tabla 2: Cantidad de artículos en páginas webs

Fuente:	Total de artículos encontrados:
Scopus	27
ScienceDirect	43
Total:	70

Fuente: Propio

Inclusión: Los artículos de revisión que se estudió cumplen los siguientes criterios:

- Publicación de los artículos deben estar entre los años 2013 al 2022.
- Las palabras claves deberán tener al menos una de las siguientes palabras: “RAEE”, “recuperación de metal o metales”, “técnicas”, “hidrometalurgia”, “metalurgia”, “lixiviación”, “electrodeposición”, “pirometalurgia”.
- Los metales recuperados deben de ser Pb, Al, Cd, Au, Ni, Cu, Fe, Ag.
- Deben ser artículos de investigación experimental.

Exclusión: Los criterios que no se tomarán en cuenta son los siguientes:

- Artículos que han sido publicados fuera de los últimos diez años.
- Recuperación de materiales que no sean metales (plásticos, vidrio, etc.) de los RAEE.
- No se consideraron aquellos artículos de gestión de los RAEE, artículos que son de revisión, artículos que hablan sobre tendencias futuras de los RAEE.

Muestra

El tamaño de la muestra es 20 artículos de investigación, ya que es la parte representativa de un colectivo o población que es escogida con la finalidad de estudiar o medir las propiedades que caracterizan a la una población en general (Niño, 2019, p.55).

Muestreo

En este trabajo se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia ya que se seleccionó la muestra más conveniente a partir de un criterio preestablecido (Niño, 2019, p.56)

Unidad de análisis

Es un artículo de investigación.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica:

Se empleo como técnica el análisis documental puesto que se recolecto información de artículos científicos. Esta técnica consiste en el análisis de fuentes escritas (testimonios gráficos y visuales) o de fuentes electrónicas (archivos electrónicos) que provienen de otras investigaciones que proporcionan información sobre un tema que se investiga, así mismo es necesario identificar el instrumento adecuado para anotar los datos principales (Martínez, 2018, p. 119). Ver **Anexo B**.

Instrumento:

Para desarrollar esta revisión sistemática y meta-análisis se utilizó cuatro fichas de análisis

- **Ficha de análisis 1:** Recopilación de datos generales. Ver **Anexo C.2**
- **Ficha de análisis 2:** Escala de Newcastle-Ottawa modificada. Ver **Anexo C.1**
- **Ficha de análisis 3:** Factores empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE. Ver **Anexo C.3**
- **Ficha de análisis 4:** Descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE. Ver **Anexo C.4**

Validación de instrumento:

Tabla 3: Validación de expertos

APELLIDOS Y NOMBRES	VALIDACIÓN (%)
MSc. Güere Salazar Fiorella Vanessa	86.25%
Danny Alonso Lizarzaburu Aguinaga	90%
Castro Tena Lucero Katherine	95%
PROMEDIO	90.42

3.5. Procedimientos

La revisión sistemática está formada por 4 fases muy importantes, siendo la primera la búsqueda de información en banco de datos académicos de gran impacto internacional como el Scopus y ScienceDirect; la segunda es la evaluación de información recolectada o coleccionada, la tercera es el análisis de toda la información recogida y la cuarta es la síntesis en donde se busca generar un nuevo resultado a partir de la información analizada. Así mismo se empleó un meta-análisis para los resultados de los artículos de investigación que se utilizaran para este estudio (Codina, 2018). Según Giménez (2012) el meta- análisis es un sistema que sirve para identificar, valorar, sintetizar y de ser necesario agregar estadística a los resultados de estudios de un mismo tema, siguiendo un método explícito y predeterminado.

Las etapas que comprende esta revisión sistemática y meta-análisis son: búsqueda de información, selección de artículos científicos, extracción de los datos para completar las fichas y análisis de los artículos de revisión. En el siguiente flujograma se muestra la secuencia de actividades que se realizó para lograr cumplir los objetivos planteados.

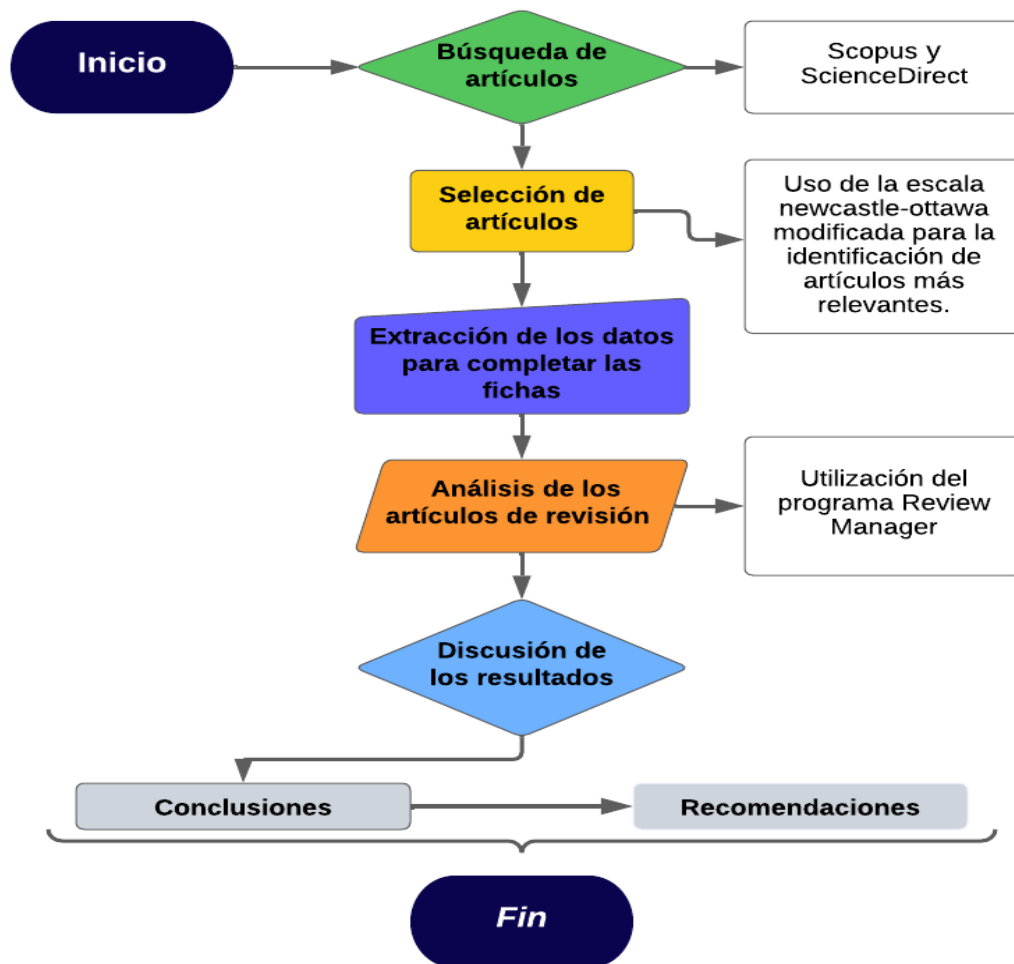


Figura 9: Flujograma de procedimientos

Fuente: Propio

Etapa 1: Búsqueda de información

Se utilizaron como fuente de búsqueda las páginas webs de Scopus y ScienceDirect debido a que estas son plataformas que contienen artículos científicos de gran impacto internacional, para ello la búsqueda se realizó con palabras en inglés ya que en estas páginas webs predominan los artículos en el idioma inglés, aunque también se realizara la búsqueda en el idioma español y las palabras que se emplearan para la búsqueda son:

- “Recuperación de metales de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos”.
- “Techniques for the recovery of metals and waste from electrical and electronic equipment”.
- “Technique and waste of electrical and Electronic appliances”
- “Hydrometallurgy and waste electrical and electronic equipment”

- “Bio-fenton and waste electrical and electronic equipment”
- “Leaching and waste electrical and electronic equipment”
- “ Pyrometallurgy and waste electrical and electronic equipment”
- “Pyrolysis and waste electrical and electronic equipment”
- “Bioaccumulators and waste electrical and electronic equipment”
- “Bioleaching and waste from electrical and electronic equipment”
- “Biohydrometallurgy and waste electrical and electronic equipment”

Etapa 2: Selección de artículos científicos

En esta etapa se seleccionaron los artículos, los cuales debían cumplir con las siguientes condiciones:

- Las palabras claves de los artículos que se utilizaron fueron: Residuos eléctricos, residuos electrónicos, RAEE, tarjeta de circuito impreso, recuperación de metales, lixiviación, bio-Fenton, Electrodeposición, Hidrometalurgia, Pirometalurgia, Pirolisis, Bioacumuladores, Biolixiviación, Biohidrometalurgia.
- La publicación de los artículos (2013 al 2022).
- Los artículos fueron experimentales.

Así mismo, en esta etapa se estableció la cantidad de artículos que fueron analizados mediante la escala de Newcastle – Ottawa modificada. Según Cascaes (2013) la escala de Newcastle se utiliza para evaluar la calidad de los estudios no aleatorios ya que ayuda en la explicación de los resultados en un meta-análisis. La escala de Newcastle – Ottawa modificada se encuentra en el **Anexo C.1**.

Etapa 3: Extracción de los datos para completar las fichas de análisis

Para ello se completó las fichas del **Anexo C.1, C.2, C.3 y C.4**, rellenando con los datos que pide las fichas, para ello se leyó todos los artículos escogidos para sacar la información necesaria para el desarrollo de esta revisión sistemática y meta-análisis.

Se extrajeron datos como:

- El tipo de RAEE que utilizan los artículos para su investigación (placas, tarjetas internas de celulares, televisores, pc, etc).

- La técnica que se emplea en recuperación de metales (bio-Fenton, biohidrometalurgia, hidrometalurgia, pirolisis, pirohidrometalurgia, etc).
- El metal que se recuperara (Al, Au, Ag, Cu, Cd, etc).
- Cantidad de metal recuperado a través de una técnica (%).
- Los compuestos químicos y parámetros (T°, rpm, pH, et) que emplean las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE.
- Los procedimientos que se da en cada técnica de recuperación de metales a partir de los RAEE.

Etapa 4: Análisis de los artículos de revisión

En esta etapa se utilizó el programa de Review Manager, ya que este programa nos permitió sacar datos estadísticos a partir de los resultados de cada artículo para el meta-análisis, en este caso se tomó el porcentaje recuperado de los metales para ver si los resultados de los artículos se pueden combinar. En este programa se puso los siguientes datos:

- Autor (es)
- Año de publicación del artículo.
- % recuperado del metal a partir de los RAEE.
- % no recuperado del metal a partir de los RAEE.

A partir de los datos mencionados en este programa se creó Forest Plot, el cual contiene datos estadísticos.

Resultados

A partir de las fichas de análisis se tomó los datos de la cantidad de metales recuperados con la finalidad de realizar el meta-análisis (uso del programa RevMan 5.4).

A través de barras estadísticas se determinó las cantidades de recuperación de metales de cada técnica para ser comparadas y a partir de ello se determinó la técnica más eficiente en la recuperación de metales a partir de los RAEE. En cuanto a los compuestos químicos y parámetros empleados en cada técnica se realizó un cuadro comparativo. Así mismo para los procedimientos que se realiza en cada técnica para la

recuperación de metales a partir de los RAEE se realizó un cuadro en donde se detalla los pasos que se ejecuta.

3.6. Métodos de análisis de datos

Se utilizó el programa RevMan 5.4, ya que es un software que tiene la finalidad de guiar en la elaboración de protocolos para una revisión sistemática, así mismo permite realizar un meta-análisis lo que nos permite hacer análisis estadísticos, figuras, tablas y referencias bibliográficas. (Sánchez, 2015, p.3)

También se utilizó el Excel 2019 para la base de datos de los artículos de revisión, es decir en este software se recolecto los datos que piden las fichas de análisis; así mismo se empleó para la elaboración de barras estadísticas. Para los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se utilizaron cuadros comparativos.

3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo de revisión sistemática y meta-análisis se realizó de manera responsable, transparente y respetando los derechos de autoría de los distintos trabajos de investigación y fuentes de investigación que se utilizó para el desarrollo de este trabajo, cumpliendo así el código de ética en la investigación de la universidad establecida con Resolución de consejo universitario N° 0340-2021/UCV. Con la finalidad de que esta revisión sistemática y meta-análisis se realice de la manera más honesta y ética posible.

IV. RESULTADOS

En la búsqueda de información se encontraron 20 artículos científicos experimentales, de los que se seleccionaron los artículos mediante la escala de Newcastle – Ottawa modificada (Ver **Anexo C.1**).

En el programa Review Manager 5.4 se introdujeron los criterios de selección de la escala de Newcastle – Ottawa modificada; en donde el color verde indica que cumple con el criterio mientras que el color rojo indica que no cumple. La **figura 10** muestra los artículos que se analizaron para el desarrollo de la revisión sistemática y meta-análisis.

	Corte de estudio	Representatividad	Exposición	Metales recuperados	Cantidad de metal recuperado	Técnica empleada	Instrumentos adicionales en la identificación de metales
Andrzejewska et al. 2019	+	+	+	+	+	+	+
Cerecedo et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Dhanalashmi et al. 2019	+	+	+	+	+	+	+
Gonçalves et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Holda y Kowska 2021	+	+	+	+	+	+	+
Kohler et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Martinez et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Murali et al. 2022	+	+	+	+	+	+	+
Panda et al. 2020	+	+	+	+	+	+	+
Perea et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Priya y Hait 2020	+	+	+	+	+	+	+
Ram et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Rojas et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Tapia et al. 2022	+	+	+	+	+	+	+
Trivedi y Hait 2021	+	+	+	+	+	+	+
Trucillo et al. 2021	+	+	+	+	+	+	+
Tuncuk 2019	+	+	+	+	+	+	+
Wordsworth et al. 2021	+	●	+	+	+	+	+
Xu et al. 2022	+	+	+	+	+	+	+
Zhang et al. 2017	+	+	+	+	+	+	+

Figura 10: Selección de artículos mediante la escala de Newcastle – Ottawa modificada.

Fuente: Review Manager 5.4

Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de los artículos fueron los siguientes:

Corte de estudios: Corresponde estudios que están entre los años del 2012 al 2022.

Representatividad: Expresa si la muestra representa realmente a los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Exposición: Evalúa los compuestos químicos y parámetros que se emplean (T°, pH, microorganismos, tiempo, RPM, etc) en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Cantidad de metal: Indica cuanto de metal se extrajo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con las técnicas.

Metales recuperados: Indica los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales.

Técnica empleada: Muestra las técnicas que se emplean para la recuperación de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Instrumentos adicionales en la identificación de metales: Indica el empleo de equipos que contribuyeron en la identificación de metales.

Para cumplir con los objetivos de la revisión sistemática y meta-análisis se procedió a analizar 20 artículos científicos experimentales.

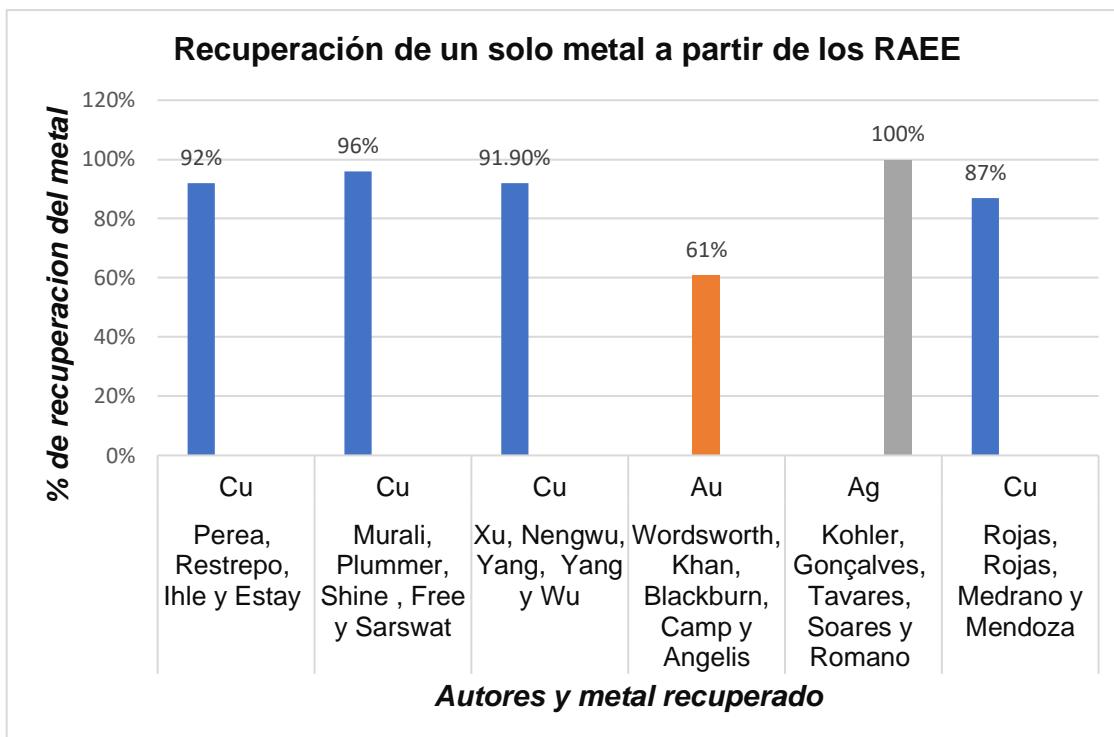


Figura 11: Recuperación de un solo metal mediante las técnicas a partir de los RAEE

La figura 8 muestra el porcentaje de recuperación de un solo metal; en donde el mayor porcentaje se encuentre en la investigación de Kohler et al (2021), la que tuvo una recuperación eficiente del 100% de Ag mediante la técnica de hidrometalurgia la que consistió en realizar dos lixiviaciones seguidas , la primera fue empleando ácido sulfúrico por 18 horas y la segunda fue utilizando ácido sulfúrico más peróxido de hidrogeno durante 6 horas , ambas lixiviaciones se realizó a una temperatura de 95°C (Ver **Anexo C.2**).

Mientras que el menor porcentaje se obtuvo de la investigación de Wordsworth et al (2021) en donde la recuperación Au fue de 61% mediante la técnica de lixiviación en la que empleo piridina y N-bromosuccinimida (NBS) como lixiviantes a una temperatura de 20 a 25°C, con velocidad de agitación de 400 RPM por 7 días.

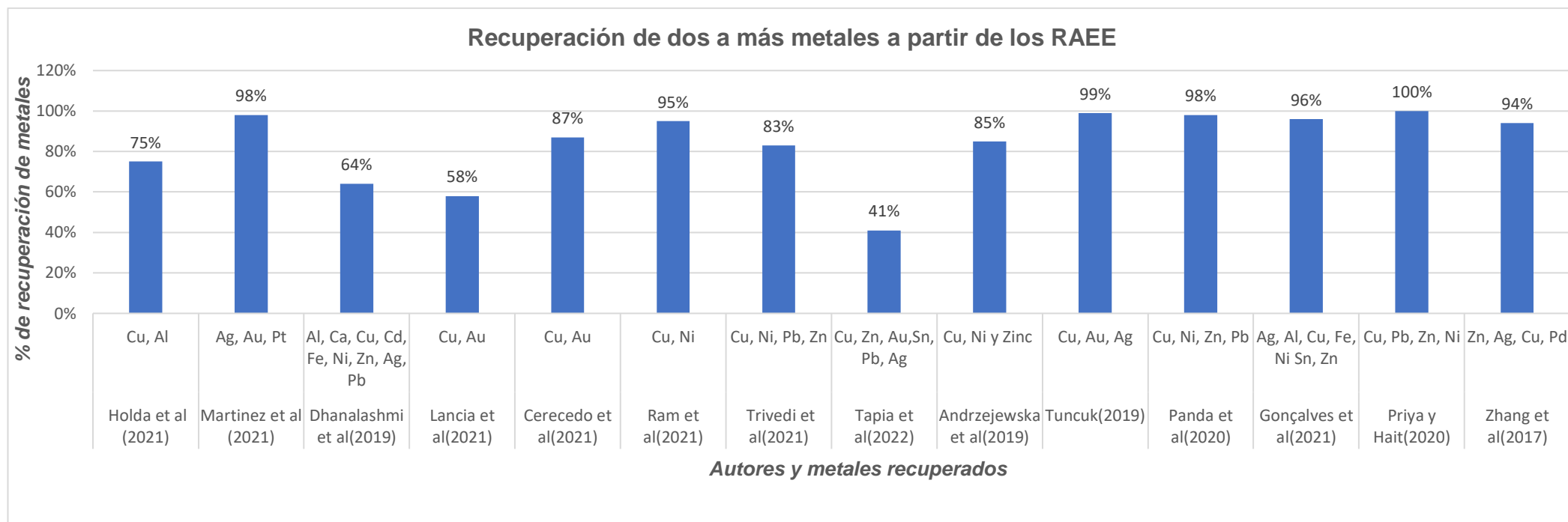


Figura 12: Recuperación de dos a más metales mediante las técnicas a partir de los RAEE

La figura 9 muestra la recuperación de dos a más metales; para ello se sacó un promedio general de los porcentajes de recuperación de los metales de estudio. El mayor porcentaje de recuperación de metales se encuentra en la investigación de Priya y Hait (2020) en donde emplearon la técnica de biohidrometalurgia, en esta técnica desarrollaron dos etapas, la primera fue mediante la aplicación de biolixiviación con cepas mixtas (*A. ferrooxidans* y *A. acidophilum*) para la recuperación de metales se realizó a 95°C de temperatura en un pH de 2.5 y a una velocidad de agitación de 170 RPM por 18 días, la segunda etapa consistió en realizar una precipitación química para aumentar la eficiencia de la recuperación de metales para ello utilizaron hidróxido de calcio, amoníaco, hidróxido de

magnesio e hidróxido de hierro a una temperatura ambiente y 80 RPM de velocidad de agitación; logrando una recuperación del 99,9% Zn, 99,9% Ag, 99,8% Cu y 99,5 Pd cuyo promedio tiene un valor 100% de recuperación de los metales. (Ver **Anexo C.2**).

El menor porcentaje se encuentra en la investigación de Tapia et al (2022), en la que emplearon la técnica de biolixiviación para la recuperación del 69%, Cu, 91% Zn, 27,9% Au, 15,6 %Sn, Pb y 0,25% Ag (promedio 41%) en la que aplicaron un consorcio acidófilo oxidante de hierro en un pH 2, con velocidad de agitación de 150 RPM durante 18 días.

Tabla 4: Tratamientos realizados a los RAEE para la recuperación de metales

Autores	RAEE utilizado	Tratamiento a los RAEE	Tamaño de los RAEE
Perea et al (2021)	Pines de computadora	N.D.	N.D.
Xu et al (2022)	Placas de circuito impreso (PCB)	Trituraron y tamizaron, también esterilizaron con radiación ultravioleta (UV) por 30 minutos.	0,180 - 0.425 mm
Holda y Krawczykowska (2021)	Placas de circuito impreso (PCB)	Trituración y tamizado.	0 - 1 mm
Ram et al (2021)	Placas de circuito impreso de residuos (WPCB) de los teléfonos móviles	Trituraron.	1 mm
Trivedi y Hait (2021)	Placas de circuito impreso de residuos (WPCB)	Limpiaron con acetona el polvo del residuo para cortar y tamizar	0,038 a 1 mm
Kohler et al (2021)	Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) de tarjetas de memoria	Trituración y se le agrego agua regia por 24 horas para la digestión química	2 mm
Tuncuk (2019)	Dispositivos de memoria de acceso aleatorio (RAM)	Trituración	0.25 mm
Panda et al (2020)	Placas de circuito impreso de teléfonos móviles	Trituración	1 mm
Priya y Hait (2020)	Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) de la computadora	Pulverización y tamizado	0.075 - 0.01 mm
Zhang et al (2017)	Capacitores cerámicos multicapa (MLCC) y placas de circuito impreso (PCB)	Trituración	< 25 mm
Murali et al (2021)	Desechos de usuarios, desechos de LCD, desechos de computadoras portátiles, placas base y discos duros	Trituración	500 µM
Martinez (2021)	Placas de circuito impreso (PCB)	Los PCB se trataron con hidróxido de sodio luego se enjuago con agua para luego ser cortados y pulverizados	177 µM

Dhanalashmi (2019)	Placas de circuito impreso (PCB)	Los PCB se pusieron dentro de 10 M NaOH y fue dejado por 48 horas, después sacaron y lavaron con agua de grifo, posterior a ello los PCB fueron llevados al secador de bandeja por 40 minutos y finalmente fue tamizado.	120 μ M
Tapia (2022)	Placas de circuito impreso (PCB)	Separación manualmente, corte y trituración de los PCB, para la eliminación de las partículas tóxicas para el metabolismo bacteriano lavaron con NaCl	\leq 300 μ M
Trucillo (2021)	Placas de circuito impreso de residuos (WPCB) de impresora genérica gastada, placas bases, modem, amplificador de Wi-Fi y lector de tarjetas	Desmantelamiento manual hasta llegar hasta conseguir el tamaño promedio de los WPCB	2X2 cm ²
Gonçalves et al (2021)	Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) placas madre y Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) de tarjetas de memoria	N.D.	N.D.
Cerecedo et al (2021)	Placas de circuito impreso (PCB) de equipos informáticos	N.D.	N.D.
Wordsworth et al (2021)	Polvo de oro puro y polvo de RAEE	Trituraron y tamizaron los RAEE hasta conseguir polvo fino	N.D.
Andrzejewska et al (2019)	Placas de circuito impreso (PCB)	N.D.	N.D.
Rojas et al (2021)	Alambre de cobre (utilizados en instalaciones eléctricas)	N.D.	N.D.

N.D. = No detalla

De los 20 artículos de revisión (Ver **Anexo C.3**), 14 detallaron que los RAEE reciben un tratamiento físico ya que hay una reducción de tamaño de estos mediante la trituración, corte o pulverización. El tamaño de los residuos de AEE va desde 120 μM hasta 2X2 cm^2 . Previamente al tratamiento físico, los residuos de AEE pasan por un procedimiento de separación manual o desmantelamiento, así mismo se emplea la esterilización (UV) y en algunos casos se dejada en NaCl para que la eliminación de partículas tóxicas de los RAEE. Así mismo los autores de los artículos analizados utilizaron para la recuperación de metales los siguientes residuos: PCBs, WPCBs, pines de computadora, desechos de computadoras portátiles, alambre de cobre, dispositivos de memoria de acceso aleatorio, etc.

Tabla N°5: Compuestos químicos y parámetros empleados en la técnica de lixiviación de recuperación de metales a partir de los RAEE

Técnica	Autores	Reactivo	Cantidad del reactivo	Microorganismos	Cantidad de microorganismos	T°	pH	Velocidad de agitación	Tiempo	% de recuperación de metales
Lixiviación	Zhang et al (2017)	NaCl	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	N.D.	600	6 h	95% Zn; 95% Ag; 99,6%Cu; 87,5%Pd
		K ₂ S ₂ O ₈								
	Tuncuk (2019)	H ₂ SO ₄	0.3 M	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	N.D.	N.D.	2 h	98,73% Cu; 99,98%Au; 96,90%Ag
		H ₂ O ₂	1 M							
		Yodo (I ₂)	3%							
		H ₂ O ₂	3%							
	Perea et al (2021)	Glutamato monosódico	0.5 M	N.D.	N.D.	N.D.	5 a 13	N.D.	2 h	92% Cu
		H ₂ O ₂	0.03 M							
	Martinez et al (2021)	HCl	4M	N.D.	N.D.	40°C	N.D.	600	2 h	97.5% Ag; 99% Au; 97.9% Pt
		NaOH	0.067 M							
NaCl		0.017 M								
Cerecedo et al (2021)	Tiosemicarbazida (CH ₅ N ₃ S)	400 mol.m ⁻³			318K	7.5	400	N.D.	77,7%Cu; 95,8%Au	

	Wordsworth et al (2021)	N-bromosuccinimida (NBS)	92 mg	N.D.	N.D.	20 a 25° C	N.D.	400	7 días	61% Au
		Piridina	0,6 mL							
	Ram et al (2021)	NH ₃	90 g/L	N.D.	N.D.	80°C	N.D.	700	4 h	100 Cu %; 90%Ni
(NH ₄) ₂ SO ₄		180 g/L								
H ₂ O ₂		0,4 M								
Biolixiviación	Xu et al (2022)	N.D.	N.D.	<i>A. ferrooxidans</i>	20 mL	30°C	3.54 y 3.52	165	7 días	91,9 % Cu
	Holda y Krawczykowska	N.D.	N.D.	<i>A. ferrooxidans</i>	N.D.	30°C	1,8 - 2,5	150	14 días	90,23 % Cu; 60,23 % Al
	Dhanalashmi et al (2019)	N.D.	N.D.	<i>Streptomyces albidofavus TN10</i>	N.D.	28°	5, 6 y 7	N.D.	7 días	66% Al; 74% Ca; 68% Cu; 65% Cd; 42% Fe; 81% Ni; 82%Zn; 56%Ag; 46% Pb
	Tapia et al (2022)	N.D.	N.D.	Consorcio acidófilo oxidante de hierro	10 % V/V	30 ±1 °C	2	150	18 días	69%Cu, 91% Zn, 27,9 % Au, 15,6 %Sn, 0,25%Pb
	Andrzejewska (2019)	N.D.	N.D.	Bacterias a partir de lodos activados	N.D.	24°C	N.D.	120	9 días	100% Cu, 90% Ni, 65%Zn
	Murali et al (2021)	N.D.	N.D.	<i>A. ferrooxidans</i>	N.D.	30-35 °C	1,2	N.D.	72 horas	96% Cu
Hidrometalurgia	Trucillo et al (2021)	HCl	3% v/v	N.D.	N.D.	70°C	N.D.	300	150 h	96.12% Cu; 19.09 % Au
		H ₂ O ₂	1 % v/v							
		NaCl	1M							
	Kohler et al (2021)	H ₂ SO ₄	2M	N.D.	N.D.	95°C	N.D.	N.D.	18 h	100%Ag
		H ₂ SO ₄	2M						6 h	
		H ₂ O ₂	360mL						6 h	
	Gonçalves et al (2021)	H ₂ SO ₄	2M	N.D.	N.D.	95 °C	N.D.	N.D.	18 h	99.5%Ag;100%Al; 100%Cu; 100%Fe; 100%Ni; 80.3%Sn; 100%Zn
H ₂ O ₂		15 mL	96 °C			6 h				
HNO ₃		10 M	±25°C			2 h				

Pirolisis	Rojas et al (2021)	Piedra caliza	20kg	N.D.	N.D.	900°C	N.D.	N.D.	4 h	87% Cu	
	Panda et al (2020)	NH ₄ Cl	3 g/g	N.D.	N.D.	300°C	N.D.	N.D.	4 h	93%Cu; 100%Ni; 100%Zn; 100Pb	
Bio-fenton	Trivedi y Hait (2021)	Glucosa β-D	20 mM	N.D.	N.D.	30°C	3.5	300	12 h	96 % Cu; 82 % Ni; 53 % Pb; 100 % Zn	
		Enzima glucosa oxidasa (GO _x)	50 U								
		Fe ²⁺	10 mM								
Biohidrometalurgia	Priya y Hait (2020)	N.D.	N.D.	Sepas mixtas de dos acidófilos (<i>A. ferrooxidans</i> y <i>A. acidophilum</i>)	10 mL	30°C	2.5	170	18 días	99,9%Cu; 99,9% Pb; 99,8%Zn; 99,5% Ni	
		Hidróxido de calcio (Ca (OH) ₂)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	11 a 12	80		N.D.
		Amoníaco (NH ₃)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	11	80		N.D.
		Hidróxido de magnesio (Mg(OH) ₂)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	7 a 11	80		N.D.
		Hidróxido de hierro (Fe(OH) ₂)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	5,5	80		N.D.

N.D. = No detalla

La tabla anterior nos muestra los reactivos y parámetros empleados en las técnicas para la recuperación de los metales a partir los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Los parámetros considerados son T°, el pH, la velocidad de agitación y el tiempo de duración del tratamiento.

La lixiviación más eficiente se dio en la investigación de Tuncuk (2019) ya que fue en un menor tiempo y con una recuperación de metales mayor al 96% en donde utilizaron ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno y yodo en la lixiviación a una temperatura ambiente.

Así mismo se pudo observar que las investigaciones que utilizaron el peróxido de hidrogeno son las que tuvieron mayor porcentaje recuperación de metales, debido a que es un buen agente oxidante y que aumenta la extracción de los metales.

La investigación que destaca más en la recuperación de metales mediante la biolixiviación es la de Murali et al (2021) ya que la recuperación de cobre fue en un 91.9% en la que empleo *A. ferrooxidans* para lixiviar a los RAEE a una temperatura de 30 °C, con pH 1.2 por 72 horas. La *A. ferrooxidans* es una bacteria muy utilizada debido a su capacidad catalizadora ya que oxida los metales del PCB a iones metálicos.

De las investigaciones analizadas para la técnica de hidrometalurgia, la que tuvo una recuperación al 100% fue la de Kohler et al (2021) en la que utilizo ácido sulfúrico y peróxido de hidrogeno, para que la recuperación del metal obtuviera una recuperación perfecta los autores realizaron dos etapas para realizar la lixiviación acida primero solo realizaron empleando H₂SO₄ a una temperatura de 95°C por 18 horas y después se realizó la lixiviación con H₂SO₄ a la que se añadió el peróxido de hidrogeno a una temperatura de 95° C durante 6 horas.

Cabe resaltar que la recuperación de los metales mediante la técnica de hidrometalurgia en todas las investigaciones es mayor al 90%, así mismo los reactivos más utilizados en esta técnica son el ácido sulfúrico y peróxido de hidrogeno.

El mayor porcentaje de recuperación metales mediante la técnica de la pirolisis se encuentra en la investigación de Panda et al (2020) la que empleo el cloruro de amonio a una temperatura de 300°C por 4 horas.

La eficiencia en la recuperación de metales mediante en esta técnica no depende de la temperatura sino del elemento químico que se emplea para realizar la pirolisis.

La recuperación de metales en la investigación de Trivedi y Hait (2021) mediante la técnica de bio-fenton fue 96 % de Cu; 82 % de Ni; 53 % de Pb; 100 % de Zn en la que se empleó una biolixiviación enzimática utilizando Fe^{2+} , la enzima glucosa oxidasa y la glucosa β -D a una temperatura de 30°C, con pH de 3.5 y con velocidad de agitación de 300RPM por un periodo de 12 horas.

En la investigación de Priya y Hait (2020) emplearon la técnica de biohidrometalurgia la que consistió en dos etapas la primera que fue realizar la biolixiviación a los residuos electrónicos con las sepas mixtas de dos acidófilos (*A. ferrooxidans* y *A. acidophilum*) la que se realizó por 18 días, en la segunda etapa se realizó la precipitación química al licor obtenido de la biolixiviación se le añadió los reactivos para que precipitara a los metales, el porcentaje de recuperación de los metales fue de 99,9% de Cu; 99,9% de Pb; 99,8% de Zn y 99,5% Ni.

Tabla N°6: Procedimientos que emplean las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE

Técnica	Lixiviación	Biolixiviación	Hidrometalurgia	Biohidrometalurgia	Pirolisis	Bio-fenton
Procesos físicos	Desmantelación, corte, trituración y tamizaje a los pines de computadoras, PCBs, WPCBs de teléfonos móviles, dispositivos de memoria de acceso aleatorio.	Separación manual, trituración y tamizaje a los desechos de LCD, computadoras portátiles, placas bases, disco duros y PCBs.	Desmantelación y trituración de los WPCBs de computadora y WPCBs de tarjetas de memoria	Pulverización y tamizaje de los WPCBs de las computadoras	Trituración del PCB de los teléfonos móviles y no se realizó nada a los cables de cobre.	Corte y tamizaje los WPC de los teléfonos móviles, así mismo utilizaron acetona para limpiar el polvo de los WPC.
Procesos químicos	Los reactivos empleados para la lixiviación son de grado analítico o de grado laboratorio, lo que indica que los reactivos tienen suficiente pureza. La lixiviación se realiza en reactores en la que se añade los RAEE triturados y los agentes lixiviantes (H ₂ O ₂ , H ₂ SO ₄ , NaCl, etc) para que se mezclen, para ello la velocidad de agitación va desde 400 RPM a 700 RPM, con pH	Utilizaron matraces que contenían el medio 9K para el cultivo de las bacterias, después de un determinado tiempo se añadían los residuos electrónicos, luego se pasaban a incubar en incubadoras con agitadores a una temperatura de 25 a 35°C y una velocidad de agitación que va los 120 RPM hasta los 165	Se empleo los experimentos en matraces a las que se añadieron los residuos electrónicos y el ácido para realizar la lixiviación, luego se saca el licor para ser analizado.	Se desarrollo en matraces de capacidad de 1L las que contenían el medio Silverman y Lundgren 9K a las que se añadieron los WPCB triturados, para luego ponerlas en una incubadora con una agitación de 170 RPM y a 30°C. Después de 18 días de biolixiviación se sacó el licor biolixiviado. Para realizar la segunda etapa, precipitación química se utilizó el licor biolixiviado a	Se llevo a cabo en reactores en donde se pirolizo los residuos electrónicos a temperaturas altas por un determinado tiempo, después se enfrían a una temperatura ambiente para que las cenizas obtenidas se homogenicen y luego se separe los metales.	Se desarrollo en matraces canónicos la cual contenía glucosa B-D, enzima Go _x (biocatalizador) y el Fe ²⁺ , después se le agregaron los residuos electrónicos, para que el pH se estableciera en 3.5 se utilizó la solución diluida de NaOH, luego los matraces se incubaron a 30°C en una incubadora agitadora, la velocidad

	que van de 5.3 a 13 y a una temperatura que va desde los 20°C a 80°C	RPM, después el licor obtenido analiza.		la que se le añadió Ca (OH) ₂ para precipitar Cu con un pH alrededor de 11-12, también empleo amoniaco para recuperar Zn por precipitación en un pH de 11, también utilizo Fe(OH) ₂ para precipitar Ni con un pH 5,5 y uso Mg(OH) ₂ para precipitar Pb con pH de 7-11, este experimento de realizo a 80 RPM de velocidad de agitación así mismo para ajustar el pH utilizo 10M de HCl y 0,1 M.		de la mezcla estuvo en 300RPM. Después las muestras fueron filtradas y analizadas con ICP-MS
Procesos de análisis de resultados	Espectrofotómetro de absorción atómica, Microscopía electrónica de barrido acoplada con espectroscopía de dispersión de energía (SEM/EDS), Espectrometría de	Microscopios Electrónicos de Barrido (SEM), Espectrofotómetro de absorción atómica y Espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplado	Espectrofotómetro de Absorbedor Atómico (AAS), Espectroscopía de Plasma ICP-OES y Microscopía electrónica de barrido acoplada	Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y microscopio electrónico de barrido con espectroscopía de rayos X de dispersión de energía	Utilizaron difracción de rayos X (XRD) y espectroscopia de emisión atómica de plasma de microondas (MPAES) para la identificación de los metales.	Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) permite la cuantificación de los metales.

	<p>emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP), Espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y Espectrómetro de emisión atómica de plasma por microondas (MP-AES) se utilizó para la identificación de los metales.</p>	<p>inductivamente (ICP-OES) para determinar y cuantificar los metales.</p>	<p>con espectroscopía de dispersión de energía (SEM/EDS) se empleó para la identificación de los metales.</p>	<p>(SEM-EDX) se utilizó para la cuantificación del metal</p>		
--	--	--	---	--	--	--

La **tabla N°6** muestra que para realizar la recuperación de metales primero se tiene que realizar un tratamiento a los RAEE como la trituración, corte y esterilización; después se empieza la recuperación de los metales dependiendo de la técnica se utiliza los reactivos o microorganismos; así mismo se toma en consideración los parámetros de T°, tiempo, velocidad de agitación y el pH. Y para la identificación y cuantificación se hace uso de espectrofotómetros y microscopios (SEM/EDS, ICP, MPAES, ICP-MS, etc).

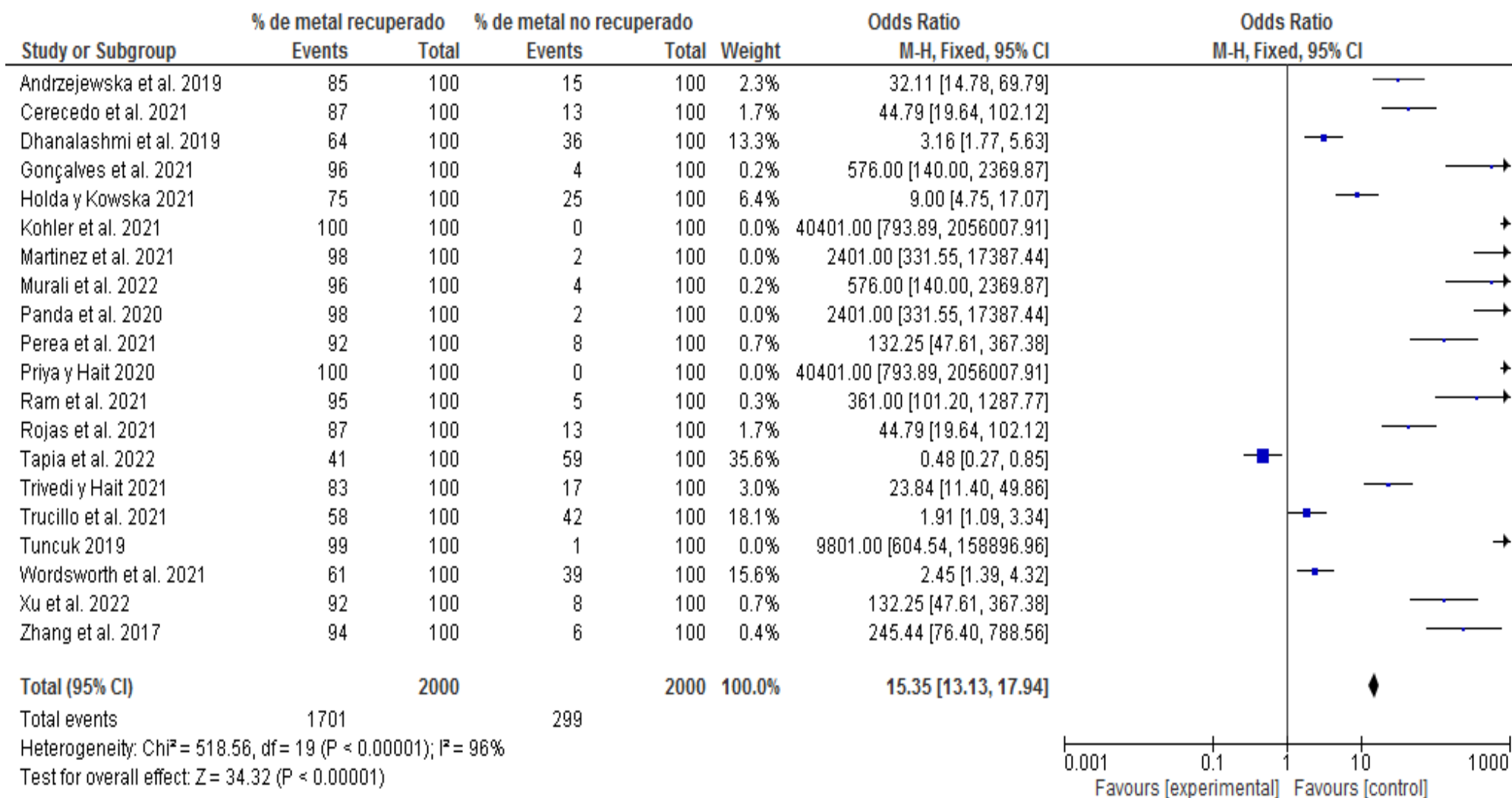


Figura N°13: Forest Plot

La figura 10 muestra los 20 artículos de estudio que se seleccionaron, la primera columna muestra los autores de los 20 artículos analizados, la segunda columna indica el porcentaje del metal recuperado con las técnicas, la tercera columna indica el porcentaje no recuperado del metal mediante las técnicas, la cuarta columna indica el peso (weight) que tiene cada artículo, la quinta columna indica el Odds Ratio y la sexta columna muestra de forma visual la representación de los resultados de los estudios de cada artículo.

En meta-análisis con variables dicotómicas o llamadas también binarias son las que presentan como resultado dos categorías (metales recuperados o metales no recuperados), así mismo las medidas de efecto más usada es el Odds ratio llamado también la razón de momios (Fau y Nabzo, 2020).

Para determinar si las técnicas de recuperación de los metales son los principales responsables en la recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se evalúa el valor del Odds ratio que se extrajo del Forest Plot del programa de Review Manager 5.4.

Para efectuar una adecuada interpretación del Odds ratio se consideró los siguientes intervalos:

Odds Ratio < 1: Señala que hay una asociación negativa entre los artículos estudiados. Así como también las técnicas de recuperación de metales presenta menores porcentajes de recuperación.

Odds Ratio = 1: Señala que no hay asociación entre los artículos estudiados. Así como también las técnicas de recuperación de metales no presenta variación alguna.

Odds Ratio >1: Señala que hay una asociación positiva entre los artículos estudiados. Así como también las técnicas de recuperación de metales presenta mayores porcentajes de recuperación.

De acuerdo a lo obtenido en el Forest Plot, el valor que se obtuvo de Odds Ratio es 15.35, lo cual indicaría que las técnicas de recuperación de metales presentan mayores porcentajes de recuperación, así como también que la asociación de los artículos estudiados es positiva.

Con respecto a los valores de peso (weight) nos muestra que, de los artículos incluidos, cuatro de los artículos influirá en el meta-análisis ya que tienen una ponderación mayor.

La figura del Forest Plot muestra un valor de heterogeneidad $I^2=96\%$.

V. DISCUSIÓN

Las técnicas presentes en las investigaciones fueron: lixiviación, biolixiviación, hidrometalurgia, biohidrometalurgia, pirolisis y bio-fenton. Siendo las técnicas más eficientes para la recuperación de metales la hidrometalurgia y la biohidrometalurgia de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis que se realizó; ya que estas dos técnicas fueron las que tuvieron mayor porcentaje de recuperación de los metales respecto a las otras técnicas.

Para que la recuperación de los metales sea más eficiente se tiene que emplear más de un tratamiento como lo muestra la investigación de Kohler et al (2021) que recupero en un 100% Ag empleando dos lixivaciones, la primera aplicando el ácido sulfúrico en un tiempo de 18 horas a una temperatura de 95°C y la segunda aplicando ácido sulfúrico más peróxido de hidrogeno en un tiempo de 6 horas con temperatura de 95°C. Así mismo Garcés (2018) en su investigación empleo hasta cuatro procesos, el primero fue la lixiviación con tiosulfato de sodio a temperatura ambiente con una solución de 0.7 M de tiosulfato de sodio en un tiempo de 6 horas y una agitación de 700 rpm, el segundo proceso consistió en la adsorción con resina Purogold MTA5011 por 24 horas, en el tercer paso consistió en emplear el proceso de elución usando tiosulfato de sodio amoniacal y tiocianato de potasio para la extracción de cobre y oro, finalmente aplicaron electrowinning utilizando una corriente de 0,5 V durante 6 horas y a temperatura ambiente logrando así una recuperación de 87% de cobre y 98% de oro. Lo que indicaría que si en una técnica se emplea más de un proceso la recuperación del metal será aún mayor.

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos más utilizados de acuerdo a las investigaciones son: las placas de circuito impreso (PCB) y las placas de circuito impreso de residuos (WPCB) de equipos informáticos. Así mismo el tratamiento que se realizan a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos son la trituración, tamiz, pulverización y esterilización. De acuerdo a Vargas (2017) en su trabajo de investigación utilizo residuos de tarjetas de circuito, para la recuperación de metales realizo los siguientes procedimientos: desmantelación manual (reducción de tamaño y

clasificación de los residuos); separación magnética y electrostática; lixiviación y electrólisis.

En los artículos científicos que emplearon la técnica de lixiviación utilizaron el peróxido de hidrogeno, fue uno de las principales sustancias utilizadas para la recuperación de metales. Según Natarajan et al (2018) en su trabajo concluyo que empleando el ácido acético y peróxido de hidrogeno se obtiene mejores resultados en la recuperación de metales de materiales de cátodo y ánodo, lo que indicaría que el uso del peróxido de hidrogeno es muy utilizado. Así mismo el uso del ácido sulfúrico permite obtener una solución rico en cobre y otros metales (Aristizábal et al, 2021)

Conforme a los resultados obtenidos en el Forest Plot del programa Review Manager 5.4 se consiguió un valor alto de heterogeneidad, el cual está representado por $I^2 = 96\%$ lo que indicaría que el meta-análisis experimentaría cambios. El valor de la heterogeneidad es importante a la hora de realizar un meta-análisis, así mismo este no debe pasar del 50% sino se podría llegar a resultados diferentes y se pondría en riesgo el resultado del meta-análisis (Oliveros, 2015).

VI. CONCLUSIONES

- Las técnicas más eficientes en la recuperación de metales a partir de los RAEE de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis son: la hidrometalurgia que tuvo una eficiencia del 100% en la recuperación de plata y la biohidrometalurgia que recupero 99,9% de zinc, 99,9% de plata, 99,8% de cobre y 99,5% de paladio.
- La revisión sistemática y meta-análisis mostro que los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos reciben un tratamiento físico debido a la reducción de tamaño que se realizan a estos mediante la trituración, corte o pulverización.
- Los compuestos químicos utilizados en la recuperación de metales dependen de la técnica empleada; en el caso de la técnica de lixiviación utilizaron NaCl, K₂S₂O₈, H₂SO₄, H₂O₂, yodo (I₂), glutamato monosódico, HCl, NaOH, tiosemicarbazida (CH₅N₃S), N-bromosuccinimida (NBS), piridina, NH₃ y (NH₄)₂SO₄; mientras que en la técnica de biolixiviación utilizaron bacterias *A. ferrooxidans*, *Streptomyces albidofavus TN10*, consorcio acidófilo oxidante de hierro y bacterias a partir de lodos activados; en caso de la técnica hidrometalurgia utilizaron HCl, H₂O₂, NaCl, H₂SO₄ y HNO₃; en la técnica pirolisis utilizaron piedra caliza y NH₄Cl; en la técnica bio-fenton utilizaron glucosa β-D, enzima glucosa oxidasa (GO_x) y Fe²⁺ y en la técnica de biohidrometalurgia utilizaron sepas mixtas de dos acidófilos (*A. ferrooxidans* y *A. acidophilum*), hidróxido de calcio, amoníaco, hidróxido de magnesio e hidróxido de hierro. Así mismo los parámetros empleados en las técnicas de recuperación de metales son la temperatura, el pH, la velocidad de agitación y el tiempo de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis.
- Los procedimientos adecuados para la recuperación de metales de acuerdo a la revisión sistemática y meta-análisis son la reducción del tamaño de los RAEE (el tamaño encontrado en los articulo va de 120 μM a 2x2 cm²), utilización de compuestos químicos y microorganismos dependiendo la técnica empleada, establecimiento de los parámetros adecuados (T°, pH, tiempo) y la utilización de equipos como el espectrofotómetro de absorción atómica, microscopía electrónica de barrido acoplada con espectroscopía de dispersión de energía

(SEM/EDS), espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP), espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), espectrometría de masa con plasma Acoplado inductivamente (ICP-MS) y espectrómetro de emisión atómica de plasma por microondas (MP-AES) para la identificación de los metales.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las futuras investigaciones lo siguiente:

- Realizar revisiones sistemáticas sobre las técnicas más eficientes, económicas y las más viables para la recuperación de metales a partir de los RAEE.
- Establecer datos homogéneos para que al momento de ingresar los datos al programa Review Manager 5.4 esto nos muestre en el Forest Plot que se pueden combinar los resultados de los artículos revisados.
- Desarrollar estudios experimentales eco amigables para la recuperación de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Se recomienda a la población y autoridades lo siguiente:

- Apoyar a los estudiantes en investigaciones que permitan recuperar los metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Determinar espacios adecuados para recibir los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, y posteriormente estos sean tratados.
- Sensibilizar a la población en temas del reciclaje de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

REFERENCIAS

ANDRZEJEWSKA, Dorota, PONIATOWSKA, Agnieszka, BARTŁOMIEJ, Macherzyński, WOJEWODKA, Dominik, WSZELAKA, Małgorzata. *Comparison of the Effectiveness of Biological and Chemical Leaching of Copper, Nickel and Zinc from Circuit Boards*. Journal of Ecological Engineering [en línea]. Octubre 2019, vol.20, no. 9, pp. 62-69. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/112485>

ISSN 2299-8993.

ARISTIZÁBAL, Carlos, GONZÁLEZ, José, VARGAS, Andrés. *Waste Electrical and Electronic Appliances Valorization in Colombia: An Alternative for Obtaining Precious Metals and Metals Used in Industry. Una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria*. Tecnológicas [en línea]. 2021, vol. 24, no. 51. Disponible en: <https://doi.org/10.22430/22565337.1740>

BALDÉ, C., FORTI, V., GRAY, V., KUEHR, R., STEGMANN, P. *The global E-Waste Monitor* [en línea]. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna [Fecha de consulta: 20 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://www.raeeandalucia.es/sites/default/files/documentos/global-e-waste_monitor_2017.pdf

ISBN: 2522-7033

CASCAES, Franciele, VALDIVIA, Beatriz, IOP, Rodrigo, GUTIERRES, Paulo, DA SILVA, Rodney. *Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos*. Información en Ciencias de la Salud [en línea]. 2013, vol. 24, no. 3. [Fecha de consulta: 27 de mayo 2022]. Disponible en: <http://www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/438/318>

ISSN 2307-2113

CERECEDO, Eduardo, CÁRDENAS, Edgar, ROJAS, Abner, REYES, Isabel, RODRÍGUEZ, Lugo, TORO, Norman, GÁLVEZ, Edelmira, ACEVEDO, Otilio, HERNÁNDEZ, Juan, SALINAS, Eleazar. *Use of the O₂-Thiosemicarbazide System, for the Leaching of: Gold and Copper from WEEE & Silver Contained in*

MiningWastes. Materials [en línea]. Noviembre 2021, vol.14. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma14237329>

CEVALLOS, Alicia, POLO, Ernesto, SALGADO, Diana, ORBEA, Marlon. *Métodos y técnicas de investigación* [en línea]. Ecuador: Ediciones Grupo Compás, 2017 [fecha de consulta: 12 de julio de 2022]. Disponible en: <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/498/3/metodolog%C3%ADa.pdf?fbclid=IwAR1MpSBIEZzf->

[0I_rNXx7GvACoxK17Mk3rFamR4EWZWCWiKQkUrjnuL2Hkg](http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/498/3/metodolog%C3%ADa.pdf?fbclid=IwAR1MpSBIEZzf-0I_rNXx7GvACoxK17Mk3rFamR4EWZWCWiKQkUrjnuL2Hkg)

ISBN: 978-9942-33-264-6

CODINA, Lluís. *Revisiones bibliográficas sistematizadas: Procedimientos generales y Framework para Ciencias Humanas y Sociales*. Barcelona: Máster Universitario en Comunicación Social. Departamento de Comunicación. Universitat Pompeu Fabra, 2018. Disponible en: https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/34497/Codina_revisiones.pdf

CHAUHAN, Garima, RAM, Prashant, NIGAM, K. Novel technologies and conventional processes for recovery of metals from waste electrical and electronic equipment: Challenges & opportunities – A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. Febrero 2018, vol. 6, pp. 1288-1304 [Fecha de consulta: 12 de julio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.032>

DELGADO, Sandra; CASTILLO, Daladier. *Influencia de la temperatura en el crecimiento de un consorcio microbiano y su capacidad biooxidativa sobre el hierro de la calcopirita*. *Ecología Aplicada* [en línea]. Junio 2019, vol. 18, no. 1, pp. 85-90. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/341/34159588014/34159588014.pdf>

DHANALASHMI, Kaliyaraj, MENAKA, Rajendran, VIGNESH Angamuthu, ANNAM, Antony, MANIGUNDAN, Kaari, SHANMUGASUNDARAM, Thangavel, GOPIKRISHNAN, Venugopal, JERRINE, Joseph, RADHAKRISHNAN, Manikkam. *Bioleaching of heavy metals from printed circuit board (PCB) by *Streptomyces albidoflavus* TN10 isolated from insect nest*. *Bioresources and Bioprocessing* [en línea]. Noviembre 2019, vol. 6, no. 47. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0283-3>

CHEN, Ye, LIANG, Sha, XIAO, Keke, HU, Jingping, HOU, Huijie, LIU, Bingchuan, DENG, Huali, YANG, Jiakuan. *A cost-effective strategy for metal recovery from waste printed circuit boards via crushing pretreatment combined with pyrolysis: Effects of particle size and pyrolysis temperatura*. Journal of Cleaner Production [en línea]. Enero 2021, vol. 280. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124505>

FAU, Christian, NABZO, Solange. *Metaanálisis: bases conceptuales, análisis e interpretación estadística*. Revista mexicana de oftalmología [en línea]. 2020, vol. 94, no. 6. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2604-12272020000600260&script=sci_arttext

ISSN 2604-1227

FERNÁNDEZ, Gustavo. *Minería urbana y la gestión de los recursos electrónicos* [en línea]. 1a edición. Buenos Aires: Grupo Uno, 2013 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022]. Disponible en: https://sigraee.files.wordpress.com/2013/10/libro-raee-completo.pdf?fbclid=IwAR2fTPZkWmb_ZLuDW3G9ZJsk8wPdZCnLSECHsh-HGV6ROjtLr0RFZ3EI3Ek

ISBN 978-987-29862-1-6

FORTI, Vanesa, BALDÉ, Cornelis, KUEHR, Ruediger, BEL, Garam. *Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular* [en línea]. Universidad de las Naciones Unidas (UNU)/Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) – coorganizadores del programa SCYCLE, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Rotterdam [Fecha de consulta: 30 de setiembre de 2021]. Disponible en: https://residuoselectronicosal.org/wp-content/uploads/2021/03/GEM_2020_Spanish_final_pages-1.pdf

ISBN: 978-92-808-9127-0

GARCÉS, Karla. Recuperación de oro a partir de tarjetas de circuitos impresos de aparatos eléctricos y electrónicos descartados con tiosulfato de sodio como agente lixivante. Tesis (Título de Ingeniera Química). Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10455>

GIMÉNEZ, Andrea. ¿Qué es un meta-análisis? y ¿cómo leerlo? 2012. Disponible en:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=86229028&lang=es&site=ehost-live>

ISSN: 1510-9747

GOLMOHAMMADZADEH, Rabeeh, RASHCHI, Fereshteh, VAHIDI, Ehsan. *Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: Process optimization and kinetic aspects*. Waste Management [en línea]. Junio 2017, vol. 64, pp. 244-254. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.032>

GONÇALVES, Thamiris, KOHLER, Marcos, TAVARES, Viviane, SOARES, Jorge, ROMANO, Denise. *Recovering metals from motherboard and memory board waste through sulfuric leaching*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. Diciembre 2021, vol. 9. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106789>

GONZÁLEZ, María. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: propuestas y alternativas para una gestión sostenible [en línea]. 1ª edición Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte, 2012 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022]. Disponible en: https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1014/560/2/Residuos%20de%20aparatos%20electr%C3%B3nicos--interiores.pdf?fbclid=IwAR1iShn5tM6FAu55w9v81O2K5KUqY0yEBHKtaM4et6K_73xEd2bdQ_Ugz48

ISBN: 987-607-479-085-6

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. Sexta edición, 2014. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

ISBN: 978-1-4562-2396-0

HOLDA, Anna, KRAWCZYKOWSKA, Aldona. *Extraction of Selected Metals from Waste Printed Circuit Boards by Bioleaching Acidophilic Bacteria*. Inżynieria Mineralna [en línea]. Mayo 2021, vol. 1, no. 1, pp. 43-52. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <http://doi.org/10.29227/IM-2021-01-06>

HUANG, Yu-Fong, PAN, Meng-Wei, LO, Shang-Lien. *Hydrometallurgical metal recovery from waste printed circuit boards pretreated by microwave pyrolysis*. Recursos, Conservación y Reciclaje [en línea]. Diciembre 2020, vol. 163. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105090>

KAKSONEN, Anna, DENG, Xiao, BOHU, Tsing, ZEA, Luis, NAHREEN, Himel, GUMULYA, Yosephine, MORRIS, Christina. *Prospective directions for biohydrometallurgy*. Hydrometallurgy [en línea]. Agosto 2020, vol. 195. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105376>

KOHLER, Marcos, GONÇALVES, Thamiris, TAVARES, Viviane, SOARES, Jorge, ROMANO, Denise. *Synthesis of Ag nanoparticles from waste printed circuit board*. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Diciembre 2021, vol. 9. [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106845>

LOMBANA, Laura, SAAVEDRA, Angie, CORREA, Felipe. *Variables influyentes en el proceso de lixiviación para la recuperación de metales contenidos en lodos galvánicos*. Artículos de Revistas Institucionales - Ingeniería Química [en línea]. Diciembre 2018, vol.4, no. 1. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7739>

ISSN: 2619-5267

MARTÍNEZ, Héctor. Metodología de la investigación [en línea]. Ciudad de México: Cengage Learning, 2018 [fecha de consulta: 12 de julio de 2022]. Disponible en: <http://www.ebooks7-24.com/?il=6401>
ISBN: 978-607-526-668-8

MARTINEZ, Guadalupe, VALENZUELA, Jesus, GÓMEZ, Agustin, ENCINAS, Martin, MEJÍA, Florida, ROSAS, Aaron, VALENZUELA, Roberto. *Recovery of Ag, Au, and Pt from Printed Circuit Boards by Pressure Leaching*. Recycling [en línea]. Octubre 2021, vol. 6. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/recycling6040067>

MINISTERIO del Ambiente. Gestión y manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [en línea]. Perú 2014. [Fecha de consulta: 14 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/RAEE-baja.pdf>

MINISTERIO del Ambiente. DS-Régimen especial de gestión y manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [en línea]. Perú, 2019. [Fecha de consulta: 14 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/419588/DS-R%C3%89GIMEN ESPECIAL DE GESTI%C3%93N Y MANEJO DE RESIDUOS DE APARATOS EL%C3%89CTRICOS Y ELETR%C3%93NICOS.pdf>

MISARI, Fidel. Biolixiviación [en línea]. 1ª edición Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2016 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Biolixiviacion.pdf?fbclid=IwAR20bq4jWAOuDLozU5sVfaE-tFs_cxSQOqvLVsCwteeJmuePaGqlxm0f-k

ISBN: 978-612-46124-8-0

MURALI, Arun, PLUMMER, Matthew, SHINE, Adam, FREE, Michael, SARSWAT, Prashant. *Optimized bioengineered copper recovery from electronic wastes to increase recycling and reduce environmental impact*. Journal of Hazardous Materials Advances [en línea]. Febrero 2022, vol. 5. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2021.100031>

NATARAJAN, Subramanian, BORICHA, Arvind, BAJAJ, Hari. *Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries*. Waste Management [en línea]. Julio 2018, vol. 77, pp. 455-465. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.032>

NIÑO, Víctor. Metodología de la investigación, 2019. Disponible en URL del Ebooks: <http://www.ebooks7-24.com/?il=9546>

ISBN: 9789587920758

ÑAUPAS, Humberto, VALDIVIA, Marcelino, PALACIOS, Jesús, ROMERO, Hugo. Metodología de la investigación. Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la tesis. Quinta edición, 2018. Disponible en: <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>

ISBN. 978-958-762-876-0

OLIVEROS, Henry. *La heterogeneidad en los metaanálisis, ¿es nuestra mejor aliada?*. Revista Colombiana de Anestesiología [en línea]. Julio-Setiembre 2015, vol.43, no 3, pp.176-178. [Fecha de consulta:26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-anestesiologia-341-articulo-la-heterogeneidad-metaanalisis-es-nuestra-S012033471500060X>

DOI: 10.1016/j.rca.2015.05.002

OCAMPO, Melchor. *Residuos electrónicos*. Oficina de informacion científica y tecnologica para el congreso de la unión (INCyTU) [en línea]. Febrero 2018, no. 008. [Fecha de consulta: 10 de octubre 2021]. Disponible en: https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-008.pdf

PANDA, Ramdayal, RAM, Prashant, KISHORE, Kamal, NARAYAN, Satya, BHASKARC, Thallada. *Eco-friendly recovery of metals from waste mobile printed circuit boards using low temperature roasting*. Journal of Hazardous Materials [en línea]. Agosto 2020, vol. 395. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122642>

PASCUAS, Yois, CORREA, Lucelly, MARLÉS, Claritza. *Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano*. Ciencia, Docencia y Tecnología [en línea]. Febrero 2018, vol. 29, no. 56. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/145/14559244012/14559244012.pdf>

PEREA, C., RESTREPO, O., IHLE, C., ESTAY, H. *Copper leaching from wastes electrical and electronic equipment (WEEE) using alkaline monosodium glutamate: Thermodynamics and dissolution tests*. Cleaner Engineering and Technology [en línea]. Diciembre 2021, vol.5. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100312>

PRIYA, Anshu, HAIT, Subrata. *Biometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards using pure and mixed strains of Acidithiobacillus ferrooxidans and Acidiphilium acidophilum*. Process Safety and Environmental Protection [en línea]. Noviembre 2020, vol. 143, pp. 262-272. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.042>

RAM, Prashant, PANDEY, Ashish, PANT, K., NIGAM, K. *Efficient recovery of Cu and Ni from WPCB via alkali leaching approach*. Journal of Environmental Management [en línea]. Octubre 2021, vol. 296. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113154>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española [en línea], 23.^a ed. 2021. [Fecha de la consulta: 18 de abril del 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/metal?m=form>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española [en línea], 23.^a ed. 2021. [Fecha de la consulta: 18 de abril del 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/t%C3%A9cnico>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española [en línea], 23.^a ed. 2021. [Fecha de la consulta: 12 de julio del 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/recuperaci%C3%B3n>

RENE, Eldon, SETHURAJAN, Manivannan, KUMAR, Vinoth, KUMAR, Gopalakrishnan, THI, Bao, BRINDHADEVI, Kathirvel, PUGAZHENDHI, Arivalagan. *Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends*. Journal of Hazardous Materials [en línea]. Agosto 2021, vol. 416. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125664>

ROJAS, N., ROJAS, S., MEDRANO, L., MENDOZA, M. *Recovery of copper through concentration processes from ashes produced by WEEE pyrolysis*. Journal of Applied Research and Technology [en línea]. Abril 2021, vol. 19, no. 2. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.2.1583>

ROMINA, María. Optimización de un proceso biohidrometalúrgico de recuperación de metales de pilas alcalinas y de cinc-carbón agotadas. Tesis (Doctorado). Argentina: Universidad Nacional de la Plata, 2013. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29548/Documento_completo.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR3Z5Isfjv35C5C3inN-m4kO_CBh105HNzz-WAAN5Qwc_GzYD18xf-Z4Ziq

SANCHES, Julio. Manual del Programa RevMan 5.3 [en línea]. Universidad de Murcia. Departamento Psicología Básica y Metodología, 2015. [Fecha de consulta: 28 de abril 2022]. Disponible en: http://innoevalua.us.es/files/perpage/@disenoymedicionenprogramasdeintervenccionneuropsicologica@04_manual_del_revman_5.3.pdf?fbclid=IwAR2O-CrfdO-JYb5ugb5GyAEKdJz_SYeprpVSPmkq0_12yMd2POeF9jwyRY

SETHURAJAN, Manivannan, VAN, Eric, FONTANA, Danilo, AKCIL, Ata, DEVECI, Hydromet, BATINIC, Bojan. *Recent advances on hydrometallurgical recovery of critical and precious elements from end of life electronic wastes - a review*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology [en línea]. Enero 2019, vol. 49, pp. 212-275. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10643389.2018.1540760>

SETHURAJAN, Manivannan, VAN, Eric, NANCHARAI AH, Yarlagadda. *Biotechnology in the management and resource recovery from metal bearing solid wastes: Recent advances*. Journal of Environmental Management [en línea]. Abril 2018, vol. 211, pp. 138-153. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.035>

SILVA, Uca, URIBE, Lina. *Gestión de RAEE derivados de proyectos de dotación masiva de equipamiento* [en línea]. Banco Interamericano de desarrollo, División de educación y Red Latinoamericana de Portales Educativos. 2012 [Fecha de consulta: 18 de abril de 2022]. Disponible en: http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2013/02/10-Gestion-de-residuos-electronicos-en-modelos-1-a-1-nuevo_Layout-1.pdf

TANGRI, Neil, WILSON, Monica. *Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos*. Análisis de Tecnologías de Riesgo [en línea]. Marzo 2017. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en: <http://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Gasificación-y-pirólisis-2017-ESP.pdf>

TAPIA, Juan, DUEÑAS, Alex, CHEJE, Nick, SOCLLE, Gonzalo, PATIÑO, Nila, ANCALLA, Wendy, TENORIO, Sara, DEÑOS, Jorge, HOMAR, Taco, CAO, Weiwei, ALEXANDRINO, Diogo, JIA, Zhongjun, VASCONCELOS, Víctor, CARVALHO, María de Fantima y LÁZARTE, Antonio. *Bioleaching of Heavy Metals from Printed Circuit Boards with an Acidophilic Iron-Oxidizing Microbial Consortium in Stirred Tank Reactors*. Bioengineering [en línea]. Febrero 2022, vol.9, no 2. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/bioengineering9020079>

TRIVEDI, Amber, HAIT, Subrata. *Influences of ferrous iron concentration and mixing speed on metal recovery from waste printed circuit boards using bio-Fenton process*. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Diciembre 2021, vol. 9. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106460>

TRUCILLO, Paola, LANCIA, Amedeo, D'AMORE, Davide, BRANCATO, Bruno, DI, Francesco. *Selective Leaching of Precious Metals from Electrical and Electronic Equipment through Hydrometallurgical Methods*. Chemical Engineering Transactions [en línea]. Junio 2021, vol. 86. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3303/CET2186174>

TUNCUK, Aysenur. *Lab scale optimization and two-step sequential bench scale reactor leaching tests for the chemical dissolution of Cu, Au & Ag from waste electrical and electronic equipment (WEEE)*. Waste Management [en línea]. Julio 2019, vol. 95, pp. 636-643. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.008>

UCEDA, Diógenes. *Hidrometalurgia química e ingeniería* [en línea]. 1.^a edición. Perú: Crea Ediciones Graficas EIRL, 2016 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2022]. Disponible en: https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf?fbclid=IwAR0ervBB1H2hvDH0NTJBo_7wYKefLoeQKx6VMuOKemjZF9INi2QHKim9fHQ

VARGAS, Mariana; *Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos*. Tesis (Título de ingeniero de procesos). Medellín: Universidad EAFIT, 2017. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12231/VargasMu%F1oz_Mariana_2017.pdf?sequence=2

WAGNER, M., BALDÉ, C.P., LUDA, V., NNOROM, I. C, KUEHR, R., IATTONI, G. *Monitoreo regional de los residuos electrónicos para América Latina: resultados de los trece países participantes en el proyecto UNIDO-GEF 5554* [en línea]. Alemania, 2022 [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2022-01/REM_LATAM_2021_ESP_Final_dec_10.pdf

WORDSWORTH, Jamie, KHAN, Nadia, BLACKBURN, Jack, CAMP, Jason, ANGELIS, Athanasios. *Technoeconomic Assessment of Organic Halide Based Gold Recovery from Waste Electronic and Electrical Equipment*. Resources [en línea]. Febrero 2021, vol. 10. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/resources10020017>

XU, Jin, ZHU, Nengwu, YANG, Ruying, YANG, Chong, WU, Pingxiao. *Effects of Extracellular Polymeric Substances and Specific Compositions on Enhancement of Copper Bioleaching Efficiency from Waste Printed Circuit Boards*. Sustainability [en línea]. Febrero 2022, vol.14, no. 5. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su14052503>

ZHANG,Zhi-Yuan, ZHANG, Fu-Shen, YAO, TianQi. *An environmentally friendly ball milling process for recovery of valuable metals from e-waste scraps*. Waste Management [en línea]. Octubre 2017, vol. 68, pp. 490-497. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.029>

ANEXOS

Anexo A: Matriz de variables y operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición
Técnicas de recuperación de metales	Según la RAE (2021) la técnica es un grupo de procedimientos y recursos que son aprovechados por la ciencia o el arte. Los metales son aquellos elementos químicos que conducen el calor y la electricidad, se caracterizan por tener un brillo peculiar y son sólidos cuando están a temperatura ambiente; así mismo forman iones electropositivos o cationes a partir de sus sales de disolución (RAE, 2021)	La variable técnica de recuperación de metales se medirá mediante: tratamientos químicos, tratamientos térmicos y tratamientos biológicos	Tratamientos químicos	Lixiviación	mL, M, %, hr.	De razón
				Bio-Fenton	pH, M, mL, RPM	
				Hidrometalurgia	Kg, hr, T°, M, mL, %.	
			Tratamientos térmicos	Pirolisis	T°, mm, hr, E.	
			Tratamientos biológicos	Bioliixiviación	T°, pH, mL	
				Biohidrometalurgia	T°, pH, mL	
			Composición química	Aluminio (Al)	mg, g	De razón

Recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Según la RAEE (2021) la recuperación es el acto de recuperar algo. RAEE son los que han llegado al final de su vida útil por el desuso de estos aparatos, los que son desechados por los usuarios. Así mismo se considera también como RAEE a sus componentes y accesorios de estos aparatos. (MINAM, 2019)	La recuperación de metales a partir de los RAEE se medirán mediante: la composición química, la característica física y tratamiento a los RAEE		Cobre (Cu) Hierro (Fe) Oro (Au) Paladio (Pd) Plata (Ag) Plomo (Pb) Cromo (Cr) Cadmio (Cd) Níquel (Ni)		
			Característica física	Tamaño	mm, um	
			Tratamiento a los RAEE	Desmontaje manual	-	Nominal
				Clasificación	-	
				Separación	-	
	Trituración	mm, um, cm	De razón			

Anexo B: Etapas de desarrollo de la revisión sistemática

Etapas	Fuentes	Técnicas	Instrumentos	Resultados
Etapa 1: Búsqueda de información	Scopus y ScienceDirect.	Búsqueda bibliográfica	Base de datos del Internet	Recopilación de artículos científicos
Etapa 2: Selección de artículos	Scopus y ScienceDirect	Análisis documental	Escala de Newcastle-Ottawa modificada (Ver Anexo C.1)	Artículos científicos elegidos para el estudio.
Etapa 3: Extracción de los datos para completar las fichas de análisis	Artículos científicos	Revisión	<p>Ficha de análisis 1: Datos generales (Ver Anexo C.2)</p> <p>Ficha de análisis 2: Ficha de análisis de los factores empleados de las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE (Ver Anexo C.3)</p> <p>Ficha de análisis 3: Descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE (Ver Anexo C.4)</p>	<p>- Técnica empleada en la recuperación de metales a partir de RAEE.</p> <p>- Metales recuperados</p> <p>- Cantidad de metal recuperado</p> <p>- Compuestos químicos y parámetros empleados en cada técnica para la recuperación de metales a partir de los RAEE.</p>

<p><i>Etapas 4:</i> Análisis de cada artículo de revisión</p>	<p>Fichas de análisis 1, 2 y 3</p>	<p>Análisis de fichas</p>	<p>Programa RevMan 5.3</p>	<p>Se obtiene el gráfico estadístico a partir de los datos de la revisión y meta-análisis de los artículos de estudio</p>
--	------------------------------------	---------------------------	----------------------------	---

Anexo C: Instrumentos validados

Anexo C.1: Escala de Newcastle - Ottawa modificada

ESCALA NEWCASTLE - OTTAWA MODIFICADA								
N°	AUTOR(ES)	CRITERIOS DE SELECCIÓN			RESULTADO		DATOS ESPECIFICOS	
		Corte de estudio	Representatividad	Exposición	Metales recuperados	Cantidad de metal recuperado	Técnica empleada	Instrumentos adicionales en la identificación de metales
1	Perea, Restrepo, Ihle y Estay	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
2	Murali, Plummer, Shine , Free y Sarswat	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
3	Xu, Nengwu, Yang, Yang y Wu	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
4	Holda y kowska	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
5	Martinez, Valenzuela, Gómez, Encinas-Romero, Mejía, Rosas y Valenzuela	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
6	Dhanalashmi , Menaka, Vignesh, Annam , Manigundan, Shanmugasundaram, Gopikrishnan , Jerrine y Radhakrishnan	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
7	Trucillo, Lancia , D'Amore, Brancato y Di	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

8	Cerecedo, Cárdenas, Rojas, Reyes, Rodríguez, Toro, Gálvez, Acevedo, Hernández y Salinas	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
9	Wordsworth, Khan, Blackburn, Camp y Angelis	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
10	Ram, Pandey, Pant y Nigam	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
11	Trivedi y Hait	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
12	Kohler, Gonçalves, Tavares, Soares y Romano	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
13	Tapia, Dueñas, Cheje, Soclle, Patiño, Ancalla, Tenorio, Deños, Homar, Cao, Alexandrino, Jia, Vasconcelos, Carvalho y Lázarte	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
14	Andrzejewska, Poniatowska, Macherzyński, Wojewodka y Wszelaka	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
15	Rojas, Rojas, Medrano y Mendoza	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
16	Tuncuk	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
17	Panda , Ram, Kishore, Narayan y Bhaskar	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
18	Gonçalves, Kohler , Tavares , Soares y Romano	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
19	Priya y Hait	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
20	Zhang, Zhang y Yao	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Corte de estudios: Corresponde estudios que están entre los años del 2013 al 2022.

Representatividad: Expresa si la muestra representa realmente a los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Exposición: Evalúa los compuestos químicos y parámetros que se emplean (T°, pH, microorganismos, tiempo, RPM, etc) en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Cantidad de metal: Indica cuanto de metal se extrajo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con las técnicas.

Metales recuperados: Indica los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales.

Técnica empleada: Muestra las técnicas que se emplean para la recuperación de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Instrumentos adicionales en la identificación de metales: Indica el empleo de equipos que contribuyeron en la identificación de metales.

Anexo C.2: Ficha de análisis de datos generales



Ficha de análisis N°1: Datos Generales

N°	Autor (es)	Año de publicación	País	RAEE utilizado	Técnica de recuperación	Metal (es) recuperado	Cantidad de metal recuperado	Resultados	Conclusiones
1	Perea, Restrepo, Ihle y Estay	2021	Chile	Pines de computadora	Lixiviación	Cu	92%	Demostraron que para la recuperación del Cu sea en mayor porcentaje, utilizaron 0.5 M de glutamato, 0.03 M de peróxido de hidrógeno, con pH entre 5 -13 y con un tiempo de 2 h de lixiviación	El empleo del glutamato monosódico es el más eficiente en la extracción de Cu, de bajo costo y de una toxicidad baja para el medio ambiente.
2	Murali, Plummer, Shine, Free y Sarswat	2022	U.S.A.	Desechos de usuarios, desechos de LCD, desechos de computadora s portátiles, placas base y discos duros	Biolixivación	Cu	96%	Utilizaron bacterias A. ferrooxidans para la recuperación del cobre, las condiciones óptimas que emplearon fueron 650 mV de Eh inicial, 1,2 de pH, 0,3 ml/min en velocidad de flujo y 72 horas.	Los autores concluyeron que la trituración de los desechos electrónicos permitió la determinación del contenido metálico y así mismo caracterizarlos, haciendo uso de las micrografías SEM pudieron indicar si las partículas trituradas eran heterogéneas y

									fibrosas de formas y tamaños distintos, y para la recuperación del Cu emplearon la biolixiviación
3	Xu, Nengwu, Yang, Yang y Wu	2022	China	Placas de circuito impreso (PCB)	Biolixiviación	Cu	91,9 %	El mayor porcentaje de recuperación de cobre fue al emplear sustancias poliméricas extracelulares sintéticas y A. ferroxidans por un período de 7 días, a una temperatura de 30°C, pH 3.54 y 3.52	Concluyeron que el EPS y A. ferroxidans mejora la eficiencia de recuperación del Cu.
4	Holda y kowska	2021	Polonia	Placas de circuito impreso (PCB)	Biolixiviación	Cu, Al	90,23 %; 60,23 %	El uso de la bacteria Acidithiobacillus ferroxidans permite la remoción de metales de los PCBs, las bacterias tienen que estar a una temperatura de 30°C, con pH 1,8 - 2,5 durante 14 días.	Los autores llegaron a la conclusión de que el uso de la biotecnología para la recuperación de metales y el procesamiento de desechos electrónicos es económico y amigable con el medio ambiente.
5	Martinez, Valenzuela, Gómez, Encinas-Romero, Mejía, Rosas y Valenzuela	2021	México	Placas de circuito impreso (PCB)	Lixiviación	Ag, Au, Pt	97.5%; 99%; 97.9%	El mayor porcentaje de lixiviación de metales fue cuando se empleó 4M de HCl a una temperatura de 40°C y a una presión de 0.34 MPa	Concluyeron que afecta considerablemente la concentración del ácido clorhídrico (HCl) y la temperatura en la lixiviación de los metales.

6	Dhanalashmi, Menaka, Vignesh, Annam, Manigundan, Shanmugasundaram, Gopikrishnan, Jerrine y Radhakrishnan	2019	India	Placas de circuito impreso (PCB)	Biolixiviación	Al, Ca, Cu, Cd, Fe, Ni, Zn, Ag, Pb	66%; 74%; 68%; 65%; 42%; 81%; 82%; 56%; 46%	La bacteria <i>Streptomyces albidofavus TN10</i> recupera distintos metales antes de las 72 horas a condiciones de laboratorio.	Los autores concluyeron que la biolixiviación con <i>Streptomyces albidofavus TN10</i> es un candidato prometido como proceso ecológico y rentable en la recuperación de metales pesados a partir de las placas de circuito impreso.
7	Trucillo, Lancia, D'Amore, Brancato y Di	2021	Italia	Placas de circuito impreso de residuos (WPCB) de impresora genérica gastada, placas bases, modem, amplificador de Wi-Fi y lector de tarjetas	Hidrometalurgia	Cu, Au	96.12%; 19.09 %	La mayor recuperación de Cu y Au fue cuando se utilizó el HCl, H ₂ O ₂ y NaCl a una temperatura de 70°C	Concluyeron que la eficiencia de lixiviación de cobre fue mayor cuando se disminuyó la concentración de HCl, mientras que el aumento en la temperatura disminuyó la selección del cobre en relación al oro.
8	Cerecedo, Cárdenas, Rojas, Reyes, Rodríguez, Toro, Gálvez, Acevedo, Hernández y Salinas	2021	México	Placas de circuito impreso (PCB) de equipos informáticos	Lixiviación	Cu, Au	77,7%; 95,8%	Los mejores resultados en la recuperación del Cu y Au fueron cuando utilizaron 400 mol·m ⁻³ de tiosemicarbazida a una temperatura de 318K, un pH de 7.5 y una agitación de 400RPM	Concluyeron que las concentraciones de tiosemicarbazida para la lixiviación de Cu y Au de 50 a 400 mol·metro ⁻³ y de 200 a 400 mol·metro ⁻³ . Mientras que la

									cantidad de energía para la activación de la lixiviación fue de 9.06 kJ/mol y 18.25 kJ/mol
9	Wordsworth, Khan, Blackburn, Camp y Angelis	2021	Reino Unido	Polvo de oro puro y polvo de RAEE	Lixiviación	Au	61%	La eficiencia de extracción del Au fue a través del empleo del sistema NBS-piridina.	Concluyeron que el NBS-piridina es más competente en la recuperación del Au frente a otros métodos.
10	Ram, Pandey, Pant y Nigam	2021	India	Placas de circuito impreso de residuos (WPCB) de los teléfonos móviles	Lixiviación	Cu, Ni	100 %; 90%	Los resultados más eficientes en la extracción del Cu y Ni fue al emplear NH ₃ , (NH ₄) ₂ SO ₄ y H ₂ O ₂ como lixiviantes a una temperatura de 80°C , con velocidad de agitación de 700 RPM durante 4 horas.	Los autores concluyeron que su trabajo brinda un enfoque prometedor en la recuperación de metales ya que en su proceso de extracción de Cu y Ni utilizaron productos químicos económicos y de fácil acceso. La única limitación durante el proceso fue la eliminación correcta del NH ₃ . Así mismo mencionaron que para sus futuras investigaciones aplicaran la lixiviación del amoníaco para la recuperación del Au, Ag, Pd, Pt y otros elementos de los RAEE.

11	Trivedi y Hait	2021	India	Placas de circuito impreso de residuos (WPCB)	Bio-fenton	Cu, Ni, Pb, Zn	96 %; 82 %; 53 %; 100 %	<p>Demonstraron que la máxima biolixiviación enzimática se dio cuando utilizaron 10mM de Fe^{2+} con una velocidad de agitación de 200 a 300 RPM</p>	<p>El proceso de bio-Fenton permitió una máxima biolixiviación y rápida de los metales debido al deterioro parcial de la matriz polimérica por el hidroxilo ($OH\cdot$) en la exposición de los metales presentes en la WPCB para la oxidación por el Fe^{3+} iones generados a partir de la oxidación catalizada por enzimas de Fe^{2+}</p>
12	Kohler, Gonçalves, Tavares, Soares y Roman	2021	Brasil	Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) de tarjetas de memoria	Hidrometalúrgico	Ag	100%	<p>El experimento se realizó por dos rutas (A y B), rutas A (consto de dos etapas primero lixiviación ácida en medio sulfúrico y la segunda lixiviación ácida en medio sulfúrico y oxidante) y ruta B (consto de la lixiviación ácida en medio sulfúrico y oxidante), siendo el más eficiente en la extracción de Ag la ruta A. La cual consistió en realizar dos veces la lixiviación con H_2SO_4 y en la segunda lixiviación se añadió H_2O_2 a una temperatura de 95°C.</p>	<p>Los diagramas de especiación y de Pourbaix indicaron que se puede proponer diversas rutas para distintos metales en los residuos de placas de circuito. Se planteó dos rutas para la recuperación de Ag en la que se recuperó en un 100%. Así mismo el reciclaje de WPCBs puede ser útil en el abastecimiento de materias primas, para aminorar la contaminación</p>

									ambiental y reducir los riesgos en la salud humana por la mala liberación de sustancias tóxicas.
13	Tapia, Dueñas, Cheje, Socle, Patiño, Ancalla, Tenorio, Deños, Homar, Cao, Alexandrino, Jia, Vasconcelos, Carvalho y Lázarte	2022		Placas de circuito impreso (PCB)	Biolixiviación	Cu, Zn, Au, Sn, Pb, Ag	69%, 91%, 27,9 %, 15,6 %, 0,25%	La extracción de los metales mediante el consorcio acidófilo oxidante de hierro se realizó durante 18 días a una temperatura de 30 ±1 °C, la velocidad de agitación fue de 150 RPM y un pH 2.	En el enriquecimiento de del consorcio bacteriano escogió a favor los microorganismos que usan el hierro las bacterias que prevaleció fue la <i>Leptospirillum</i> , así mismo el consorcio de bacterias fue preadaptada a los desechos mostrando un mejor crecimiento y logrando máximas extracciones de los metales.
14	Andrzejewska, Poniatowska, Macherzyński, Wojewodka y Wszelaka	2019	Polonia	Placas de circuito impreso (PCB)	Lixiviación biológica (biolixiviación)	Cu, Ni y Zinc	100%, 90%, 65%	El experimento consto en la comparación de lixiviación biológica y lixiviación química, siendo la más eficiente la lixiviación biológica la que se realizó a partir del lodo activado a una temperatura de 24°C y con una velocidad de agitación de 120RPM.	La lixiviación biológica puede ser eficaz como la lixiviación química. Sería importante en el futuro realizar estudios empleados los dos métodos para elaborar una recuperación de metales a partir de los RAEE mediante un proceso eficiente y

									respetuoso con el ambiente.
15	Rojas, Medrano, Mendoza y Rojas	2021	Brasil y Colombia	Alambre de cobre (utilizados en instalaciones eléctricas)	Pirólisis	Cu	87%	Después del pirólisis, la ceniza obtenida se separa fisicoquímicamente, siendo la más eficiente en la recuperación del cobre JIG screen.	Para la separación por concentración gravimétrica el uso del JIG screen tuvo mayor eficiencia respecto a otros.
16	Tuncuk	2019	Turquía	Dispositivos de memoria de acceso aleatorio (RAM)	Lixiviación	Cu, Au, Ag	98,73%; 99,98%;96,90 %	El mejor resultado se obtuvo al emplear los dos pasos de lixiviación, el primero fue para recuperar cobre al utilizar H ₂ SO ₄ y H ₂ O ₂ por dos horas. Mientras que el segundo fue para la recuperación de Au y Ag en donde se utilizó I ₂ y H ₂ O ₂ para la lixiviación por 2 horas.	Encontraron que el H ₂ O ₂ es un buen agente oxidante para la extraer Au. Es mejor utilizar I ₂ con H ₂ O ₂ ya que tiene mayor eficiencia en la extracción del oro en un tiempo de 2 horas. Se puede sugerir que para extraer Ag utilizar la combinación de H ₂ SO ₄ y persulfato de amonio
17	Panda, Ram, Kishore, Narayan y Bhaskar	2020	India	Placas de circuito impreso de teléfonos móviles	Pirólisis	Cu, Ni, Zn, Pb	93%; 100%; 100%; 100	La recuperación de los metales fue eficiente al emplear primero la pirolisis y luego tostar los residuos de la pirolisis con NH ₄ Cl a una temperatura de 300°C durante 4 horas.	El tostado a baja temperatura es una técnica novedosa y amigable con el medio ambiente. El residuo obtenido de la pirolisis que se le hizo a los PCB fue rico en metales. A través del tostado al residuo de la pirolisis con NH ₄ Cl y variando

									los parámetros como la temperatura, el tiempo y la dosis de NH ₄ Cl permitió una máxima recuperación de los metales de estudio.
18	Gonçalves, Kohler, Tavares, Soares y Romano	2021	Brasil	Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) placas madre	Hidrometalurgia	Ag, Al, Cu, Fe, Ni Sn, Zn	99.5%;100%; 100%; 100%; 100%; 80.3%; 100%	La mayor recuperación de los metales de estudio fue mediante la aplicación de tres etapas seguidas de lixiviación: la primera lixiviación se hizo con ácido sulfúrico, el segundo se realizó con ácido sulfúrico y peróxido de hidrogeno y la tercera con ácido nítrico.	Presentaron tres etapas sucesivas de lixiviación: el primero con H ₂ SO ₄ , el segundo con H ₂ SO ₄ +H ₂ O ₂ (medio asido oxidante) y el tercero con HNO ₃ . Para que presenten mayor concentración de metales calcularon una nueva relación 1/19 (solido/liquido).
				Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) de trajetas de memoria		Ag, Al, Cu, Fe, Ni Sn, Zn	100%; 100%; 100%;100%; 94%; 81.6%; 93.1%		
19	Priya y Hait	2020	India	Placas de circuito impreso de residuos (WPCBs) de la computadora	Biohidrometalurgia	Cu, Pb, Zn, Ni	99,9%; 99,9%; 99,8%; 99,5%	Para realizar la biohidrometalurgia emplearon dos etapas la primera que se realizó la biolixiviación de los WPCB con cepas mixtas por 18 días y después emplearon una segunda etapa la cual consistió en realizar una precipitación química utilizando Ca(OH) ₂ , NH ₃ , Mg(OH) ₂ y Fe(OH) ₂ para recuperar los metales de estudio con una	El cultivo bacteriano mixto mejora la eficiencia de la biolixiviación de metales ya que la interacción de las dos sepas bacterianas utilizadas (<i>A. ferrooxidans</i> y <i>A. acidophilum</i>) promueven y mantiene el crecimiento y el metabolismo mutualista lo que

								velocidad de agitación de 80 RPM.	permite una mayor solubilización del metal.
20	Zhang, Zhang y Yao	2017	China	Capacitadores cerámicos multicapa (MLCC) y placas de circuito impreso (PCB)	Lixiviación	Zn, Ag, Cu, Pd	95%; 95%; 99,6%; 87,5%	Para la lixiviación utilizaron NaCl y K ₂ S ₂ O ₄ conjuntamente con los residuos electrónicos la cual se mezcló a una velocidad de agitación de 600 RPM durante 6 horas para que la recuperación de los metales de estudios se la máxima.	El proceso de las moliendas de bolas beneficio la lixiviación de los metales siendo más eficiente y rápida

N.D. = No detalla.

Anexo C.3: Ficha de análisis de factores empleados de las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ficha de análisis N°2: Factores empleados de las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE

N°	Autor (es)	Técnica de recuperación	Reactivo (s) utilizado		Microorganismo (s)		Procedimiento	Condiciones experimentales				
			Nombre	Cantidad	Nombre	Cantidad		T°	pH	Velocidad de agitación (RPM)	Tiempo	Otros
1	Perea, Restrepo, Ihle y Estay	Lixiviación	glutamato monosódico (se utilizó como reactivo lixiviante)	0.5 M	N.D.	N.D.	No se realizó ningún tratamiento a los reactivos que se utilizó en la lixiviación, fueron empleados de forma directa.	N.D.	5 a 13	N.D.	2 horas	N.D.
			peróxido de hidrógeno (agente oxidante)	0.03 M	N.D.	N.D.		N.D.	5 a 13	N.D.	2 horas	N.D.
2	Murali, Plummer, Shine, Free y Sarswat	Biolixiviación	N.D.	N.D.	<i>A. ferrooxidans</i>	N.D.	Utilizaron una solución acuosa a 35°C para que los microorganismos empleados se encuentren en condiciones aptas para el desarrollo de la extracción del Cu.	30-35 °C	1,2	N.D.	72 horas	N.D.

3	Xu, Nengwu, Yang, Yang y Wu	Biolixiviación	N.D.	N.D	<i>A. ferrooxidans</i>	20 mL	Emplearon bacterias <i>A. ferrooxidans</i> para la recuperación del cobre a los que se añadieron los PBC y EPS en un matraz durante 7 días, para que después se analizó.	30°C	3.54 y 3.52	165	7 días	Medio de cultivo 9K
			Sustancias poliméricas extracelulares (EPS)	0,5 g/L	N.D.	N.D.		30°C	3.54 y 3.52	165	7 días	N.D.
4	Holda y kowska	Biolixiviación	N.D.	N.D	<i>At. ferrooxidans</i>	N.D.	Utilizaron bacterias <i>A. ferrooxidans</i> en un matraz a la que añadieron PBCs y con la agitación permitió que una interacción entre estos y así recuperar el metal	30°C	1,8 - 2,5	150	14 días	Medio de cultivo 9K
5	Martinez, Valenzuela, Gómez, Encinas-Romero, Mejía, Rosas y Valenzuela	Lixiviación	Ácido clorhídrico (HCl)	4M	N.D.	N.D.	Los reactivos utilizados para la recuperación de metales fueron de grado analítico	40°C	N.D.	600	2 horas	P= 0.34 MPa
			Hipoclorito de sodio (NaOH)	0.067 M	N.D.	N.D.		40°C	N.D.	600	2 horas	N.D.
			Cloruro de sodio (NaCl)	0.017 M	N.D.	N.D.		40°C	N.D.	600	2	N.D.
6	Dhanalashmi, Menaka, Vignesh, Annam, Manigundan, Shanmugasundaram,	Biolixiviación	N.D.	N.D.	<i>Streptomyces albidofavus TN10</i>	N.D.	Se cultivo la cepa actinobacteriana TN10, después	28°	5, 6 y 7	N.D.	7 días	N.D.

	Gopikrishnan, Jerrine y Radhakrishnan						se añadió la cepa a la solución que contenía los residuos electrónicos. Luego por centrifugación las células se separaron a 10.000 RPM por 20 min y el líquido que quedo encima del solido se recolecta en tubos limpios para ser analizados.						
7	Trucillo, Lancia, D'Amore, Brancato y Di	Hidrometalurgia	Ácido clorhídrico (HCl)	3% v/v	N.D.	N.D.	Después de la dismantelación de los residuos electrónicos, estos entran en contacto con la solución lixivante (HCl, H ₂ O ₂ y NaCl), cuando la reacción se realizaba sacaron muestras de licor en viales de vidrio para poder analizarlos.	70°C	N.D.	300	150 horas	N.D.	
			Peróxido de hidrógeno H ₂ O ₂	1 % v/v	N.D.	N.D.		70°C	N.D.	300	150 horas	N.D.	
			Cloruro de sodio (NaCl)	1M	N.D.	N.D.		70°C	N.D.	300	25 horas	N.D.	

8	Cerecedo, Cárdenas, Rojas, Reyes, Rodríguez, Toro, Gálvez, Acevedo, Hernández y Salinas	Lixiviación	Tiosemicarbazida (CH ₅ N ₃ S)	400 mol.m ⁻³	N.D.	N.D.	A un reactor se le añadió el CH ₅ N ₃ S en concentraciones adecuadas y los residuos electrónicos para que pueda extraer los metales, para ello tuvieron que cumplir las siguientes condiciones: temperatura de 318K, 400RPM y un pH de 7.5.	318K	7.5	400	N.D.	N.D.
9	Wordsworth, Khan, Blackburn, Camp y Angelis	Lixiviación	N-bromosuccinimida (NBS)	92 mg	N.D.	N.D.	En agua se añadió la piridina, NBS y el polvo RAEE, el cual se mezcló con una agitación de 400 RPM y a una temperatura ambiente. A través de una filtración se sacó los sólidos y el filtrado se somete ICP-OES para ser analizado.	20 a 25° C	N.D.	400	7 días	N.D.
			Piridina	0,6 mL	N.D.	N.D.		20 a 25° C	N.D.	400	7 días	N.D.

10	Ram, Pandey, Pant y Nigam	Lixiviación	Amoníaco (NH ₃)	90 g/L	N.D.	N.D.	Se preparo una solución acuosa de amonio-sulfuro de amonio y peróxido de hidrogeno en concentraciones adecuadas, después tuvieron que calentaran la solución en un baño de aceite para conseguir la temperatura deseada. Luego se agregó el WPCB triturado a la solución. Posterior a ello la mezcla se filtró y se analizó utilizando el MPAES.	80°C	N.D.	700	4 horas	N.D.
			Sulfato de amonio ((NH ₄) ₂ SO ₄)	180 g/L	N.D.	N.D.		80°C	N.D.	700	4 horas	N.D.
			Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	0,4 M	N.D.	N.D.		80°C	N.D.	700	4 horas	N.D.
11	Trivedi y Hait	Bio-fenton	Glucosa β-D	20 mM	N.D.	N.D.	No se realizó ningún tratamiento a los reactivos que se utilizó en la técnica del bio-Fenton, fueron empleados de forma directa.	30°C	3.5	300	12 horas	N.D.
			Enzima glucosa oxidasa (GO _x)	50 U	N.D.	N.D.		30°C	3.5	300	12 horas	N.D.
			Fe ²⁺	10 mM	N.D.	N.D.		30°C	3.5	300	12 horas	N.D.
12	Kohler, Gonçalves, Tavares, Soares y Roman	Hidrometalúrgico	H ₂ SO ₄	2M	N.D.	N.D.	Los reactivos se utilizaron sin purificación	95°C	N.D.	N.D.	18 horas	N.D.
			H ₂ SO ₅	2M	N.D.	N.D.		95°C	N.D.	N.D.	6 horas	N.D.

			H ₂ O ₂	360mL	N.D.	N.D.	alguna porque eran de grado analítico.	95°C	N.D.	N.D.	6 horas	N.D.
13	Tapia, Dueñas, Soclle, Patiño, Ancalla, Tenorio, Denos, Taco, Cao, Alexandrino, Jia, Vasconcelos, Carvalho y Lazarte	Biolixiviación	N.D.	N.D.	Consortio acidófilo oxidante de hierro	10 % V/V	A partir de los relaves mineros que molieron y pulverizaron se obtuvieron las bacterias, las que pusieron en un matraz de capacidad de 250 mL la que contenía medio de cultivo 9K (150 mL) con un pH 2, este cultivo se incubo durante 46 días en un agitador orbital (150 RPM)	30 ±1 °C	2	150	18 días	Flujo de aire = 500 mL/min
14	Andrzejewska, Poniatowska, Macherzyński, Wojewódka y Wszelaka	Lixiviación biológica (biolixiviación)	N.D.	N.D.	Bacterias a partir de lodos activados	N.D.	N.D.	24°C	N.D.	120	9 días	N.D.
15	Rojas, Medrano, Mendoza y Rojas	Pirólisis	Piedra caliza	20kg	N.D.	N.D.	No se realizó ningún tratamiento.	900°C	N.D.	N.D.	4 horas	N.D.
16	Tuncuk	Lixiviación	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0.3 M	N.D.	N.D.	Los reactivos empleados para el estudio fueron de grado de laboratorio.	Temperatura ambiente	N.D.	N.D.	2 horas	N.D.
			Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1 M	N.D.	N.D.		Temperatura ambiente	N.D.	N.D.	2 horas	N.D.
			Yodo (I ₂)	3%	N.D.	N.D.		Temperatura ambiente	N.D.	N.D.	2 horas	N.D.

			Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	3%	N.D.	N.D.		Temperatura ambiente	N.D.	N.D.	2 horas	N.D.
17	Panda, Ram, Kishore, Narayan y Bhaskar	Pirólisis y lixiviación	Cloruro de amonio (NH ₄ Cl)	3 g/g	N.D.	N.D.	No se hizo ningún tratamiento a los reactivos se utilizó tal como lo recibieron.	300°C	N.D.	N.D.	4 horas	N.D.
18	Gonçalves, Kohler, Tavares, Soares y Romano	Hidrometalurgia	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	2M	N.D.	N.D.	Todos los reactivos utilizados son de grado analítico	95 °C	N.D.	N.D.	18 horas	N.D.
			Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	15 mL	N.D.	N.D.		96 °C	N.D.	N.D.	6 horas	N.D.
			Ácido nítrico (HNO ₃)	10 M	N.D.	N.D.		±25°C	N.D.	N.D.	2 horas	N.D.
19	Priya y Hait	Biohidrometalurgia	N.D.	N.D.	Sepas mixtas de dos acidófilos (<i>A. ferrooxidans</i> y <i>A. acidophilum</i>)	10 mL	La cultivación de las cepas bacterianas fue mixta en un medio silverman y Lundgren 9k con modificaciones en su composición (NH ₄) ₂ SO ₄ : 3,0 g/L, KCl: 0,1 g/L, Ca (NO ₃) ₂ : 0,01 g/L, MgSO ₄ .7H ₂ O: 0,5 g/L, K ₂ HPO ₄ : 0,5 g/L, FeSO ₄ .7H ₂ O: 45 g/L, KH ₂ PO ₄ :	30°C	2.5	170	18 días	N.D.
			Hidróxido de calcio (Ca(OH) ₂)	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	11 a 12	80	N.D.	N.D.	
			Amoníaco (NH ₃)	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	11	80	N.D.	N.D.	
			Hidróxido de magnesio (Mg(OH) ₂)	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	7 a 11	80	N.D.	N.D.	

			Hidróxido de hierro (Fe(OH) ₂)	N.D.	N.D.	N.D.	0,5 g/L y azufre en polvo: 25 g/L. La incubación fue de 24 a 48 horas. N.D.	Temperatura ambiente	5,5	80	N.D.	N.D.
20	Zhang, Zhang y Yao	Lixiviación	NaCl	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	N.D.	600	6 horas	N.D.
			K ₂ S ₂ O ₈	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Temperatura ambiente	N.D.	600	6horas	N.D.

N.D. = No detalla

Anexo C.4: Ficha de análisis de descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ficha de análisis N°3: Descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE

N°	Autor (es)	Técnica de recuperación	Proceso físico			Proceso químico	Proceso de análisis de resultados	
			Cantidad de RAEE	Tratamiento al RAEE	Tamaño de los RAEE		Uso de equipos o materiales en la identificación de metal (es)	Tipo de programa utilizado
1	Perea, Restrepo, Ihle y Estay	Lixiviación	N.D.	N.D.	N.D.	Agitación magnética a temperatura ambiente y a presión atmosférica, manteniendo constante la concentración de las soluciones.	Microscopios Electrónicos de Barrido (SEM) e intensidades de elementos EDX	Hydra-Medusa
2	Murali, Plummer, Shine, Free y Sarswat	Biolixiviación	N.D.	Trituración completar con más detalles	212–500 μ M	Establecieron las condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos y la ejecución de la recuperación del metal, ya que las soluciones del experimento siempre estuvieron a 35°C	Microscopios Electrónicos de Barrido (SEM)	ANOVA
3	Xu, Nengwu, Yang, Yang y Wu	Biolixiviación	12 g/L	Trituración, tamizaje completar con más detalles	0,180 - 0,425 mm	La biolixiviación lo realizaron en un matraz de 500mL el cual en su interior contenía 200mL de medio 9K y 20mL de A. ferroxidans. Luego de 24 horas se agregó 12g/L de PBC de residuos después se volvió a cultivar a 30°C y a 165RPM, posterior a ello se le agrego 0,5g/L de EPS sintético para que puedan entrar en contacto entre ellos.	Microscopio electrónico de barrido (SEM)	N.D.

4	Holda y kowska	Biolixiviación	N.D.	Trituración, tamizaje completar con más detalles	0-1mm	La biolixiviación se llevó a cabo en un matraz Erlenmeyer de capacidad de 500 ml, empleando un agitador incubador Lab Companion IST-3075 a 150 rpm y 30°C. En el interior del matraz había 200mL de medio 9K al que se añadió los residuos electrónicos junto con el cultivo de las bacterias para que este creciera en presencia de los desechos electrónicos.	Espectrofotómetro de absorción atómica Philips PU-9100x	N.D.
5	Martinez, Valenzuela, Gómez, Encinas-Romero, Mejía, Rosas y Valenzuela	Lixiviación	N.D.	Los PCB se trataron con hidróxido de sodio luego se enjuago con agua para luego ser cortado y pulverizado.	-177 µm	En la lixiviación se utilizó un reactor PARR de Titanio con capacidad de 1 L al que se añadió el agente lixiviante (HCl), los oxidantes (NaClO y NaCl), los desechos electrónicos y agua de grifo con una agitación de 600RPM por 2 horas, la presión se mantuvo constante en el interior del reactor debido a que introdujeron oxígeno.	Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS)	N.D.
6	Dhanalashmi , Menaka, Vignesh, Annam , Manigundan, Shanmugasundaram, Gopikrishnan , Jerrine y Radhakrishnan	Biolixiviación	5 g	Los PCB se pusieron dentro de 10 M NaOH y fue dejado por 48 horas, después sacaron y lavaron con agua de grifo, posterior a ello los PCB fueron llevados al secador de bandeja por 40 minutos y finalmente fue tamizado.	120 µm	En un matraz cónico de 500mL de capacidad, se inoculó 200mL de caldo de extracto de malta y extracto de levadura a la cepa actinobacteria TN10 que tuvo mayor resistencia a concentración de metales, el cual se incubó en una incubadora con agitación a 28°C de temperatura y 120 RPM por 24-48 horas. Después se separaron las células del caldo de cultivo por centrifugación a 10.000 RPM por 10 min. Luego se cogió el sedimento y se lavó con agua destilada estéril dos veces. Posterior a ello se agregó 1g de PCB y el pH	SEM, FTIR y XRD.	N.D.

						fue ajustado a 5,6 y 7. Sucesivo a ello se inoculó la cepa actino bacteriana TN10 de cultivo fresco de 48 h a una solución que tenía PCB. Mientras tanto los matraces mantuvieron la agitación en 110 RPM por 120 horas.		
7	Trucillo, Lancia , D'Amore, Brancato y Di	Hidrometalurgia	3 g	Aplicaron un desmantelamiento manual hasta llegar hasta conseguir el tamaño promedio de los WPCB	2x2 cm2	Los residuos electrónicos entraron en contacto con los lixiviantes (HCl, H ₂ O ₂ y NaCl) haciendo una reacción química a una temperatura de 70°C y con velocidad de agitación de 300RPM. Se añadieron los tres reactivos para la recuperación de los metales, ya que el empleo de un solo reactivo toma más tiempo recuperar los metales.	Espectrofotómetro de Absorbedor Atómico (AAS)	N.D.
8	Cerecedo, Cárdenas, Rojas, Reyes, Rodríguez, Toro, Gálvez, Acevedo, Hernández y Salinas	Lixiviación	10 g	Los RAEE fueron desmantelados y cortados para reducir el tamaño, posterior a ello fueron digeridos con agua regia (mezcla química del HCl y HNO ₃ en una proporción de 3:1).	N.D.	El experimento se realizó en un reactor de fondo plano de 500 mL, el cual se encontraba encima de una placa de calentamiento con agitación magnética y control de temperatura a las que se agregó los PCB y el CH ₅ N ₃ S (reactivo para la lixiviación) para que estos entre en contacto, así mismo se agregó NaOH al reactor para ajustar el pH.	Espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP)	N.D.
9	Wordsworth, Khan, Blackburn, Camp y Angelis	Lixiviación	200 mg	Trituraron y tamizaron los RAEE hasta conseguir polvo fino	N.D.	En 50 mL de agua se realizó la mezcla de piridina, NBS y los RAEE; así mismo se añadió NaOH para mantener el pH en 8.5. La mezcla se realizó con una agitación de 400RPM a temperatura ambiente.	Espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP- OES), Espectrometría de Masa con Plasma	N.D.

							Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	
10	Ram, Pandey, Pant y Nigam	Lixiviación	10g	Los residuos electrónicos se trituraron	1 mm	La reacción química se llevó a cabo en un reactor de forma redonda para realizar la mezcla, para mantener la temperatura constante se realizó baños de aceite y se utilizó un termómetro. Así mismo se utilizó un condensador para evitar pérdidas de agua y NH ₃ a altas temperaturas se realizó un sistema de circuito cerrado. Al reactor se añadió los amonio-sulfuro de amonio y peróxido de hidrogeno, después se añadió 10 g de residuos electrónicos por un periodo de cuatro horas.	Espectrómetro de emisión atómica de plasma por microondas (MP-AES)	N.D.
11	Trivedi y Hait	Bio-fenton	N.D.	Utilizaron acetona para eleminar el polvo despues cortarón y tamizaron los WPCB	0,038 a 1 mm	El proceso de bio-Fenton se llevó a cabo en matraces cónicos cerrados con capacidad de 1 L, el cual contenía glucosa B-D , enzima Go _x (biocatalizador) y el Fe ²⁺ , el pH fue ajustado a 3.5 con la solución diluida de NaOH, después se agregaron los residuos de WPCB. Posterior a ello los matraces se incubaron a 30°C en una incubadora agitadora, la velocidad de la mezcla estuvo en 300RPM. Después las muestras fueron filtradas y analizadas con ICP-MS	Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	N.D.
12	Kohler, Gonçalves, Tavares, Soares y Roman	Hidrometalurgico	100 g	Fue triturado y se le agrego agua regia por 24 horas para la digestión quimica	< 2 mm	El experimento de la ruta A, se lixivio a los residuos por 18 horas con ácido sulfúrico (2M) a una temperatura de 95°C, luego se filtró y seco, después el desecho seco paso a una segunda	Espectroscopía de Plasma ICP-OES	N.D.

						lixiviación con 2M de H ₂ SO ₄ a la que se agregó 15mL de H ₂ O ₂ cada 15 min durante las 6h de lixiviación. Luego se sacó el licor para realizar el análisis químico en el ICP-OES		
13	Tapia, Dueñas, Cheje, Soclle, Patiño, Ancalla, Tenorio, Deños, Homar, Cao, Alexandrino, Jia, Vasconcelos, Carvalho y Lázarte	Biolixiviación	10 g/L	Separación manualmente, corte y trituración de los PCB, luego fueron lavados Con NaCl para eliminar partículas tóxicas para el metabolismo bacteriano	≤ 300 μm	Se llevo a cabo en un tanque agitado con capacidad de 5 L, así mismo colocaron los reactores sobre la resistencia de cocción unida a un pirómetro digital con la finalidad de conservar la temperatura, también introdujeron aire de forma controlada mediante un difusor de burbujas tipo anillo a fin de quitar bacterias y partículas de polvo. Dentro del reactor se encontraba 3L del medio de cultivo de 4,5 K, para ajustar el pH 2 se utilizó H ₂ SO ₄ , también se inoculo el consorcio de hierro acidófilo (10% v/v). Pasados los 5 días se observó el crecimiento y por ende la oxidación, en este punto fue que se añadió los 10g/L de los residuos. Durante 18 días fueron monitoreados manteniendo contaste la temperatura, la agitación y el flujo de aire.	Espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (Nexion350D-Perkinelmer, Waltham, MA, EE. UU.)	N.D.
14	Andrzejewska, Poniatowska, Macherzyński, Wojewodka y Wszelaka	Lixiviación biológica (biolixiviación)	N.D.	N.D.	N.D.	La biolixiviación se realizó a partir de lodos activados, el cual fue la fuente de bacterianas (autótrofas y heterótrofas), para el cual se empleó una proporción de 1:1 de lodos activados y 1% de S en polvo.	Espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplado inductivamente (ICP-OES)	N.D.
15	Rojas, Medrano, Mendoza y Rojas	Pirólisis	230 kg	N.D.	N.D.	La pirólisis se llevó a cabo con piedra caliza y los RAEE, las que estuvieron expuestas a una temperatura de	Difracción de rayos X (XRD)	N.D.

						900° por 4 horas a una presión atmosférica. Sucesivo a ello las muestras se enfriaron en un reactor y las cenizas obtenidas de la pirólisis se recogieron para ser homogenizada, luego se separó el contenido metálico de la ceniza mediante la separación fisicoquímica. Para el cual emplearon el JIG screen en un medio líquido (agua) para la recuperación del metal.		
16	Tuncuk	Lixiviación	N.D.	Los dispositivos RAM fueron triturados.	-0,250 mm	La lixiviación se hizo en dos pasos y se llevó a cabo en reactores de capacidad de 2L. El primer paso consistió en realizar la lixiviación con H ₂ SO ₄ (lixivante) y H ₂ O ₂ (oxidante) para la recuperación del cobre de los residuos RAM. En el segundo paso lixiviación se realizó empleando I ₂ (lixivante) y H ₂ O ₂ (oxidante) para la extracción de oro y plata de los residuos RAM.	Espectrómetro de absorción atómica (AAS)	ANOVA
17	Panda, Ram, Kishore, Narayan y Bhaskar	Pirólisis	N.D.	Las placas de circuito impreso de los teléfonos móviles fueron trituradas	1 mm	En un reactor tubular se pirolizó los PCB triturados a una temperatura de 400°C por 30 minutos, luego el residuo sólido obtenido de la pirólisis se enfrió a una temperatura ambiente. Después el residuo de la pirólisis en presencia de NH ₄ Cl (3 g/g) se tostó en un horno de mufla controlada digitalmente en presencia de aire el cual se hizo a una temperatura de 300°C por 4 horas y posteriormente se usó agua como	Espectroscopia de emisión atómica de plasma de microondas (MPAES, Agilent, 4210)	N.D.

						solvente de lixiviación para recuperar los metales.		
18	Gonçalves, Kohler, Tavares, Soares y Romano	Hidrometalurgia	100g	N.D.	N.D.	<p>El proceso de hidrometalurgia consistió de tres etapas sucesivas de lixiviación: la primera lixiviación que se hizo a los residuos WPCB fue con H₂SO₄ (2M) por 18 horas a una temperatura de 95°C para la extracción de Fe; la segunda lixiviación se hizo con H₂SO₄ (2M) y H₂O₂ (15mL cada 15 minutos) por 6 horas a una temperatura de 95°C para la recuperación de Cu; la tercera lixiviación se realizó con HNO₃(10M) a una temperatura ambiente durante 2 horas esto se aplicó para la extracción de los demás metales de estudio.</p>	Microscopía electrónica de barrido acoplada con espectroscopía de dispersión de energía (SEM/EDS-Phenom SEM, modelo ProX)	N.D.

19	Priya y Hait	Biohidrometalurgia	N.D.	Los WPCB mediante un molino de corte pulverizaron los residuos y luego tamizaron	0.075 -1 mm.	La biohidrometalurgia consto de dos etapas: la primera fue la biolixiviación mixta (A. ferrooxidans y A. acidophilum) que se llevó a cabo en matraces de capacidad de 1L las que contenían el medio Silverman y Lundgren 9K y a las que se añadieron los WPCB triturados, para luego ponerlas en una incubadora con una agitación de 170 RPM y a 30°C. Después de 18 días de biolixiviación se sacó el licor biolixiviado. Para realizar la segunda etapa, precipitación química se utilizó el licor biolixiviado a la que se le añadió Ca (OH) ₂ para precipitar Cu con un pH alrededor de 11-12, también empleo amoniaco para recuperar Zn por precipitación en un pH de 11, también utilizo Fe(OH) ₂ para precipitar Ni con un pH 5,5 y uso Mg(OH) ₂ para precipitar Pb con pH de 7-11, este experimento de realizo a 80 RPM de velocidad de agitación así mismo para ajustar el pH utilizo 10M de HCl y 0,1 M.	Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y microscopio electrónico de barrido con espectroscopía de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDX)	N.D.
20	Zhang, Zhang y Yao	Lixiviación	N.D.	Los residuos fueron triturados con una trituradora de martillos y después se utilizó un separador centrífugo de aire para conseguir los	< 25 mm	El experimento se llevó a cabo en un molino de bolas planetario, los reactivos (NaCl y K ₂ S ₂ O ₈) y los residuos electrónicos se juntaron en un recipiente de corindón de capacidad de 250ml con bolas de zirconio con una velocidad de agitación de 600 RPM por 6 horas. Luego la muestra molida se mezcló con HCl en un matraz en donde la	Espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, Prodigy, Leeman, EE. UU.) y difracción de rayos X (XRD)	N.D.

				componentes metálicos		mezcla se realizó un agitador magnético por 15 minutos para que después sea filtrado la mezcla y analizado.		

N.D. = No detalla

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: M.Sc. GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Recopilación de datos generales
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth |

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 28 de noviembre del 2021

FIRMA DEL EXPERTO

INFORMANTE

DNI N° 43566120 Telf.

Ficha de análisis 2: Escala de Newcastle-Ottawa modificada

ESCALA NEWCASTLE - OTTAWA MODIFICADA								
N°	AUTOR(ES)	CRITERIOS DE SELECCION			RESULTADO		DATOS ESPECIFICOS	
		Corte de estudio	Representatividad	Exposición	Metales recuperados	Cantidad de metal (es) recuperado	Técnica empleada	Instrumentos adicionales en la identificación de metales

Corte de estudios: Corresponde estudios que están entre los años del 2012 al 2022.

Representatividad: Expresa si la muestra representa realmente a los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Exposición: Evalúa los compuestos químicos y parámetros que se emplean (T_°, pH, microorganismos, tiempo, RPM, etc) en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Cantidad de metal: Indica cuanto de metal se extrajo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con las técnicas.

Metales recuperados: Indica los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales.

Técnica empleada: Muestra las técnicas que se emplean para la recuperación de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Instrumentos adicionales en la identificación de metales: Indica el empleo de equipos que contribuyeron en la identificación de metales.

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: M.Sc. GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Escala de Newcastle-Ottawa modificada
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: ~~Gutierrez~~ Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en <u>cuanta</u> los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Lima, 28 de noviembre del 2021



FIRMA DEL EXPERTO

INFORMANTE

DNI N° 43566120 Telf.

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: M.Sc. GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA
 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Factores empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE
 1.5. Autor(A) de Instrumento: ~~Gutierrez~~ Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en <u>cuanta</u> los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85

Lima, 28 de noviembre del 2021



 FIRMA DEL EXPERTO
 DNI N° 43566120 Telf.

INFORMANTE

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: M.Sc. GÜERE SALAZAR FIORELLA VANESSA
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en <u>cuanta</u> los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

85%

Lima, 28 de noviembre del 2021

INFORMANTE

FIRMA DEL EXPERTO
DNI N°43566120. Telf.

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Danny Alonso Lizarzaburu Aguinaga
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente Asociado de la Universidad Cesar Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y Gestión de Residuos.
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Recopilación de datos generales
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

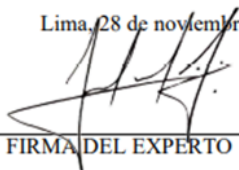
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 28 de noviembre del 2021


FIRMA DEL EXPERTO

INFORMANTE

CIP: 95556 Telf. 995978529

Ficha de análisis 2: Escala de Newcastle-Ottawa modificada

ESCALA NEWCASTLE - OTTAWA MODIFICADA								
N°	AUTOR(ES)	CRITERIOS DE SELECCIÓN			RESULTADO		DATOS ESPECIFICOS	
		Corte de estudio	Representatividad	Exposición	Metales recuperados	Cantidad de metal (es) recuperado	Técnica empleada	Instrumentos adicionales en la identificación de metales

Corte de estudios: Corresponde estudios que están entre los años del 2012 al 2022.

Representatividad: Expresa si la muestra representa realmente a los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

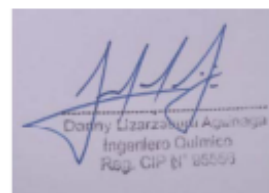
Exposición: Evalúa los compuestos químicos y parámetros que se emplean (T°, pH, microorganismos, tiempo, RPM, etc) en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Cantidad de metal: Indica cuanto de metal se extrajo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con las técnicas.

Metales recuperados: Indica los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales.

Técnica empleada: Muestra las técnicas que se emplean para la recuperación de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Instrumentos adicionales en la identificación de metales: Indica el empleo de equipos que contribuyeron en la identificación de metales.



I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Danny Alonso Lizarzaburu Aguinaga
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente Asociado de la Universidad Cesar Vallejo
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y Gestión de Residuos.
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Escala de Newcastle-Ottawa modificada
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

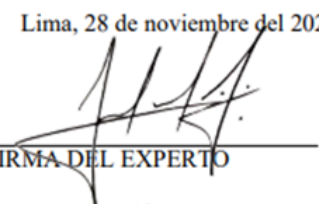
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 28 de noviembre del 2021



 FIRMA DEL EXPERTO

INFORMANTE

CIP: 95556 Telf. 995978529

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Danny Alonso Lizarzaburu Aguinaga
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente Asociado de la Universidad Cesar Vallejo
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y Gestión de Residuos.
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Factores empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 28 de noviembre del 2021



 FIRMA DEL EXPERTO

INFORMANTE

CIP: 95556 | Telf. 995978529

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Danny Alonso Lizarzaburu Aguinaga
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente Asociado de la Universidad Cesar Vallejo
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y Gestión de Residuos.
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

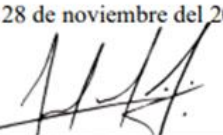
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 28 de noviembre del 2021


 FIRMA DEL EXPERTO
 CIP: 95556 Telf. 995978529

INFORMANTE

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Recopilación de datos generales
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 28 de noviembre del 2021



LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
DNI: 70837735
CIP: 162994

INFORMANTE

FIRMA DEL EXPERTO
DNI N° 70837735.....Telf. 979705110

Ficha de análisis 2: Escala de Newcastle-Ottawa modificada

ESCALA NEWCASTLE - OTTAWA MODIFICADA								
N°	AUTOR(ES)	CRITERIOS DE SELECCION			RESULTADO		DATOS ESPECIFICOS	
		Corte de estudio	Representatividad	Exposición	Metales recuperados	Cantidad de metal (es) recuperado	Técnica empleada	Instrumentos adicionales en la identificación de metales

Corte de estudios: Corresponde estudios que están entre los años del 2012 al 2022.

Representatividad: Expresa si la muestra representa realmente a los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Exposición: Evalúa los compuestos químicos y parámetros que se emplean (T^o, pH, microorganismos, tiempo, RPM, etc) en las técnicas de recuperación de metales a partir de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Cantidad de metal: Indica cuanto de metal se extrajo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con las técnicas.

Metales recuperados: Indica los metales que se extrajeron con las técnicas de recuperación de metales.

Técnica empleada: Muestra las técnicas que se emplean para la recuperación de metales de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Instrumentos adicionales en la identificación de metales: Indica el empleo de equipos que contribuyeron en la identificación de metales.



LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
 DNI: 70837735
 CIP: 162994

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Escala de Newcastle-Ottawa modificada
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en <u>cuanta</u> los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 28 de noviembre del 2021

LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
DNI:70837735
CI P: 162994

INFORMANTE

FIRMA DEL EXPERTO
DNI N°70837735.....Telf. 979705110

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Factores empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en <u>cuanta</u> los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 28 de noviembre del 2021

LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
DNI: 70837735
CI P: 162994

INFORMANTE

FIRMA DEL EXPERTO
DNI N° 70837735.....Telf. 979705110

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Tratamiento y gestión de los residuos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Descripción de los procesos empleados en las técnicas de recuperación de metales a partir de los RAEE
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Gutierrez Ramos, Karen Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en <u>cuanta</u> los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 28 de noviembre del 2021


LUCERO KATHERINE CASTRO TENA
DNI: 70837735
CI P: 162994

FIRMA DEL EXPERTO
DNI N° 70837735 Telf. 979705110

INFORMANTE