



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tecnologías de recuperación de metales preciosos a partir de  
los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): Una  
Revisión Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Diaz Chacchi, Jerson Wilder Cesar ([orcid.org/0000-0003-3568-7570](https://orcid.org/0000-0003-3568-7570))

Escarcena Perez, Frank Manuel ([orcid.org/0000-0003-0754-5639](https://orcid.org/0000-0003-0754-5639))

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio ([orcid.org/0000-0003-1485-5854](https://orcid.org/0000-0003-1485-5854))

**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 de investigación está dedicado principalmente a nuestros padres que con esfuerzo nos han dado su apoyo incondicional en todo este proceso formativo, y que este logro sirva de herramienta para guiar cada uno de sus pasos.

## AGRADECIMIENTO

Nuestra gratitud a dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por darnos fortaleza para llegar hasta donde hemos llegado, por brindarnos una vida llena de aprendizajes y experiencias.

Mi agradecimiento a la Universidad César Vallejo que nos dio todo y abrió sus puertas del conocimiento y en especial a nuestro asesor el Dr. Sernaque Auccahuasi Fernando Antonio por compartir su conocimiento y tiempo en el proceso de nuestro proyecto de tesis.

## Índice de contenidos

Carátula .....	
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice de contenido.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras .....	vi
Índice de abreviaturas.....	vii
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	3
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	16
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes .....	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	18
3.6. Procedimiento .....	18
3.7. Rigor científico .....	20
3.8. Método de análisis de dato .....	21
3.9. Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	22
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS.....	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Uso de los metales preciosos</i> .....	10
Tabla 2. <i>Concentración de metales preciosos en los circuitos impresos de los celulares</i> .....	11
Tabla 3. <i>Matriz Operacional</i> .....	17

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Procedimiento para obtener metales preciosos por el proceso pirometalúrgico a partir de tarjetas, placas, RAEE</i> .....	12
Figura 2: <i>Procedimiento para obtener Au por cianuración de tarjetas de computadoras</i> .....	14

## RESUMEN

Los RAEE, contienen metales preciosos de las cuales se encuentran en las computadoras, laptops, teléfonos móviles, scraps, discos duros, placas de circuito impreso, etc. Es así que estos residuos han provocado problemas ambientales y a la salud de las personas. Por ello se optó por soluciones factibles, donde los metales preciosos pueden recuperarse de manera eficiente y eficaz por distintas tecnologías, con el objetivo de analizar mediante una revisión sistemática las tecnologías de recuperación de metales preciosos a partir de los RAEE, y por ende se planteó la siguiente premisa, cuáles son las tecnologías de recuperación de metales preciosos en los RAEE. Por tal motivo se llevó a cabo el desarrollo de esta investigación, la cual es aplicada debido a las revisiones bibliográficas existentes y extraídas de las páginas como Sciencedirect, Scielo, Scopus y otras revisiones importantes que mediante la información extraída sirvió para formar la matriz de categorización distribuida en categorías y subcategorías. Se concluye que la tecnología más usada en la recuperación de metales preciosos es la tecnología pirometalúrgica y que las partes donde contienen metales preciosos son en los scraps de teléfonos móviles, placas de circuito impreso, discos duros y en las placas de los CPU.

**Palabras clave:** RAEE, metales preciosos, tecnologías de recuperación

## **ABSTRACT**

WEEE contains precious metals that are found in computers, laptops, mobile phones, scrap metal, hard drives, printed circuit boards, etc. This is how these residues have caused environmental and health problems for people. For this reason, feasible solutions were chosen, where precious metals can be recovered efficiently and effectively by different technologies, with the aim of analyzing, through a systematic review, the technologies for the recovery of precious metals from WEEE, and for this reason the following premise was raised, what are precious metal recovery technologies in WEEE. For this reason, the development of this research was carried out, which is applied due to the existing bibliographic reviews and extracted from pages such as Scencedirect, Scielo, Scopus and other important reviews that, through the extracted information, served to form the matrix. of categorization distributed in categories and subcategories. It is concluded that the most used technology in the recovery of precious metals is the pyrometallurgical technology and that the parts where they contain precious metals are in scrap mobile phones, printed circuit boards, hard drives and CPU boards.

**Keywords:** WEEE, precious metals, recovery technologies



## I. INTRODUCCIÓN

Las personas han optado por la tecnología y se está generando más demanda por la compra de estos aparatos electrónicos que son necesarios para nuestras actividades de hoy (Chaverra hincapie 2018), debido a la excesiva compra, la creciente demanda de estos aparatos electrónicos y electrónicos (AEE) va en incremento en cuanto a su elaboración, generando más extracción de las materias primas dañando el ambiente y perjudicando la salud (Lehtinen et al. 2014). Para el año 2012 los aparatos electrónicos que se desecharon ya sean por renovación o por estar estropeados acaban en los vertederos, sin saber que utilizaron 320 toneladas de oro y 7500 toneladas de plata valorados en un conjunto de 21 mil millones de dólares al año (Ruiz 2014). Los metales preciosos se utilizan en casi todos los dispositivos electrónicos creados por el hombre como teléfonos móviles, televisores, laptops, computadoras, etc. (Basilio y Romero 2020). Los RAEE contienen materiales valiosos como metales preciosos, metales base, plásticos que son susceptibles de ser reciclados como (Au, Ag, Pd y Pt) (Perea et al. 2021). Según estudios realizados con el apoyo de la cooperación suiza, para el año 2016 se generaron 160 mil toneladas de RAEE en el Perú, de los cuales el 90% son aparatos electrodomésticos (Minam 2017). Los desechos electrónicos contienen grandes cantidades de metales preciosos y no metales, los cuales representan más del 95% de su valor total (Díaz et al, 2017), (Silva y Baigorrotegui 2020). Los metales preciosos se recuperan de diferentes fuentes secundarias y es una alternativa novedosa, ya que contienen varios metales que los minerales promedio (Gámez et al. 2019). Existe una empresa llamada Boliden, que se encarga de reciclar estos aparatos eléctricos y electrónicos, en un informe detalló que 1000 kg de celulares se puede recuperar entre 150 a 400 g de Au, 500 a 700 g de Ag y 500 a 150 kg de Cu (Lopez 2019). Enseguida se planteó el siguiente problema general: ¿Cuáles son las tecnologías de recuperación de metales preciosos en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?, de igual forma los problemas específicos son: ¿Cuáles son las tecnologías de recuperación más usadas?, ¿qué metales preciosos contienen los RAEE al extraerse?, ¿en cuál de las partes podemos encontrar los metales preciosos en los residuos electrónicos? La investigación

por el contrario justifica, a nivel teórico dar a conocer a través de una serie de recopilación de datos sobre los distintos tipos de tecnologías, que permitan recuperar los metales preciosos procedentes de los residuos eléctricos y electrónicos como antecedentes para futuras investigaciones quienes están interesados en ampliar y dar nuevos aportes. En cuanto al objetivo principal de esta investigación; analizar mediante una revisión sistemática las tecnologías de recuperación de metales preciosos en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Por lo que planteamos los objetivos específicos; identificar las tecnologías de recuperación en los RAEE, identificar los metales preciosos extraídos de los aparatos eléctricos y electrónicos, identificar las partes que contienen metales preciosos en los RAEE.

## II. MARCO TEÓRICO

(Serpe 2018), La investigación tiene como objetivo la importancia de los RAEE y los metales preciosos que hay dentro de estos, el mundo está votando constantemente sus aparatos electrónicos convirtiéndolos en residuos, esto es debido a las nuevas tecnologías y el cambio constante de los AEE. Para la recuperación de estos metales preciosos, el método hidrometalúrgico se aplica ampliamente como un paso de recuperación de oro y plata a partir de cianuro o soluciones de agua regia, la eficiencia de ambos métodos y la pureza de los metales recuperados dependerá estrictamente de la selectividad, con las condiciones apropiadas y soluciones de lixiviación de buena calidad, se puede lograr altos rendimientos y purzas en la recuperación de estos metales preciosos. El resultado de la recuperación de oro, cobre y plata a través de tres etapas principales: disolución del metal base por HCl 1:5 (N<sub>2</sub>, 24h); disolución de cobre y plata por NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> 1/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (temperatura ambiente, 48h); y disolución de oro por Me<sub>2</sub>dazdt 2I<sub>2</sub> en solución de acetona (temperatura ambiente, 30°C). Cada paso fue seguido por un proceso de reducción química o electroquímica para recuperar metales y reactivos. Las condiciones citadas demostraron ser efectivas en pequeñas cantidades (10 25 g) de muestra de prueba, obteniendo rendimientos de recuperación casi cuantitativos de los diferentes metales en alta pureza (95% y 95%), el proceso de recuperación sostenible de NM se aplicó sobre una muestra de placas de circuito (PCB) triturada.

(Li et al. 2019). La presente investigación internacional tiene como objetivo incentivar por diversas legislaciones y el valor intrínseco de los metales críticos en su interior, se ha desarrollado un nuevo proceso de recuperación electroquímica (ER) como una alternativa prometedora a las tecnologías basadas en procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos existentes para recuperar metales básicos, metales preciosos y elementos de tierras raras (REE) de los desechos electrónicos, Los resultados experimentales indican que el proceso ER tiene un menor consumo de productos químicos, un control mejorado y una demanda de energía reducida en comparación con los procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. Para cuantificar y comparar los resultados medioambientales de las tres tecnologías, se ha llevado a cabo un análisis del

ciclo de vida. Los resultados muestran que el proceso ER supera a los otros dos procesos en casi todas las categorías de impacto adoptadas en TRACI e ILCD, mientras que no hay un ganador claro entre los procesos hidrometalúrgico y pirometalúrgico.

(Tuncuk 2019), Esta investigación tiene como objetivo extraer metales preciosos de dispositivos de memoria de acceso aleatorio (RAM) de desecho en diferentes soluciones. Para ello se realizaron pruebas de lixiviación de reactor a escala de banco secuencial de dos pasos para extraer cobre (98,73 %), oro (99,98 %) y plata (96,90 %) de forma grupal y selectiva con alta extracción de estos metales en las piezas de memoria de los dispositivos. Los resultados mostraron que la extracción de oro y plata fue del 96,81% y 99,02% respectivamente bajo las siguientes condiciones: concentración de yodo al 2% y peróxido de hidrógeno al 3% como agente oxidante, relación sólido/líquido al 5% y periodo de lixiviación de 2 h. concluyendo así que el enfoque de lixiviación en dos pasos es el método más apropiado y seguro para la extracción selectiva de metales específicos de los dispositivos RAM de desecho, Los resultados mostraron que la extracción de oro y plata fue del 96,81% y 99,02% respectivamente.

(López 2019), Tuvo como objetivo anunciar el destino de varias tecnologías que se están desarrollando en todo el mundo para la extracción y recuperación de metales preciosos en RAEE, para la industria de las telecomunicaciones, y más durante un período de exploración que abarca de 1997 a 2017, identificando así los estudios en todo el mundo en los que se desarrollan y utilizan distintos métodos como son hidrometalúrgicos, metalúrgicos y biométricos para orientar a un buen manejo adecuado de estos residuos y como parte de recuperación de estos metales en dichos materiales inoperantes. Finalmente, contribuyeron al desarrollo de estudios legales y técnicos para la correcta disposición de los RAEE, así como a la identificación de tecnologías para recuperar los metales y tierras raras contenidos en ellos. Sin embargo, aún no se ha desarrollado una política ambiental para el manejo seguro de los desechos eléctricos y electrónicos.

(Işıldar et al. 2016) Tiene como objetivo desarrollar una estrategia eficiente para la biorrecuperación ecológica de cobre y oro a partir de placas de circuito impreso (PCB) usadas en un proceso de limpieza biológica de dos componentes. En el primer paso se utilizaron los acidófilos fotoquímicoquímicos *Acidithiobacillus ferrivorans* y *Acidithiobacillus thiooxidans*. En el segundo paso, se utilizan *Pseudomonas fluorescens* heterótrofas y *Pseudomonas putida* productoras de cianuro. Los resultados mostraron que a una densidad de pulpa de 1%, se blanqueó 98,4% de cobre con una mezcla de *A. ferrivorans* y *A. trióxido* a pH 1,0-1,6 y temperatura ambiente ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) después de 7 días. P puramente cultural. La putida (cepa WCS361) produjo 21,5 ( $\pm 1,5$ ) mg/l de cianuro a partir de 10 g/l de glicina como sustrato. Este agente complejante de oro se usó en el siguiente paso de blanqueo biológico utilizando material de PCB lavado con Cu, se movilizó 44,0 % de oro en condiciones alcalinas a pH 7,3-8,6 y  $30^\circ\text{C}$  durante 2 días. Este estudio proporcionó una prueba de concepto de un enfoque de dos pasos para la biodegradación de metales a partir de PCB utilizando agentes de lixiviación microbianos.

(Andrade et al. 2022), con el objetivo de promover el manejo adecuado de estos materiales, así como para la recuperación ambientalmente racional de la materia prima secundaria. Este documento revisa importantes métodos existentes y tecnologías emergentes en la gestión de RAEE, con especial énfasis en la caracterización, extracción y recuperación de materiales preciosos de los desechos de computadoras y teléfonos móviles. Las tecnologías pirometalúrgicas e hidrometalúrgicas tradicionales aún juegan un papel central en la recuperación de metales, Esto confirmó que la mayoría de las técnicas de muestreo directo, como la espectroscopia de descomposición inducida por láser (LIBS) y la fluorescencia de rayos X (XFR), tienen varias ventajas sobre los métodos de clasificación tradicionales, incluida una respuesta analítica rápida, sin el uso de reactivos químicos o generación de desechos, y una mayor recuperación de materiales preciosos y críticos en el flujo de RAEE.

(Gu et al. 2019), con el objetivo de identificar limitaciones en los desarrollos de métodos actuales que dificultan el reciclaje de WMP, La mayoría de los procesos de reciclaje de WMP se han desarrollado para recuperar metales

preciosos (como el oro y la plata) de las placas de circuito impreso (PCB) de los teléfonos móviles, a través de procesos de lixiviación ácida. Sin embargo, a menudo se pasan por alto los pasos de pretratamiento y separación necesarios para concentrar el flujo de residuos para una extracción eficiente. Generalmente, los rangos de tamaño de partícula utilizados en los ensayos de laboratorio son más pequeños que los utilizados en la práctica industrial actual, ya que no es económicamente factible adquirir tamaños de partículas tan pequeños industrialmente. Existe una tendencia actual a reemplazar los ácidos inorgánicos utilizados para la lixiviación de metales con lixiviantes más amigables con el medio ambiente, sin embargo, la industrialización de estos enfoques no es económicamente viable.

(Mendoza Muñoz et al. 2016), con el objetivo de investigar la recuperación de oro, cobre y plata a través del tratamiento biológico de desechos electrónicos no aptos para su uso en placas de circuito impreso de computadoras. Uno de los métodos es el blanqueo biológico, que se realiza sobre la cepa bacteriana *Pseudomonas chlororaphis* para evaluar la eficiencia del proceso de extracción de metales. Además, la cinética microbiana continúa estableciendo una tendencia alcista. La actividad bacteriana se evaluó a dos temperaturas (28°C) y el efluente se muestreó cada 5 días para poder así determinar la concentración del metal presente. Finalmente, se evaluó la eficiencia de recuperación de los metales y se obtuvieron los mejores resultados a 28 °C: 12,2 % para Au, 0,91 % para Cu y no se detectó plata; mientras que a temperatura en ambiente tuvo la eficiencia que es de 2,91% para Au y 0,20% para Cu.

(Merli et al. 2022). La investigación tiene como objetivo la recuperación de metales preciosos en residuos de placas y tarjetas electrónicas por la tecnología biolixiviación, las bacterias pueden extraer buena cantidad de metales preciosos de estos residuos electrónicos. El método de esta investigación biolixiviación, se centró en una bacteria llamada *Pseudomonas aeruginosa*, (*P. aeruginosa*) se cultivó inicialmente en ausencia de desechos electrónicos en un matraz de 1 L que contenía 450 mL de medio NB y 50 mL de cultivo bacteriano. Las condiciones de crecimiento para la máxima producción de cianuro se eligieron considerando el plan CCD-RSM: se agregó 1 g/L de glicina al medio de

crecimiento y el pH para el crecimiento bacteriano se fijó en 8. Después de 20 h de crecimiento bacteriano, tiempo requerido para la máxima producción de cianuro, se añadió 1 g/L de WPCBs al cultivo bacteriano y se ajustó el pH a 9 mediante la adición de NaOH 2 M. El resultado de la extracción de plata alcanzó un 90% y no solo eso también recuperaron un 20% de Au, se observó una tendencia creciente en la movilización de Ag desde las 24 hasta las 168 h. Estos resultados fueron muy prometedores.

(Sronsri et al. 2021) Los objetivos de este trabajo fueron (i) la extracción y recuperación de metales industriales usando oxidante suave, extracción en columna y electrodeposición, (ii) extracción y recuperación de oro selectivamente usando tiourea ácida y adsorción en un adsorbente de bajo costo, (iii) extracción y recuperación selectiva de elementos de tierras raras mediante extracción anaeróbica, precipitación y descomposición térmica, y (iv) investigación de la eficiencia y la cinética de extracción y recuperación en diferentes condiciones operativas para lograr la mayor tasa de recuperación de metales con un mínimo. En el método se utilizó agua desionizada (18,2 cm) para disolver y diluir los reactivos químicos. Los teléfonos móviles desechados se compraron en tiendas de segunda mano en Bangkok, Tailandia, y se trituraron mecánicamente después de quitarles las baterías. Después de triturarlos, se usó un imán para separar la parte magnética de la parte no magnética. La parte no magnética se molió más con bolas para formar la muestra. Se cargaron exactamente 30 g de la muestra en una botella a base de polietileno de 250 ml (60 mm de diámetro) con 400 g de bolas de zirconio (5 mm de diámetro) y 20 ml de agua desionizada. El molino de bolas se hizo funcionar durante 6 h a una velocidad de rotación de 100 rpm. El resultado de la investigación logró separar las partes magnéticas y no magnéticas de los desechos electrónicos y se realizó la recuperación elemental de las muestras mediante extracción selectiva.

(Yaya Lévano y Coaquira Yapu 2019). La presente investigación nacional menciona la recuperación de oro en residuos electrónicos, existen diferentes tecnologías el objetivo fue realizar la recuperación del oro por métodos convencionales por oxidación selectiva con persulfato de potasio y cloruro de cobre. Los métodos de proceso, que tratan el peroxidisulfato de potasio y el

cloruro cúprico, establecen tiempos de reacción más cortos, el tratamiento requiere un monitoreo constante debido a que el ácido clorhídrico y el cloro gaseoso pueden formarse durante la reacción. Determinar la oxidación sobre el sustrato y la actividad del persulfato de potasio en diferentes concentraciones por cada 100 g de muestra, se preparan soluciones en diferentes proporciones, se incluyen en 15 kg de una fuente mineral para realizar una oxidación selectiva, se divide en una sustancia total. El resultado cuando se trató con solución de persulfato de potasio al 20% p/v y se eliminó durante 90 minutos, se obtuvo oro en el rango de 5630g, 5712 g. y 0,680 gramos.

Los RAEE y sus componentes, dentro del marco teórico encontramos los residuos electrónicos o basura electrónica a partir de celulares, televisores, laptop, computadoras, etc. Una vez llegado a su vida útil, sin embargo, los componentes se pueden aprovechar, ya que tienen componentes no peligrosos y peligrosos (Lozano 2019), por ejemplo: cobre (Cu), aluminio (Al), plástico, vidrio, entre otros; la existencia de las sustancias peligrosas es el arsénico (As), mercurio (Hg), cromo (Cr), (Bautista vargas et al. 2015). Los componentes que requieren más tratamiento para recuperar son; el (Au), (Ag), (Pt), (Pd), es así un claro incentivo para su adecuada gestión, pues refinar estos metales de forma adecuada contribuirá no solo a los ingresos económicos, también al medio ambiente y a la disminución de extracción de recursos naturales (Bautista Avella y Valderrama Doza 2021). Se llama metales preciosos a los metales que se encuentran en estado libre en el entorno natural. Entre ellos El Au, Ag, Pd y Pt, son los más populares (Nekhili et al. 2021). El oro (Au) es un metal pesado como un metal noble junto a la plata y el cobre, se considera que a lo largo de la historia se han extraído de la corteza terrestre más de 100.000 toneladas de oro. De los cuales el 70% en los últimos 100 años posee gran conductibilidad por lo que es utilizado en aplicaciones electrónicas de alta fidelidad (Lopez fernandez 2007). El oro se utiliza en mínimas piezas para repuestos que son necesarios para el funcionamiento de los aparatos electrónicos, como son los teléfonos móviles y el sistema para rastreo satelital, es dúctil y maleable, es un buen conductos de calor y electricidad (Vega granillo y Samano tirado 2013), tiene grandes propiedades como resistencia a la corrosión, ductilidad,



reflectividad y maleabilidad que permiten que la energía desarrolle reflectores eficientes. La plata es dura, más que el oro y es fundamental en distintas industrias y campos, tales como en la fotografía, conductores eléctricos, galvanización, soldadura y joyería, es también un poderoso catalizador de numerosas reacciones químicas (Rodríguez heredia 2017). El 70% extraída de la plata es destinada a fines industriales, el 30 % a la orfebrería y fines monetarios, de igual manera a la industria fotográfica, las actividades médicas, industria eléctrica, para la fabricación de contactos para generadores eléctricos, también para la fabricación de circuitos integrados, pulsadores electrónicos y teclados de ordenador (medina hernandez y mejia silva 2015). Los ejes económicos reseñados tuvieron como primordial función la exportación de plata que es producida en Perú y en Nueva España en dirección a las economías de Europa y de China y que América había producido 87% de este metal en el mundo (Bonialian y Hausberger 2018). El paladio es el metal más cotizado a nivel mundial, a diferencia de otros elementos químicos (aranda castillo 2020). Es muy buen catalizador en la fabricación de ácido sulfúrico, en forma de polvo, de igual manera también como catalizador en procesos de hidrogenación (Nordberg), Al reciclar estos metales de los artefactos electrónicos, llegan a tener gran importancia en la conservación de los recursos, del medio ambiente y la economía por las propiedades que contienen (power porto 2007). El platino es un metal que menos abunda en la tierra, naturalmente se encuentra junto a otros elementos como el níquel, el cromo y el cobre, primordialmente es usado como catalizador para la elaboración de farmacéuticos, químicos y en las industrias petroleras (alvarez gonzales 1987), casi el 40% de este metal es utilizada en los convertidores catalíticos (Gasque 2017), los metales como, oro, plata, paladio, etc., son utilizados en la producción de los AEE; mediante el reciclaje de los equipos viejos estos metales se recuperan, para luego ser utilizados en la producción de nuevos equipos y de esta manera economizar los recursos naturales y energía (Pecci et al. 2016). Se describe el uso de los metales preciosos dentro de los aparatos eléctricos.

**Tabla 1:** *Uso de los metales preciosos.*

<b>Ítems</b>	<b>Metales Preciosos</b>	<b>Usos en aparatos eléctricos y electrónicos</b>
<b>1</b>	<b>Oro (Au)</b>	El oro es usado en la elaboración de aparatos electrónicos como son los celulares, computadoras, televisores, calculadoras, entre más. Las participaciones de resistencia a la corrosión, como conductividad eléctrica y alto grado de maleabilidad, hacen del oro el material indispensable para la fabricación de microcables de grosor pequeñas para los microcircuitos electrónicos o también los microchips (Poveda avila et al. 2015).
<b>2</b>	<b>Plata (Ag)</b>	La plata es esencial en la electrónica, porque es usada para la elaboración de semiconductores como los circuitos impresos e integrados dispositivos flexibles e imprimibles, sistemas microelectromecánicos, electrónica del automóvil, electrónica de consumo (Pedraza 2020).
<b>3</b>	<b>Paladio (Pd)</b>	El paladio como catalizador se ha propuesto una alternativa más al ser un convertidor catalítico, es valioso por las propiedades fisicoquímicas que contiene, la cual es apto para ser utilizado en los condensadores y otros componentes de nuestros dispositivos electrónicos (arreola sanchez et al. 2017).
<b>4</b>	<b>Platino (Pt)</b>	El platino y uso científicos y comercial e intervención, es decir, en las formas de intervenir en el mundo, se destaca en la industria para el desarrollo de artefactos tecnológicos con alta demanda de aplicación en diferentes sectores (Aristizabal fuquene 2014).

**Fuente:** *Elaboración propia*

Un circuito impreso o también llamado (PCBs), son tarjetas o placas que se usan para realizar la instalación de los diferentes elementos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas (Pelaez Ayala y Rodriguez palomino 2018), diferentes componentes como el Ag, Au, Pd, Pt, se recuperan en derretimientos de metales en estos circuitos impresos (Borraz mingorance 2001). Se muestra la recuperación de metales preciosos extraídos de teléfonos móviles.

**Tabla 2:** *Concentración de metales preciosos en los circuitos impresos de los celulares*

<b>Metal</b>	<b>En residuos de aparatos eléctricos y electrónicos WEEE (ppm)</b>	<b>En residuos de aparatos eléctricos y electrónicos WEEE (Kg)</b>
Au	350	64,75
Ag	1380	255,30
Pd	210	38,85

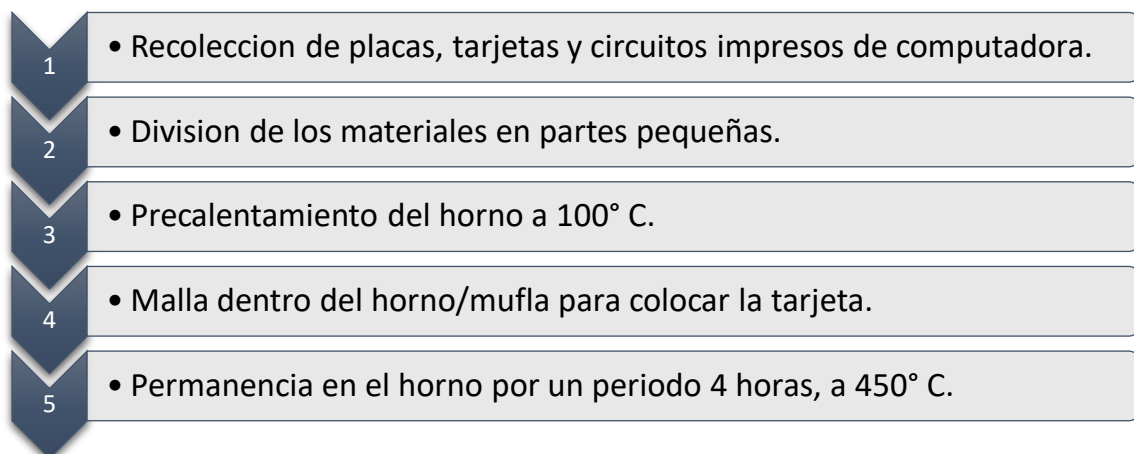
Fuente: (Ponce Olivera 2013), (Aristizabal alzate et al. 2021).

Los RAEE tienen muchos metales preciosos y no metales, es por esto el interés en descubrir nuevas tecnologías de recuperación de estos metales preciosos. Sin embargo, no todos son eficaces ya que cada tecnología realiza la recuperación en diferente porcentaje; entre ellos mencionamos, la hidrometalúrgica consiste en extraer metales a través de reacciones en medio acuoso, la tecnología pirometalúrgica su objetivo es el obtener y purificar los metales por medio de calor (Zhang y Xu 2016). Por otro lado, las tecnologías biometalúrgicas o biolixiviación esta tecnología realiza la recuperación de metales por microorganismos generando menos impactos negativos y cuidando al medio ambiente. Por último, la tecnología por procesos químicos, son tecnologías con gran efectividad mediante productos químicos muy tóxicos y peligrosos (Marra et al, 2018). El método hidrometalúrgico,

encontramos un costo bajo, este proceso ha demostrado ser exitoso para la lixiviación de metales en los RAEE (Li et al. 2018). Pero la recuperación de estos metales suele ser laboriosa, además reduce el impacto ambiental y eleva la recuperación de metales preciosos en los RAEE (MUÑOS VARGAS 2017). Un proceso hidrometalúrgico implica el pre tratamiento mecánico para los desechos, la lixiviación de metales mediante una lixiviación adecuada, la pureza de la solución de lixiviación y la recuperación de metales (Tunsu y Retegan 2016). Los metales a menudo están cubiertos por diversos materiales en placas de circuito impreso, se necesita un proceso de pretratamiento mecánico para exponer los metales de interés a la acción del reactivo de lixiviación, y por lo tanto a facilitar su extracción eficiente (Tuncuk et al. 2012). El proceso pirometalúrgico consiste en la recuperación de metales preciosos de diferentes materiales de desechos; la fundición en hornos, la incineración, la combustión, pirólisis, sales fundidas y procesos piro químicos. El tratamiento pirometalúrgico en los RAEE varía en todo el mundo, la forma física y el tamaño de los materiales (Ebin y Isik 2016), la alta temperatura en el horno o la fundición se genera por la combustión de combustible o calefacción eléctrica (Veglio y Birloaga 2018).

Se muestra en la figura el proceso para la obtención de metales preciosos.

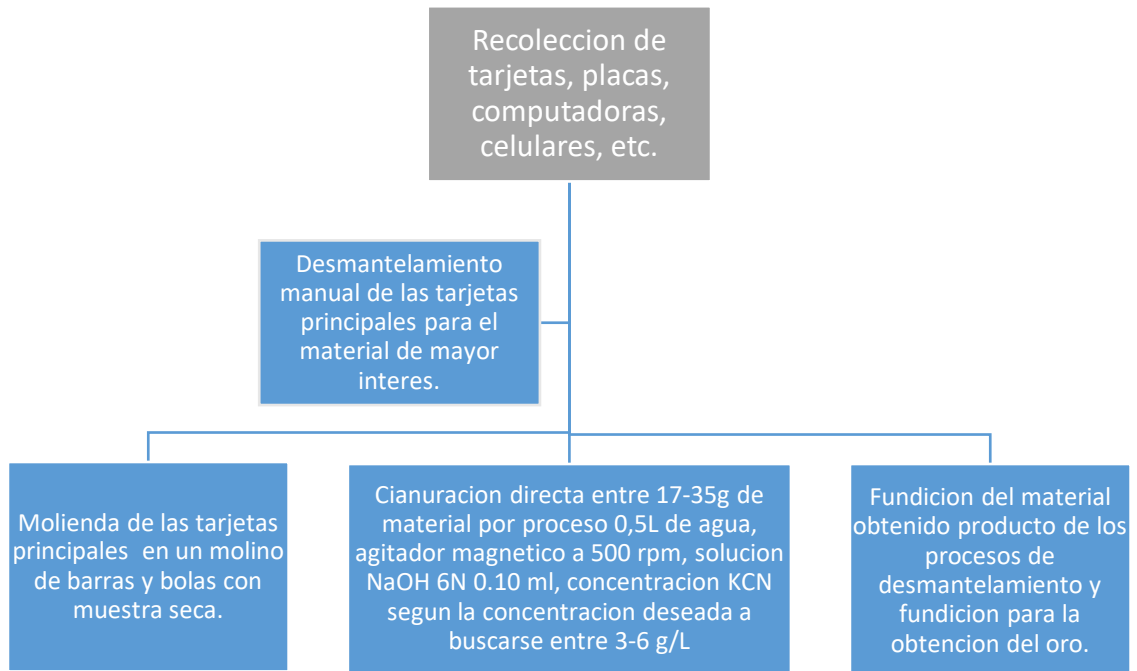
*Figura 1:* Procedimiento para obtener metales preciosos por el proceso pirometalúrgico a partir de tarjetas, placas, RAEE.



Fuente: (Ramirez Pelcastre 2018).

La técnica de biometalurgia o biolixiviación que emplea principalmente microorganismos acidófilos para la extracción de metales de RAEE (Kanaujia et al. 2021). Este método requiere mucho tiempo a pesar de su mayor eficiencia, es un proceso de distintas materias primas naturales, de productos reciclados a partir de residuos electrónicos mediante la participación directa o indirecta de bacterias (Marra et al. 2018). Es así como encontramos un proceso de recuperación dentro de estos tres metales; Au, Cu, Ni, fueron analizados por su valor comercial y sus diversas aplicaciones en la industria electrónica (Universidad Complutense de Madrid 2014). Por ello la biolixiviación fue una de las mejores opciones, ya que se realizó extracción del oro, plata, cobre por cepas *Aspergillus Níger*, en los RAEE. Teniendo como resultado (Au) 42%, (Ag) 87% y (Cu) 24% en residuos de celulares y computadoras (Madrigal 2014). Esta tecnología realiza la recuperación de metales preciosos por tecnología química altamente peligrosos realizando una extracción mucho más alta (Risco et al. 2021). Sin embargo, el proceso es mediante una mezcla de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), fluoruro de hidrógeno (HF) y ácido clorhídrico (HCl), luego los metales se recupera mediante lixiviación química obteniendo la recuperación de Au, Ag, Cu, Pb y Sn (Pietrelli et al. 2019). En el último siglo se ha usado la cianuración para procesos de metalurgia, a la hora de captar el oro se obtiene una mayor cantidad de extracción. El cianuro debe estar diluido en una solución y el mineral molido listo para realizar el proceso de dilución en presencia de cal y oxígeno, para luego recuperar el metal que está dentro de placas y tarjetas de RAEE (Valdez Alcivar 2020). A continuación, referimos el procedimiento para obtener metales preciosos.

Figura 2: Procedimiento para obtener Au por cianuración de tarjetas de computadoras.



Fuente: (Valdez Alcivar 2020).

La electrólisis es una tecnología nueva usada para la recuperación de metales preciosos (Li et al, 2019) nos menciona los métodos realizados y los resultados exitosos por parte de esta nueva tecnología que consiste en separar elementos mediante la electricidad.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y Diseño de investigación:

El objetivo de la investigación aplicada, es generar conocimientos que puedan aplicarse en la sociedad para el desarrollo de un problema y tal estudio se forma sobre la base de las teorías desarrolladas a través de la investigación básica (Arispe, A., 2020, p.62-64). Por otro lado, la investigación aplicada también se denomina investigación utilitaria porque implica la formulación de problemas concretos con el fin de identificar soluciones inmediatas y aplicarlas a través de la integración de teorías preexistentes (Baena, 2017, p. 17-19). Basándose en lo anterior, el presente estudio se desarrolló utilizando un enfoque de teorías y conceptos existentes que tenían como objetivo recoger información, así como estudios anteriores que implican determinar las estrategias tecnológicas para la recuperación de metales preciosos en RAEE.

Ahora bien, el enfoque cualitativo de la investigación es un proceso interpretativo, lo que significa que se basa en la investigación de diferentes metodologías para desarrollar un problema humano o social. También conduce a la comprensión de fenómenos y al descubrimiento de un conjunto organizado de conocimientos, que son todos resultados importantes de la investigación cualitativa. (Iño, W., 2018, p.95-97) Como alternativa, el diseño de investigación narrativa se centra en proporcionar pruebas a partir de testimonios, hechos, opiniones o experiencias relevantes. Este tipo de diseño permite la investigación, el conocimiento y la interpretación del mundo subjetivo, a diferencia del diseño de investigación cuantitativo (Alan, D. y Cortez, L., 2017, p.78-81). En cambio, el diseño narrativo cualitativo de los temas busca describir y analizar las ideas, y este conocimiento se deriva de la recogida de datos de fuentes como revistas, documentos y artículos que sean relevantes para el investigador (Salgado, 2007, p.72).

No obstante, el presente estudio pretende determinar si la recuperación de metales preciosos de los equipos eléctricos y electrónicos de residuos tiene un impacto en la preservación de los recursos medioambientales, es nuestro objetivo llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura existente con el fin

de desarrollar un conjunto de conceptos e ideas sobre las tecnologías de recuperación en los RAEE, que acentúan la importancia de su tratamiento adecuado para el cuidado tanto en la salud pública como en los recursos naturales.

### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.**

La tabla 3 de categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.



**Tabla 3: Matriz Operacional**

<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Unidad de análisis</b>
¿Cuáles son las tecnologías de recuperación más usadas?	identificar las tecnologías de recuperación en los RAEE.	Tecnologías de recuperación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pirometalúrgica</li> <li>- Hidrometalúrgica</li> <li>- biometalurgia</li> <li>- Químicos</li> <li>- Electrólisis</li> </ul>	(Ebin y Isik, 2016, p.107),(Veglio y Birloaga, 2018,p.30), (Valdez Alcivar,2020,p.30), (Li, Eksteen y Oraby,2018,p.122), (Muños Vargas, 2017,p.13),(Tunsu y Retegan,2016,p.139), (Tuncuk, 2019,p.636), (Kanaujia et al,2021,p.109),(Marra et al,2018,p.180), (Madrigal,2014,p.2), (Risco, Sucunza y Gonzales-Egido,2021,p.105).
¿Qué metales preciosos contienen los RAEE al extraerse?	identificar los metales preciosos extraídos de los aparatos eléctricos y electrónicos.	Metales preciosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Oro</li> <li>. Paladio</li> <li>. Plata</li> <li>. Platino</li> </ul>	(Lopez Fernandez,2007,p.15), (Vega granillo y Samano tirado,213,p.55), (Rodriguez heredia,2017,p.12), (Medina Hernandez y Mejia Silva,2015,p.110), (Aranda Castillo,2020,p.26), (Power Porto,2007,p.18), (Alvarez Gonzales,1987,p.32), (Gasque,2019,p.45).
¿En cuál de las piezas podemos encontrar los metales preciosos en los residuos electrónicos?	identificar las partes que contienen metales preciosos en los residuos electrónicos	Tipos de Piezas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placas de circuito</li> <li>Memorias RAM</li> </ul>	(tuncuk, 2019,p.14),(Işıldar et al,2016,p.40),(Mendoza Muñoz et al,2016,p.37)

### **3.3. Escenario de estudio**

Un escenario de estudio se define como el ambiente, espacio, o el entorno en el que se generan los resultados de la problemática (Hernández, 2014, p.514). De acuerdo a ello, el presente estudio está enfocado describir las tecnologías de recuperación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, es decir el escenario de estudio considerado son todas las tecnologías existentes, la recuperación de metales preciosos a partir de los RAEE, así como los residuos electrónicos que contienen los metales preciosos.

### **3.4. Participantes**

En este estudio, los participantes fueron fuentes de información, como artículos en las revistas indexadas ScienceDirect, Scopus, Scielo; dado que esta búsqueda y estas bases de datos contienen miles de artículos que han superado los criterios de evaluación de la calidad, por la misma razón también se consideran artículos electrónicos indexados.

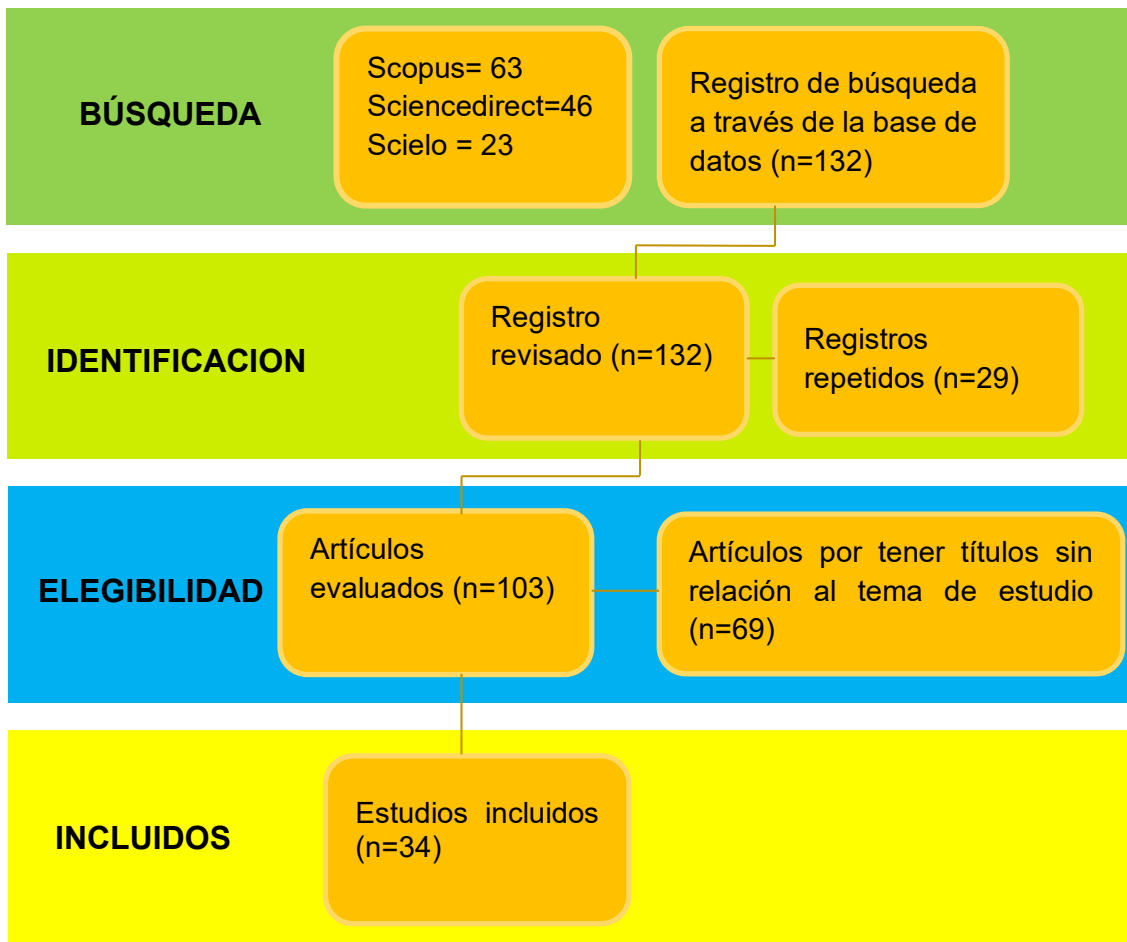
### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica que se usa en este estudio es la recolección de información, realizada de manera sistemática y propositiva durante el proceso de recolección de datos, con objetivos claros en cuanto a la cantidad y profundidad de la información a recolectar (Torres et al, 2019). La revisión sistemática es una forma de investigación que recopila y proporciona resúmenes de un tema en particular (Aguilera Eguia, 2014). Por lo cual el instrumento utilizado en la investigación es mediante la ficha de análisis de contenido, con la recopilación de información que nos permite organizar y categorizar la información para el análisis estadístico (ANEXO 1).

### **3.6. Procedimiento**

Para el desarrollo del presente estudio de investigación, se realizó una búsqueda de artículos originales utilizando las siguientes bases: Scopus, Scielo y ScienceDirect, estos trabajos son investigaciones de carácter nacional e internacional.

**Figura 3: Metodología prisma.**



La exploración de las bases de datos fueron: En inglés, las siguientes palabras clave fueron; precious AND metal AND recovery AND technology AND weee AND (LIMIT-TO (OA, "publisherfullgold")) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2022 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2019 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2018 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2015 ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) )

Para poder realizar la búsqueda de información se consideró lo siguiente; artículos del año 2015 al 2022 en idioma inglés.

En total se encontraron 46 artículos en Science Direct, 63 artículos originales en Scopus, 23 artículos en Scielo de los cuales fueron extraídos para esta investigación. Los artículos encontrados fueron (n=132) donde: Sciencedirect (n=46), Scopus (n=63), Scielo (23), posteriormente se realizó la selección de identificación para artículos donde obteniéndose con un total (n=132).

Enseguida se descartó los artículos repetidos (n= 29), Seguidamente se clasificó por elegibilidad obteniéndose (n=103), sin embargo, se descartó artículos por tener títulos sin relación al tema (n=69) debido a que no mencionaron los metales preciosos, no mencionan tecnologías de recuperación. Por consecuente se encontró 34 artículos para analizarlos y organizar los resultados.

### **3.7. Rigor científico**

El presente estudio cualitativo tiene 4 componentes para garantizar el trabajo, a continuación, criterios para los rigores científicos:

La dependencia es el nivel de solidez y coherencia de los resultados de la investigación determina el grado dependiente que es. La investigación produce resultados fiables que se basan en artículos científicos revisados y que cumplen con los objetivos establecidos para proporcionar una solución al problema identificado (Valencia y Mora 2015, P. 503). La dependencia se aplica porque se basa en diferentes investigaciones con resultados similares y con objetivos similares, que a su vez satisfacen los objetivos que se establecieron al principio.

La credibilidad se refiere a la validez de los resultados, teniendo en cuenta la forma de comunicación y las opiniones de los miembros del estudio cuando se relacionan con la investigación (Noreña et al., 2012, p. 267). El criterio de credibilidad se aplica al presente trabajo porque se revisaron diferentes investigaciones reconocidas para determinar cuáles son las tecnologías que logran recuperar los metales preciosos de los residuos electrónicos.

En el proceso de transferencia, es el incremento del conocimiento de los investigadores sobre el tema de estudio, donde podrán obtener información veraz del problema y de la investigación (Castillo y Vasquez 2003). La transferibilidad se aplica al presente trabajo porque los resultados obtenidos pueden ayudar a seguir con investigaciones similares en temas relacionados a los RAEE, metales preciosos en los RAEE, tecnologías de recuperación.

La fiabilidad o la confirmación se define como el proceso de aplicar una técnica repetidamente al mismo objetivo y observar que siempre consigue el mismo resultado. También pretende revelar la veracidad de los resultados sin estar influenciado por los intereses propios del autor (Valencia y Mora 2015, P. 504). Se consideró el criterio de fiabilidad o confirmación es decir aplicar las estrategias tecnológicas para la recuperación de metales preciosos en los RAEE, y que estas sean siempre con resultados positivos sin que sean alterados por interés propio.

### **3.8. Método de análisis de datos**

En el proceso de análisis de información, se utilizan las bases y los datos disponibles para luego organizarlo mediante categorías y subcategorías. En la primera categoría, “Tecnologías de recuperación” se plantea como subcategorías a: pirometalúrgica, hidrometalúrgica, biometalurgia o biolixiviación y químicos, lo cual son determinados mediante la unidad de análisis de acuerdo al objetivo de Determinar cuáles son las tecnologías de recuperación en los RAEE. Para la segunda categoría, “Metales Preciosos”, se formula las siguientes subcategorías: oro, paladio, platino y plata, que son datos procedentes de la unidad de análisis, las cuales se ubican en los equipos eléctricos y electrónicos. Finalmente, la tercera categoría “Tipos de piezas”, teniendo como subcategorías: placas de circuito y memoria RAM

### **3.9. Aspectos éticos**

Lo elaborado y por elaborar de este trabajo de investigación es de total autoría propia. Las tablas, figuras e ideas fueron correctamente citados, dependiendo de la situación. La presente investigación tuvo como principio el respeto al código de ética de la Universidad César Vallejo aprobado mediante resolución de Consejo Universitario N° 0606-2021 utilizando la herramienta de referencias bibliográficas mendeley desktop, basados en la norma ISO 690 institucional.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme con la metodología realizada, se encontraron 34 artículos en los últimos siete años provenientes de Science Direct (21), Scielo (3), Scopus (10), por lo que tenemos 5 tecnologías de recuperación para los metales preciosos en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

**Tabla 1** identificar las tecnologías de recuperación en los RAEE.

Tipos de tecnologías	Procesos tecnológicos	Instrumentos de recuperación	Referencias
Pirometalúrgico	Tecnología Pirometalúrgica para el proceso de fundición.	Lixiviación: Au oxidado compuesto por Fe <sub>t</sub> O y SiO <sub>2</sub> .	(Park y Kim 2019)
	Tecnología Pirometalúrgica para el proceso de fundición.	Lixiviación: Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	(Lyu et al. 2021)
	Tecnología Pirometalúrgica para el proceso de fundición por horno microondas especial	Lixiviación: Au oxidado compuesto por Fe <sub>t</sub> O y SiO <sub>2</sub> .	(Charles et al. 2020)

	<p>para estos componentes.</p> <p>Tecnología Pirometalúrgica para el proceso de fundición.</p> <p>Tecnología Pirometalúrgica para el proceso de fundición.</p>	<p>Pirólisis: horno de tubo horizontal en el rango de temperatura de 800 a 1350 °C</p> <p>Pirólisis: en presencia de cloruro de amoníaco como agente de cloración para recuperar metales</p>	<p>(Cayumil et al. 2016)</p> <p>(Işıldar et al. 2019)</p>
	<p>Tecnología Hidrometalúrgica para el proceso de lixiviación.</p>	<p>Lixiviación: Cianuro, tiosulfato, tiourea, haluros.</p> <p>Lixiviación: tiosulfato de</p>	<p>(Tuncuk et al. 2012)</p>

Hidrometalúrgico	Tecnología Hidrometalúrgica para el proceso de lixiviación.	amoníaco, la resina de intercambio iónico MTA 5011.	(Gámez et al. 2019).
	Tecnología Hidrometalúrgica para el proceso de lixiviación y química.	Lixiviación: ácido sulfúrico y el otro con ácido nítrico y clorhídrico.	(Karal et al. 2021).
	Tecnología Hidrometalúrgica para el proceso de lixiviación.	Lixiviación: agua regia de PCB y contactos mediante electrodeposición.	(Lekka et al. 2015)
	Proceso de lixiviación en la tecnología hidrometalúrgica.	Lixiviación: con ácido nítrico concentrado, ácido clorhídrico, agua regia.	(Wu et al. 2017)
	Proceso de lixiviación en la tecnología hidrometalúrgica.	Lixiviación: con yoduro, $\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_8$ .	(De la torre y Espinoza 2019)
	Proceso de lixiviación en la tecnología hidrometalúrgica.	Lixiviación: ácido sulfúrico y cloruro de sodio.	



	<p>Proceso de lixiviación en la tecnología hidrometalúrgica por cianuración.</p> <p>Proceso de lixiviación en la tecnología hidrometalúrgica por cianuración.</p>	<p>Lixiviación: ácido sulfúrico 3 M, bromuro de sodio 3 M, amida terciaria 0,1 M disuelto en tolueno.</p>	<p>(Park y Kim 2019)</p> <p>(Mishra et al. 2021)</p>
Biometalurgia	<p>Tecnología Biometalurgia para el proceso de biolixiviación</p> <p>Tecnología Biometalurgia para el proceso de biolixiviación</p>	<p>Bacteria: <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>, <i>Pseudomonas putida</i></p> <p>Bacteria: <i>Chromobacterium violaceum</i>, <i>Marasmius oreades</i>, <i>Chlorella vulgaris</i></p>	<p>(Marra et al. 2018)</p> <p>(Faramarzi et al. 2020)</p>
	<p>Proceso tecnológico por persulfato de amonio</p> <p>Proceso tecnológico por concentración</p>	<p>Químico: persulfato de amonio <math>(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8</math></p> <p>Químico: yodo, peróxido de</p>	<p>(Alzate, López y Serna 2016).</p>

Químicos	<p>de yodo, peróxido de hidrógeno.</p> <p>Proceso tecnológico por concentración con queroseno, metilisobutilcetona.</p> <p>Proceso tecnológico por electroquímico con oxidantes suaves</p>	<p>hidrógeno y lixiviación por 2h.</p> <p>Químico: metilisobutilcetona, ácido ascórbico.</p> <p>Químico: tiourea, ácido clorhídrico.</p>	<p>(Tuncuk 2019).</p> <p>(Zhou, Liang y Xu 2021).</p> <p>(Sronsri et al. 2021).</p>
Electrólisis	<p>Proceso tecnológico por reacción eléctrica</p> <p>Proceso tecnológico de electrodeposición</p>	<p>ácido clorhídrico (HCl), cloruro de sodio (NaCl) y peróxido de hidrógeno</p> <p>Lixiviación: voltamperometría, Ácido nítrico.</p>	<p>(Li et al, 2019)</p> <p>(Liu et al. 2022)</p>

La tabla 1 muestra 21 artículos de investigación con relación a tecnologías de recuperación de metales preciosos en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Empezando por la Pirometalúrgica, realiza una recuperación primitiva debido a su antigüedad se pierde grandes cantidad de los elementos a recuperar (Charles et al. 2020). Esta tecnología, es la más usada para la recuperación de metales preciosos y no metales (Lyu et al. 2021), se realiza el proceso de fundición

en grandes cantidades para una mayor escala de recuperación (De la torre y Espinoza 2019). Sin embargo, la tecnología pirometalúrgica genera contaminación al realizar el proceso de fundición emitiendo gases y químicos tóxicos dañando el medio ambiente (Park y Kim 2019).

Para la tecnología hidrometalúrgica, dos investigaciones mencionan que es viable y con mayor porcentaje de recuperación ya que los tratamientos con soluciones líquidas son económicas (Gámez et al. 2019) (Karal et al. 2021). Por otra parte, (Wu et al. 2017) menciona que las sustancias líquidas y químicas son tóxicos corrosivos en uso desmedido dañando al medio ambiente con tal de recuperar los elementos deseados (De la torre y Espinoza 2019).

Para la tecnología biometalurgia o biolixiviación, la recuperación de los metales preciosos fue un éxito, las cepas *Acidithiobacillus thiooxidans* y *Pseudomonas putida* logró un impacto positivo al medio ambiente (Marra et al. 2018). Por otro lado, (Faramarzi et al. 2020) esta tecnología es muy costosa y requiere mucho tiempo para lograr su objetivo y no se puede usar para la recuperación a gran escala.

Para la tecnología Química, dos investigaciones mencionan que se usaron químicos corrosivos muy tóxicos logrando la recuperación de los metales preciosos deseados, la tecnología logró con éxito su objetivo (Alzate et al. 2016), (Tuncuk 2019). Por otra parte, (Zhou et al. 2021) menciona que la Metilisobutilcetona y ácido ascórbico, es otro químico capaz de realizar el mismo objetivo de recuperación más eficiente y generando menos impacto ambiental. Por lo contrario (Sronsri et al. 2021) los químicos tiourea y ácido clorhídrico, son corrosivos de uso actual para lograr la recuperación de residuos eléctricos en cantidades limitadas.

Para la tecnología Electrolisis, dos investigaciones realizaron con éxito su objetivo de recuperación mediante una reacción eléctrica (Li et al. 2019). Por otra parte, (Liu et al. 2022) esta tecnología actual, logró su objetivo por la electrodeposición, pero no es tan eficiente en metales preciosos.

**Tabla 2.** Identificar los metales preciosos extraídos de los aparatos eléctricos y electrónicos.

<b>Metales preciosos</b>	<b>Descripción de la recuperación de metales preciosos extraídos</b>	<b>Referencias</b>
<b>Au</b>	Recuperación del oro por la tecnología química – cianuración en los teléfonos móviles.	(De la torre 2009)
	Recuperación de oro por la tecnología pirometalúrgica en los PCB.	(Cayumil et al. 2016)
	Recuperación de oro por la tecnología Pirometalúrgica en los PCB.	(Park y Kim 2019)
	Recuperación del oro por hidrometalúrgico en las placas de circuito impreso.	(Meng et al. 2017)
	Recuperación de oro por lixiviación en los PCB.	(Mesquita, Silva y Majuste 2018)  (Imre-Lucaci et al. 2017)  (Marra et al. 2018b)

	<p>Recuperación de oro por la biolixiviación.</p> <p>Recuperación de oro por el proceso tecnológico por concentración con queroseno, metilisobutilcetona.</p> <p>Recuperación de oro por pirometalúrgica en las placas de circuito impreso (PCB).</p> <p>Recuperación de oro por lixiviación – proceso químico de los dispositivos de memoria (RAM).</p> <p>Recuperación de oro por proceso tecnológico por persulfato de amonio.</p> <p>Recuperación de oro por pirometalúrgico en las placas de circuito impreso (PCB).</p> <p>Recuperación de oro por lixiviación de las placas de circuito impreso de los teléfonos móviles.</p>	<p>(Zhou, Liang y Xu 2021)</p> <p>(Işıldar 2018)</p> <p>(Tuncuk 2019b)</p> <p>(Alzate, López y Serna 2016)</p> <p>(Park y Kim 2019)</p> <p>(Gu, Summers y Hall 2019)</p>
--	--	--

<b>Ag</b>	<p>Recuperación de la plata por la tecnología química – cianuración en los teléfonos móviles.</p> <p>Recuperación de plata por la tecnología pirometalúrgica en los PCB.</p> <p>Recuperación de plata por la tecnología Pirometalúrgica en los PCB.</p> <p>Recuperación de la plata por hidrometalúrgico en las placas de circuito impreso.</p> <p>Recuperación de plata por pirometalúrgica en las placas de circuito impreso (PCB).</p> <p>Recuperación de plata por biometalurgica a partir de las placas de circuito impreso.</p>	<p>(Park y Kim 2019)</p> <p>(De la torre 2009)</p> <p>(Cayumil et al. 2016)</p> <p>(Meng et al. 2017)</p> <p>(Işıldar 2018)</p> <p>(Priya y Hait 2020)</p> <p>(Tuncuk 2019a)</p>

	<p>Recuperación de plata por lixiviación – proceso químico de los dispositivos de memoria (RAM).</p> <p>Recuperación de oro por lixiviación de las placas de circuito impreso de los teléfonos móviles.</p>	<p>(Park y Kim 2019)</p> <p>(Gu, Summers y Hall 2019)</p>
<b>Pd</b>	<p>Recuperación del paladio por la tecnología química – cianuración en los teléfonos móviles.</p> <p>Recuperación de paladio por la tecnología pirometalúrgica en los PCB.</p> <p>Recuperación del paladio por hidrometalúrgico en las placas de circuito impreso.</p> <p>Recuperación de paladio por el proceso. hídrico de molienda de bolas y flotación de espuma con nanopartículas a partir de los residuos de trituradoras de vehículos</p> <p>Recuperación de paladio por biotecnología de las placas de circuito impreso.</p> <p>Recuperación de platino por hidrometalúrgica de las placas de circuito impreso de desecho</p>	<p>(De la torre 2009)</p> <p>(Cayumil et al. 2016)</p> <p>(Meng et al. 2017)</p> <p>(Mallampati et al. 2018)</p> <p>(Becci et al. 2020)</p> <p>(Huang, Pan y Lo 2020)</p>

	pretratadas por pirólisis con microondas.	
<b>Pt</b>	<p>Recuperación de platino por la tecnología pirometalúrgica en los PCB</p> <p>Recuperación de platino por el proceso hídrico de molienda de bolas y flotación de espuma con nanopartículas a partir de los residuos de trituradoras de vehículos</p> <p>Recuperación de platino por hidrometalúrgica – solución de desecho ácida</p> <p>Recuperación de platino por hidrometalúrgica de las placas de circuito impreso de desecho pretratadas por pirólisis con microondas</p>	<p>(Cayumil et al. 2016)</p> <p>(Mallampati et al. 2018)</p> <p>(Hasegawa et al. 2018)</p> <p>(Huang, Pan y Lo 2020)</p>

En la tabla 2 muestra 32 artículos de investigación sobre los metales extraídos mediante las tecnologías de recuperación la cual uno de ellos adoptó un proceso de recuperación de metales preciosos como la plata, oro y paladio en las placas de circuito impreso de la computadora, la cual se concentró a 150 ppm, 550ppm y 12ppm respectivamente, mediante una combinación del proceso hidrometalúrgico adecuado y la separación por super gravedad de metales (Meng et al. 2017), sin embargo otro estudio tuvo el mismo proceso hidrometalúrgico las cuales producen lixiviados ácidos durante la recuperación de PM de las fuentes de desechos, mientras que la recuperación selectiva de Au, Pd o Pt de dicha matriz es un desafío



debido a las similitudes químicas de los elementos o las complejidades en las fuentes y matrices (Hasegawa et al. 2018); según (Meng et al. 2017) refiere que el método de recuperación es eficaz y significativo debido a la separación por super gravedad, ya que el proceso es de alta eficiencia, flujo corto, limpio y respetuoso con el medio ambiente.

El componente principal de los desechos electrónicos son las placas de circuito impreso (PCB), que contienen cantidades sustanciales de metales preciosos como Au, Ag, Pd y Pt, recuperando durante el proceso pirometalúrgico de residuos de PCB en un 75%, según (Cayumil et al. 2016); mientras que para (Park y Kim 2019b) viene a ser una tecnología que se desarrolla a través del reciclaje avanzada basada en el tratamiento pirometalúrgico utilizando concentrado de Au, donde los metales preciosos (Au y Ag) se recuperaron de forma eficaz a partir de residuos de PCB y concentrados de Au en forma de una aleación metálica que requería un tratamiento posterior mediante lixiviación y extracción; asimismo, el desperdicio de los teléfonos móviles (WMP) que consisten en una mezcla heterogénea de materiales de metal, plástico, vidrio y cerámica tienen problemas de eliminación o reciclaje, por ello la pirólisis puede evitar la liberación de dioxinas porque los materiales orgánicos se descomponen durante el proceso de calentamiento, por lo que se investigó cuidadosamente para simular la recuperación de metales preciosos tales como plata y oro (Hyun Sik et al. 2019).

Según el autor (Hyun Sik et al. 2019), se basa en el tratamiento masivo de tres pasos de WMP mediante pirólisis, tratamiento físico y procesamiento pirometalúrgico donde se recuperó oro (0,1 kg), plata (0,3 kg), a partir del procesamiento de 1000 kg de WMP, mientras que (Park y Kim 2019) recuperaron metales preciosos por fundición la cual fue exitosa considerando las diminutas cantidades de Au y Ag que permanecieron en las fases de escoria, tales temperaturas de fusión más altas provocaron un aumento de la viscosidad, lo que hizo que la operación del proceso de fundición fuera más difícil. Por último, para dicho autor (Cayumil et al. 2016), manifiesta que el pirólisis a alta temperatura se llevó a cabo durante diez minutos en un horno de tubo horizontal en el rango de temperatura de 800 a 1350 °C bajo el flujo de gas argón a 1 L/min, y que este proceso es un enfoque viable para la recuperación de metales preciosos.

La tecnología química describe una caracterización detallada de los pines de los conectores separados de diversos componentes electrónicos extraídos de las placas de circuito impreso de desecho (WPCB) de las computadoras, con el objetivo de recuperar metales valiosos como el oro, mediante el análisis químico, la cual se recuperó en un 168 g/t de Au (Mesquita et al. 2018). Por otro lado, el siguiente autor menciona que la recuperación de metales preciosos de los teléfonos móviles con el proceso de tostación y lixiviación con cianuro, la cual se obtuvo una 82% de plata, recuperación de 95% de oro y 42% de paladio, los ensayos de cianuración se llevaron a cabo mediante reciclaje, una solución previamente tratada con carbón activado. La prueba de lixiviación se realizó con pretratamiento de muestra tostada y trituración a 850 °C, 0.72 atm, por lo que la velocidad de disolución del metal de interés disminuyó con la recirculación, (de la torre et al. 2009). En el presente estudio se recuperó metales de placas de circuito impreso (WPCB) mediante el proceso de biolixiviación de dos acidófilos, una alfa proteobacteria en cepas puras y mixtas. La eficiencia de biolixiviación máxima correspondiente lograda por el cultivo mixto para metales preciosos y de tierras raras fue (46% Ag, 38% Au), que se debe al crecimiento sinérgico de las cepas bacterianas que producen un efecto colectivo que conduce a una solubilización eficiente del metal (Priya y Hait 2020). Dicho autor citado (Priya y Hait 2020) menciona que la eficiencia mejorada por las cepas mixtas de *A. ferrooxidans* y *A. acidophilum*, seguido de una recuperación eficiente del metal es por precipitación química, la cual implica el alcance de la improvisación de la técnica de biolixiviación para el beneficio prospectivo de los WPCB para la recuperación de metales preciosos; mientras que (de la torre et al. 2009) indica que el tratamiento preliminar de tostación oxidante es a 0, 72 atm en temperatura de ambiente hasta 850 C°, lo que permitió alterar el plástico actual en la tarjeta y liberar a los metales preciosos como oro y plata recuperando 420 y 1355 g/t respectivamente (Mesquita et al. 2018) describe una caracterización química detallada de pines de conectores metálicos separados manualmente de componentes electrónicos de WPCB de computadoras con el objetivo de recuperar metales valiosos, se preparó una muestra heterogénea, 100% metálica, mezclando todos los pines individuales es por lo que al recuperar se encontraron contenidos de Au muy atractivos hasta 1273 g/t.

**Tabla 3.** Identificar las partes que contienen metales preciosos en los residuos electrónicos.

<b>Partes de RAEE</b>	<b>elementos</b>	<b>Información de importancia y resultados</b>	<b>Referencia</b>
<b>Scraps de teléfonos</b>	<p>Au = 350 ppm</p> <p>Pd = 140 ppm</p>	<p>Según la Iniciativa STEP y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), existe la posibilidad de vida del celular de 3 a 5 años, por ello se da el proceso de obtención de metales ferrosos y preciosos a partir de los minerales que se vuelven más atractivos al recuperar. los teléfonos celulares contienen 800 ppm (ppm, que es 0.0008 g)</p> <p>metales preciosos recuperables, incluidos oro, plata y paladio</p>	<p>(Kasper y Veit 2018)</p> <p>(Aristizabal et al, 2021)</p> <p>(Sandoval et al, 2015)</p> <p>(Khanna, Mukherjee y Park 2020)</p> <p>(Kadivar, Pourhossein y Mousavi 2021)</p>
	Pg = 30 ppm		

<p><b>Monitor de pc</b></p>	<p>Pt = 100 ppm</p> <p>Au = 250 ppm</p> <p>Pd = 110 ppm</p>	<p>Como parte indispensable de las placas de circuito impreso (PCB), las ranuras de la unidad central de procesamiento (CPU) contienen una cantidad significativa de metales preciosos, por lo que tiene sentido económico reciclar estos materiales, los metales preciosos como el oro, la plata, el paladio y el platino se utilizan en la construcción de ranuras de CPU y sus concentraciones son más altas que las de esos minerales naturales.</p>	<p>(Yi et al. 2019)</p> <p>(Iqbal et al. 2020)</p> <p>(Ghodrat et al. 2017)</p> <p>(Tanısalı, Özer y Burat 2020)</p>
<p><b>Placas de circuito</b></p>	<p>Au = 230 ppm</p> <p>Ag = 796 ppm</p> <p>Pt = 0,12 ppm</p>	<p>Las placas de circuito impreso (PCB) son un componente esencial de los equipos eléctricos y electrónicos (EEE). Las líneas conductoras se imprimen en una placa aislada, inflexible o flexible, hecha de polímeros reforzados con fibra de vidrio , como la resina epoxi , y conectan eléctricamente los componentes electrónicos montados en la placa para formar un circuito de trabajo</p>	<p>(Bautista y Valderrama,2021)</p> <p>(Panda et al. 2020)</p> <p>(Permanyer Martínez, 2013)</p> <p>(Zhang et al. 2017)</p> <p>(Bilesan et al. 2021)</p>

	Pd = 12,6 ppm		(Korf et al. 2019)  (Gande et al. 2021)  (Li, Oraby y Eksteen 2020)
<b>Disco Duro</b>	Ag = 705  Au = 1040  Pd = 37	La arquitectura actual de los discos duros es bastante uniforme y consta de una serie de platos giratorios recubiertos con una capa magnética que se utiliza para almacenar datos, un brazo actuador móvil con un cabezal magnético que se utiliza para escribir y leer datos e imanes que se utilizan para dirigir el brazo actuador. La mayoría de los discos duros actualmente en el mercado y que se encuentran en el flujo de desechos tienen un tamaño de plato de 2,5" o 3,5", ya que la participación de mercado de una versión más pequeña de 1,8" nunca superó el 5 %.	(Peeters et al. 2018)  (Ghodrat et al. 2017)  (Panda et al. 2020)  (Dutta et al. 2018)

En la tabla 3 se muestra 21 autores, por lo que uno de los autores menciona que una tonelada de teléfonos móviles desechados, puede producir hasta 300 g de oro, lo que representa un rendimiento muy superior al de la mina de oro más eficiente, en este estudio se utilizaron hasta 2 kg de residuos de PCB para superar las fluctuaciones debido a los cambios en la composición de los PCB y obtener resultados de alta calidad, que se dieron a través de diferentes fracciones de pirólisis de los conjuntos I y II donde en el caso del Conjunto I, hubo una concentración significativamente mayor de Au, Ag y Ti en la fracción pesada (Au: 1407 ppm, Ag: 599 ppm) en comparación con la fracción ligera (Au: 376 ppm, Ag: 5 ppm y Ti: 2429 ppm). Las concentraciones de Pd y Pt fueron bastante bajas en ambas fracciones, de las cuales se distribuyeron parcialmente uniforme. En el caso del conjunto II, hubo una concentración mucho mayor de Au (896 ppm) en la fracción negra en comparación con la roja (60 ppm) y la blanca (58 ppm); (Khanna, Mukherjee y Park 2020) en su investigación informó que 1000 kg de desechos de PCB de teléfonos móviles contienen 3,5 kg Ag, 140 g Pd y 340 g Au. En comparación con otros métodos convencionales de recuperación de metales preciosos a partir de desechos electrónicos, la biolixiviación es un proceso rentable, seguro y ecológico (Kadivar et al. 2021); para los autores mencionados en sus investigaciones refieren (Khanna et al. 2020) que el procesamiento para recuperar metales en el marco del conjunto II es más eficiente, rentable y ecológico en comparación con el conjunto I, mientras que (Kadivar et al. 2021) utilizó un nuevo catalizador barato para mejorar la eficiencia de la biolixiviación.

Por otro lado, la reutilización de electrolitos tuvo poco impacto en la tasa total de recuperación de metales, manteniéndose en alrededor del 95 %; sin embargo, tuvo un impacto significativo en la distribución de los ocho metales y la contribución de masa del metal total en los polvos catódicos, este se incrementó aproximadamente dos veces, además, la reutilización de electrolitos podría reducir significativamente los costos de reciclaje y las presiones ambientales, a partir de ranuras de CPU (Yi et al. 2019), sin embargo (Ghodrat et al. 2017) analizó la LCIA de la recuperación de los metales valiosos a partir de las placas de circuito impreso (PCB) de desechos de computadoras a través de una operación pirometalúrgica secundaria de metal base, a través de un riguroso modelado termodinámico utilizando los paquetes

termodinámicos HSC Chemistry 8.0 y FactSage 6.4. HSC Chemistry 8.0 que está vinculado con el software ambiental gabi (Li et al. 2020), para el siguiente autor (Gande et al. 2021) exploró la extracción de metales preciosos del residuo de WPCB (obtenidos de la primera etapa de lixiviación solo con glicina) utilizando una solución alcalina de glicina en presencia de un oxidante, permanganato de potasio o ferrocianuro, el sistema de lixiviación con oxidante de glicina minimiza los riesgos ambientales y de seguridad en comparación con los enfoques convencionales al mismo tiempo que logra una alta recuperación de metales en tiempos de lixiviación prácticos. Según (Bilesan et al. 2021) en su estudio utilizó un método sustentable, ecológico y simple para investigar el comportamiento de separación de diferentes partículas en función de su tamaño, forma y densidad, donde la eficiencia de separación total de oro, paladio, plata fue del 75%, 78% y 64%, respectivamente en las placas de circuito impreso; por otro lado (Korf et al. 2019) refiere que los PCB han cobrado especial interés, ya que sus componentes contienen elementos valiosos y recuperando como resultado de plata y oro (94% y 92%) y metales raros de los cuales muchos son considerados críticos para la salud y el ambiente; el siguiente análisis describe que la digestión y la medición de muestras ciegas sin enriquecimiento y enriquecidas no se ven afectadas con respecto al análisis de metales base, (Bilesan et al. 2021) menciona la combinación de trituración, molienda y tamizado como pasos de pretratamiento junto con el hidrociclón y el método de dilución por gravedad como los principales pasos finales y por último (Gande et al. 2021) propuso varias rutas hidrometalúrgicas en su investigación para tratar placas de circuito impreso (PCB) de los cuales emplearon diferentes reactivos químicos para la recuperación y separación de metales.

## V. CONCLUSIONES.

- Se concluye que la tecnología de recuperación más usada en los RAEE, siendo la tecnología Pirometalúrgica como la principal ya que la recuperación a partir de residuos electrónicos se puede lograr en grandes cantidades y en poco tiempo.
- Se concluye que los metales preciosos extraídos de los RAEE, son el oro (Au) como el más deseado y difícil de extraer, la plata (Ag) como la más sencilla en la extracción y grandes cantidades en los RAEE, el platino (Pt) con poca probabilidad de extracción debido a su rareza en los residuos electrónicos, el paladio (Pd) con alta dificultad para su extracción debido a su exclusiva rareza y maleabilidad.
- Se concluye que las partes que contenían metales preciosos en los residuos electrónicos el oro (Au) en los scraps de los teléfonos móviles, la plata (Ag) en las placas de computadora, el platino (Pt) que se ubica en los platos de los discos duros, el paladio (Pd) en las placas de los CPU exactamente en los condensadores.



## **VI. RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda a las entidades municipales fortalecer capacidades de proceso de reciclaje de los desechos electrónicos (RAEE), por medio de las organizaciones y programas formales, de esta forma disminuir los impactos que afectan al ambiente y la salud pública.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar mayores estudios respecto a las tecnologías biolixiviación y electrólisis, ya que estas tienen una efectividad alta de recuperación sin dañar al ecosistema y generando un impacto positivo a la salud como al medio ambiente.
- Se recomienda a los responsables de las áreas específicas de las empresas especializadas de manejo de los desechos electrónicos definir condiciones, ambientes, operaciones, procesos y características adecuadas para la recuperación y tratamientos de los metales preciosos encontrados en los RAEE.

## REFERENCIAS

- ALZATE, A., LÓPEZ, M.E. y SERNA, C., 2016. Recovery of gold from waste electrical and electronic equipment (WEEE) using ammonium persulfate. *Waste Management*, vol. 57, pp. 113-120. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.2016.01.043.
- ANDRADE, D.F., CASTRO, J.P., GARCIA, J.A., MACHADO, R.C., PEREIRA-FILHO, E.R. y AMARASIRIWARDENA, D., 2022. Analytical and reclamation technologies for identification and recycling of precious materials from waste computer and mobile phones. *Chemosphere*, vol. 286, pp. 131739. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131739.
- ARANDA CASTILLO, B. anthony, 2020. PALADIO. [en línea], Disponible en: <https://es.scribd.com/document/451094996/PALADIO>.
- ARISTIZABAL ALZATE, C., GONZALEZ MONOSALVA, J. y VARGAS, A., 2021. Revalorización de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Colombia: una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria. [en línea], vol. 24, no. 51. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3442/344265925006/html/>.
- ARISTIZABAL FUQUENE, andrea, 2014. El platino: contribuciones sociohistóricas y científicas desde el siglo x. [en línea], vol. 26, no. 2, pp. 5-6. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v26n2/v26n2a10.pdf>.
- BAUTISTA VARGAS, M. esther, CABRERA CRUZ, R.B., ROLON AGUILAR, J.C., PICHARDO RAMIREZ, R. y GORDILLO MARTINEZ, A.J., 2015. Revisión de políticas de manejo de residuos de equipos eléctricos y electrónicos para su aplicación en México. [en línea], vol. 6, no. 3, pp. 9 . 11. Disponible en: [http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/440/INVITADO\\_ART201508OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/440/INVITADO_ART201508OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- BECCI, A., AMATO, A., FONTI, V., KARAJ, D. y BEOLCHINI, F., 2020. An innovative biotechnology for metal recovery from printed circuit boards.

*Resources, Conservation and Recycling*, vol. 153, pp. 104549. ISSN 0921-3449. DOI 10.1016/J.RESCONREC.2019.104549.

BILESAN, M.R., MAKAROVA, I., WICKMAN, B. y REPO, E., 2021. Efficient separation of precious metals from computer waste printed circuit boards by hydrocyclone and dilution-gravity methods. *Journal of Cleaner Production*, vol. 286, pp. 125505. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125505.

BONIALIAN, M. y HAUSBERGER, bernd, 2018. Consideraciones sobre el comercio y el papel de la plata hispanoamericana en la temprana globalización, siglos XVI-XIX. [en línea], vol. 68, no. 1. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-65312018000300197](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-65312018000300197).

BORRAZ MINGORANCE, nuria, 2001. RECICLADO DE CHATARRA ELECTRONICA. [en línea], pp. 14. Disponible en: [http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2011/01/chatarra\\_electronica\\_españa.pdf](http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2011/01/chatarra_electronica_españa.pdf).

CASTILLO, E. y VASQUEZ, M.L., 2003. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *El rigor metodológico en la investigación cualitativa*, vol. 34, no. 3.

CAYUMIL, R., KHANNA, R., RAJARAO, R., MUKHERJEE, P.S. y SAHAJWALLA, V., 2016a. Concentration of precious metals during their recovery from electronic waste. *Waste Management*, vol. 57, pp. 121-130. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.2015.12.004.

CAYUMIL, R., KHANNA, R., RAJARAO, R., MUKHERJEE, P.S. y SAHAJWALLA, V., 2016b. Concentration of precious metals during their recovery from electronic waste. *Waste Management*, vol. 57, pp. 121-130. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.2015.12.004.

CHARLES, R.G., DOUGLAS, P., DOWLING, M., LIVERSAGE, G. y DAVIES, M.L., 2020. Towards Increased Recovery of Critical Raw Materials from WEEE—evaluation of CRMs at a component level and pre-processing methods for

interface optimisation with recovery processes. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 161, pp. 104923. ISSN 0921-3449. DOI 10.1016/J.RESCONREC.2020.104923.

CHAVERRA HINCAPIE, E., 2018. Viabilidad en la exportación de RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos) Colombia-China. Oportunidad de negocio. [en línea], vol. 6, no. 9, pp. 2-3. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5518/551857283008/551857283008.pdf>.

DE LA TORRE, E., GUEVARA, A. y ESPINOZA, S., 2009. Los teléfonos celulares una nueva mina de metales preciosos, factible de valorizar mediante tostación y lixiviación con cianuro. [en línea], vol. 30. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5535/1/Ernesto-de-la-Torre.pdf>.

DÍAZ GARCÍA, X., GAMIÑO ARROYO, Z. y RUBIO CAMPOS, B.E., 2017. ESTUDIO PARA LA ELECTRODEPOSICION DEL COBRE A PARTIR DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS. *Jovenes en la Ciencia revista de divulgacion científica*, vol. 3, no. 2, pp. 2-5.

DUTTA, D., PANDA, R., KUMARI, A., GOEL, S. y JHA, M.K., 2018. Sustainable recycling process for metals recovery from used printed circuit boards (PCBs). *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 17, pp. e00066. ISSN 2214-9937. DOI 10.1016/J.SUSMAT.2018.E00066.

EBIN, B. y ISIK, M.I., 2016. Pyrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from WEEE. *WEEE Recycling: Research, Development, and Policies*, pp. 107-137. DOI 10.1016/B978-0-12-803363-0.00005-5.

FARAMARZI, M.A., MOGHARABI-MANZARI, M. y BRANDL, H., 2020. Bioleaching of metals from wastes and low-grade sources by HCN-forming microorganisms. *Hydrometallurgy*, vol. 191, pp. 105228. ISSN 0304-386X. DOI 10.1016/J.HYDROMET.2019.105228.

GÁMEZ, S., GARCÉS, K., DE LA TORRE, E. y GUEVARA, A., 2019. Precious metals recovery from waste printed circuit boards using thiosulfate leaching and

- ion exchange resin. *Hydrometallurgy*, vol. 186, pp. 1-11. ISSN 0304-386X. DOI 10.1016/J.HYDROMET.2019.03.004.
- GANDE, V.V., VATS, S., BHATT, N. y PUSHPAVANAM, S., 2021. Sequential recovery of metals from waste printed circuit boards using a zero-discharge hydrometallurgical process. *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 100143. ISSN 2666-7908. DOI 10.1016/J.CLET.2021.100143.
- GASQUE, L., 2019. Platino, el más noble de los metales. [en línea], Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/332180936\\_Platino\\_el\\_mas\\_noble\\_de\\_los\\_metales](https://www.researchgate.net/publication/332180936_Platino_el_mas_noble_de_los_metales).
- GHODRAT, M., RHAMDHANI, M.A., BROOKS, G., RASHIDI, M. y SAMALI, B., 2017. A thermodynamic-based life cycle assessment of precious metal recycling out of waste printed circuit board through secondary copper smelting. *Environmental Development*, vol. 24, pp. 36-49. ISSN 2211-4645. DOI 10.1016/J.ENVDEV.2017.07.001.
- GU, F., SUMMERS, P.A. y HALL, P., 2019. Recovering materials from waste mobile phones: Recent technological developments. *Journal of Cleaner Production*, vol. 237. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.117657.
- HASEGAWA, H., BARUA, S., WAKABAYASHI, T., MASHIO, A., MAKI, T., FURUSHO, Y. y RAHMAN, I.M.M., 2018. Selective recovery of gold, palladium, or platinum from acidic waste solution. *Microchemical Journal*, vol. 139, pp. 174-180. ISSN 0026-265X. DOI 10.1016/J.MICROC.2018.02.025.
- HUANG, Y.F., PAN, M.W. y LO, S.L., 2020. Hydrometallurgical metal recovery from waste printed circuit boards pretreated by microwave pyrolysis. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 163, pp. 105090. ISSN 0921-3449. DOI 10.1016/J.RESCONREC.2020.105090.
- HYUN SIK, P., YUN PRONTO, H. y JOO HYUN, P., 2019. Reciclaje masivo de residuos de teléfonos móviles: pirólisis, tratamiento físico y procesamiento pirometalúrgico de residuos insolubles. [en línea], vol. 7, pp. 14119-14125.

- IMRE-LUCACI, Á., NAGY, M., IMRE-LUCACI, F. y FOGARASI, S., 2017. Technical and environmental assessment of gold recovery from secondary streams obtained in the processing of waste printed circuit boards. *Chemical Engineering Journal*, vol. 309, pp. 655-662. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/J.CEJ.2016.10.045.
- IQBAL, A., JAN, M.R., SHAH, J. y RASHID, B., 2020. Dispersive solid phase extraction of precious metal ions from electronic wastes using magnetic multiwalled carbon nanotubes composite. *Minerals Engineering*, vol. 154, pp. 106414. ISSN 0892-6875. DOI 10.1016/J.MINENG.2020.106414.
- IŞILDAR, A., 2018. Biotechnologies for metal recovery from electronic waste and printed circuit boards. *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling: Aqueous Recovery Methods*, pp. 241-269. DOI 10.1016/B978-0-08-102057-9.00010-X.
- IŞILDAR, A., VAN HULLEBUSCH, E.D., LENZ, M., DU LAING, G., MARRA, A., CESARO, A., PANDA, S., AKCIL, A., KUCUKER, M.A. y KUÇHTA, K., 2019. Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A review. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 362, pp. 467-481. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2018.08.050.
- KADIVAR, S., POURHOSSEIN, F. y MOUSAVI, S.M., 2021. Recovery of valuable metals from spent mobile phone printed circuit boards using biochar in indirect bioleaching. *Journal of Environmental Management*, vol. 280, pp. 111642. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2020.111642.
- KANAUJIA, K., TRIVEDI, A., UPVAN, K. y HAIT, S., 2021. Hybrid bioleaching—an emerging technique for extraction of critical metals from WEEE. *Environmental Management of Waste Electrical and Electronic Equipment*, pp. 109-123. DOI 10.1016/B978-0-12-822474-8.00006-4.
- KARAL, E., KUCUKER, M.A., DEMIREL, B., COPTY, N.K. y KUÇHTA, K., 2021. Hydrometallurgical recovery of neodymium from spent hard disk magnets: A

life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, vol. 288, pp. 125087. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125087.

KASPER, A.C. y VEIT, H.M., 2018. Gold recovery from printed circuit boards of mobile phones scraps using a leaching solution alternative to cyanide. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 35, no. 3, pp. 931-942. DOI 10.1590/0104-6632.20180353s20170291.

KHANNA, R., MUKHERJEE, P.S. y PARK, M., 2020. A critical assessment on resource recovery from electronic waste: Impact of mechanical pre-treatment. *Journal of Cleaner Production*, vol. 268, pp. 122319. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122319.

KORF, N., LØVIK, A.N., FIGI, R., SCHREINER, C., KUNTZ, C., MÄHLITZ, P.M., RÖSSLEIN, M., WÄGER, P. y ROTTER, V.S., 2019. Multi-element chemical analysis of printed circuit boards – challenges and pitfalls. *Waste Management*, vol. 92, pp. 124-136. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.2019.04.061.

LEHTINEN, U., KEISKI, R.L., PONGRÁCZ, E., POIKELA, K. y YLÄ-MELLA, J., 2014. Implementation of Waste Electrical and Electronic Equipment Directive in Finland: Evaluation of the collection network and challenges of the effective WEEE management. *Final accepted manuscript – Author's version. Published in Resources, Conservation and Recycling*, vol. 86, no. 38-46, pp. 2-17.

LEKKA, M., MASAVETAS, I., BENEDETTI, A. V., MOUTSATSOU, A. y FEDRIZZI, L., 2015. Gold recovery from waste electrical and electronic equipment by electrodeposition: A feasibility study. *Hydrometallurgy*, vol. 157, pp. 97-106. ISSN 0304-386X. DOI 10.1016/J.HYDROMET.2015.07.017.

LI, Feifan, CHEN, M., SHU, J., SHIRVANI, M., LI, Y., SUN, Z., SUN, S., XU, Z.H., FU, K. y CHEN, S., 2019. Copper and gold recovery from CPU sockets by one-step slurry electrolysis. *Journal of Cleaner Production*, vol. 213, pp. 673-679. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.161.

LI, H., EKSTEEN, J. y ORABY, E., 2018. Hydrometallurgical recovery of metals from

waste printed circuit boards (WPCBs): Current status and perspectives – A review. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 139, pp. 122-139. ISSN 0921-3449. DOI 10.1016/J.RESCONREC.2018.08.007.

LI, H., ORABY, E. y EKSTEEN, J., 2020. Extraction of copper and the co-leaching behaviour of other metals from waste printed circuit boards using alkaline glycine solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 154, pp. 104624. ISSN 0921-3449. DOI 10.1016/J.RESCONREC.2019.104624.

LI, Zhen, DIAZ, L.A., YANG, Z., JIN, H., LISTER, T.E., VAHIDI, E. y ZHAO, F., 2019. Comparative life cycle analysis for value recovery of precious metals and rare earth elements from electronic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 149, pp. 20-30. ISSN 0921-3449. DOI 10.1016/J.RESCONREC.2019.05.025.

LIU, Y., SONG, Q., ZHANG, L. y XU, Z., 2022. Targeted recovery of Ag-Pd alloy from polymetallic electronic waste leaching solution via green electrodeposition technology and its mechanism. *Separation and Purification Technology*, vol. 280, pp. 118944. ISSN 1383-5866. DOI 10.1016/J.SEPPUR.2021.118944.

LOPEZ, et al, 2019. Rare earth, a hidden value in waste electrical and electronic equipment (WEEE). [en línea], vol. 25, pp. 43-46. Disponible en: <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/bitstream/handle/654321/3515/Articulo2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LOPEZ FERNANDEZ, A., 2007. METALES PRECIOSOS: EL ORO. [en línea], Disponible en: [https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/6296/braco152\\_2007\\_11.pdf?sequence=1](https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/6296/braco152_2007_11.pdf?sequence=1).

LOZANO, J., 2019. *Manejo integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en la Institución Educativa San Jorge del Municipio de Montelíbano* [en línea]. S.l.: Fundación Universitaria los Libertadores. Disponible en: [https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2329/Lozano\\_Jo](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2329/Lozano_Jo)



sé\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

LYU, J., LIU, Y., LYU, X., MA, Z. y ZHOU, J., 2021. Efficient bromine removal and metal recovery from waste printed circuit boards smelting flue dust by a two-stage leaching process. *Journal of Cleaner Production*, vol. 322, pp. 129054. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2021.129054.

MADRIGAL, A. et al., 2014. Bioleaching of gold, copper and nickel from waste cellular phone PCBs and computer goldfinger motherboards by two *Aspergillus niger* strains. *Fungal consortia increases the recovery*, pp. 2-7.

MALLAMPATI, S.R., LEE, B.H., MITOMA, Y. y SIMION, C., 2018. Sustainable recovery of precious metals from end-of-life vehicles shredder residue by a novel hybrid ball-milling and nanoparticles enabled froth flotation process. *Journal of Cleaner Production*, vol. 171, pp. 66-75. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.279.

MARRA, A., CESARO, A., RENE, E.R., BELGIORNO, V. y LENS, P.N.L., 2018a. Bioleaching of metals from WEEE shredding dust. *Journal of Environmental Management*, vol. 210, pp. 180-190. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2017.12.066.

MARRA, A., CESARO, A., RENE, E.R., BELGIORNO, V. y LENS, P.N.L., 2018b. Bioleaching of metals from WEEE shredding dust. *Journal of Environmental Management*, vol. 210, pp. 180-190. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2017.12.066.

MEDINA HERNANDEZ, P. y MEJIA SILVA, M., 2015. MONOGRAFIA DE LA PLATA. [en línea], Disponible en: [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/pdfs/Monografia PLATA.pdf](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/pdfs/Monografia%20PLATA.pdf).

MENDOZA MUÑOZ, N., SOTELO NAVARRO, P.X., BELTRÁN VILLAVICENCIO, M., ALVAREZ ZEFERINO, J.C. y MEDINA VÁZQUEZ, D.Y., 2016. Factibilidad de recuperación de plata, cobre y oro por biolixiviación en residuos electrónicos. [en línea], vol. 9, pp. 13.

- MENG, L., WANG, Z., ZHONG, Y., GUO, L., GAO, J., CHEN, K., CHENG, H. y GUO, Z., 2017. Supergravity separation for recovering metals from waste printed circuit boards. *Chemical Engineering Journal*, vol. 326, pp. 540-550. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/J.CEJ.2017.04.143.
- MERLI, G., BECCI, A. y AMATO, A., 2022. Recovery of precious metals from printed circuit boards by cyanogenic bacteria: Optimization of cyanide production by statistical analysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 107495. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2022.107495.
- MESQUITA, R.A., SILVA, R.A.F. y MAJUSTE, D., 2018. Chemical mapping and analysis of electronic components from waste PCB with focus on metal recovery. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 120, pp. 107-117. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/J.PSEP.2018.09.002.
- MISHRA, G., JHA, R., RAO, M.D., MESHARAM, A. y SINGH, K.K., 2021. Recovery of silver from waste printed circuit boards (WPCBs) through hydrometallurgical route: A review. *Environmental Challenges*, vol. 4, pp. 100073. ISSN 2667-0100. DOI 10.1016/J.ENVC.2021.100073.
- NEKHILI, R., SULTAN, jahangir y MENSI, W., 2021. Co-movimientos entre metales preciosos e implicaciones para la gestión de carteras: un análisis dinámico multivariante basado en wavelets. [en línea], vol. 74. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420721004281>.
- NORDBERG, G., 2021. METALES: PROPIEDADES QUÍMICAS Y TOXICIDAD. [en línea], pp. 37. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Capítulo+63.+Metales+propiedades+químicas+y+toxicidad>.
- PANDA, R., JADHAO, P.R., PANT, K.K., NAIK, S.N. y BHASKAR, T., 2020. Eco-friendly recovery of metals from waste mobile printed circuit boards using low temperature roasting. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 395, pp. 122642. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2020.122642.

- PARK, H.S. y KIM, Y.J., 2019a. A novel process of extracting precious metals from waste printed circuit boards: Utilization of gold concentrate as a fluxing material. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 365, pp. 659-664. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2018.11.051.
- PARK, H.S. y KIM, Y.J., 2019b. A novel process of extracting precious metals from waste printed circuit boards: Utilization of gold concentrate as a fluxing material. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 365, pp. 659-664. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2018.11.051.
- PEETERS, J.R., BRACQUENE, E., NELEN, D., UEBERSCHAAR, M., VAN ACKER, K. y DUFLOU, J.R., 2018. Forecasting the recycling potential based on waste analysis: A case study for recycling Nd-Fe-B magnets from hard disk drives. *Journal of Cleaner Production*, vol. 175, pp. 96-108. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.080.
- PELAEZ AYALA, C. alberto y RODRIGUEZ PALOMINO, efrain agosto, 2018. *Protocolo para diseño de tarjetas de circuitos en máquina ruteadora* [en línea]. S.I.: Universidad de San Buenaventura Colombia. Disponible en: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/6149/1/Tarjetas\\_Circuitos\\_Ruteadora\\_Ayala\\_2018.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/6149/1/Tarjetas_Circuitos_Ruteadora_Ayala_2018.pdf).
- PEREA, C.G., BAENA, O.J.R., IHLE, C.F. y ESTAY, H., 2021. Copper leaching from wastes electrical and electronic equipment (WEEE) using alkaline monosodium glutamate: Thermodynamics and dissolution tests. *Cleaner Engineering and Technology* [en línea], vol. 5, pp. 100312. [Consulta: 13 noviembre 2021]. ISSN 2666-7908. DOI 10.1016/J.CLET.2021.100312. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S266679082100272X>.
- PIETRELLI, L., FERRO, S. y VOCCIANTE, M., 2019. Eco-friendly and cost-effective strategies for metals recovery from printed circuit boards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 112, pp. 317-323. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/J.RSER.2019.05.055.
- PLAOR JOYERIA, 2016. El oro. Características físicas, usos y propiedades. [en

línea], Disponible en: <https://www.joyeriaplaor.com/blog/el-oro-caracteristicas-fisicas-usos-y-propiedades/>.

PONCE OLIVERA, J. manuel, 2013. "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECICLADO DE TARJETAS DE CIRCUITOS IMPRESOS -PCB-" [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA. Disponible en: [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/11683.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11683.pdf).

POVEDA AVILA, P., NOGALES, N. y CALLA ORTEGA, R., 2015. EL ORO EN BOLIVIA. [en línea], Disponible en: [https://www.plataformaintegraldemineria.org/sites/default/files/2018-11/EI\\_oro\\_en\\_Bolivia\\_mercado%2C\\_producci3n\\_y\\_medio\\_ambiente.pdf](https://www.plataformaintegraldemineria.org/sites/default/files/2018-11/EI_oro_en_Bolivia_mercado%2C_producci3n_y_medio_ambiente.pdf).

POWER PORTO, G., 2007. Materiales metálicos y reciclaje. [en línea], no. 205-222, pp. 18. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337460076013.pdf>.

PRIYA, A. y HAIT, S., 2020. 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*, vol. 143, pp. 262-272. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/J.PSEP.2020.06.042.

RISCO, Á., SUCUNZA, D. y GONZÁLEZ-EGIDO, S., 2021. Chemical recovery of waste electrical and electronic equipment by microwave-assisted pyrolysis: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 159, pp. 105323. ISSN 0165-2370. DOI 10.1016/J.JAAP.2021.105323.

RODRIGUEZ HEREDIA, dunia, 2017. Intoxicación ocupacional por metales pesados. [en línea], vol. 21, no. 12. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012).

SERPE, A., 2018. Green chemistry for precious metals recovery from WEEE. *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling: Aqueous Recovery Methods*, pp. 271-332. DOI 10.1016/B978-0-08-102057-9.00011-1.

SILVA, U. y BAIGORROTEGUI, G., 2020. The Chilean regulation of waste electrical

- and electronic equipment (WEEE): some of the challenges and opportunities to incorporate informal E-waste recyclers. *Handbook of Electronic Waste Management: International Best Practices and Case Studies*, pp. 517-531. DOI 10.1016/B978-0-12-817030-4.00020-6.
- SRONSRI, C., SITTIPOL, W., PANITANTUM, N. y U-YEN, K., 2021. Optimization of elemental recovery from electronic wastes using a mild oxidizer. *Waste Management*, vol. 135, pp. 420-427. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.2021.09.027.
- TANISALI, E., ÖZER, M. y BURAT, F., 2020. Precious Metals Recovery from Waste Printed Circuit Boards by Gravity Separation and Leaching. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, pp. 24-37. DOI 10.1080/08827508.2020.1795849.
- TUNCUK, A., 2019. 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*, vol. 95, pp. 636-643. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.
- TUNCUK, A., STAZI, V., AKCIL, A., YAZICI, E.Y. y DEVECI, H., 2012. Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling. *Minerals Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 28-37. ISSN 0892-6875. DOI 10.1016/J.MINENG.2011.09.019.
- TUNSU, C. y RETEGAN, T., 2016. Hydrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from WEEE. *WEEE Recycling: Research, Development, and Policies*, pp. 139-175. DOI 10.1016/B978-0-12-803363-0.00006-7.
- UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, 2014. BIOHIDROMETALURGIA APLICADA A LA OBTENCIÓN DE METALES Y A LA DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS Y EFLUENTES LÍQUIDOS. *Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)*.
- VALDEZ ALCIVAR, J.E., 2020. *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22015/1/T-UCE-0012-FIG-235.pdf>.

VEGA GRANILLO, E. y SAMANO TIRADO, alma, 2013. USOS Y OCURRENCIA DE LOS PRINCIPALES METALES QUE SE PRODUCEN EN SONORA. [en línea], Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/EpistemusCienciatecnologiaysalud/2013/no14/13.pdf>.

VEGLIO, F. y BIRLOAGA, I., 2018. *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling: Aqueous Recovery Methods*. S.l.: s.n.

WU, Y., FANG, Q., YI, X., LIU, G. y LI, R.W., 2017. Recovery of gold from hydrometallurgical leaching solution of electronic waste via spontaneous reduction by polyaniline. *Progress in Natural Science: Materials International*, vol. 27, no. 4, pp. 514-519. ISSN 1002-0071. DOI 10.1016/J.PNSC.2017.06.009.

YAYA LÉVANO, J.E.R. y COAQUIRA YAPU, M.A., 2019. Recuperacion de oro de residuos electronicos aplicando metodos no convecionales de baja contaminacion ambiental, a nivel de laboratorio. *ÑAWPARISUN-Revista de Ivestigacion Cientifica*, vol. 1, pp. 4.

YI, X., QI, Y., LI, F., SHU, J., SUN, Z., SUN, S., CHEN, M. y PU, S., 2019. Effect of electrolyte reuse on metal recovery from waste CPU slots by slurry electrolysis. *Waste Management*, vol. 95, pp. 370-376. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/J.WASMAN.2019.06.034.

ZHANG, H.M., FAN, Z., XU, W., FENG, X. y WU, Z.C., 2017. Retrieval of Au, Ag, Cu precious metals coupled with electric energy production via an unconventional coupled redox fuel cell reactor. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 338, pp. 194-201. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2017.05.020.

ZHANG, L. y XU, Z., 2016. A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment. *Journal of Cleaner Production*, vol. 127, pp. 19-36. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2016.04.004.

ZHOU, W., LIANG, H. y XU, H., 2021. Recovery of gold from waste mobile phone circuit boards and synthesis of nanomaterials using emulsion liquid membrane. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 411, pp. 125011. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2020.125011.

## ANEXOS

	<h1>FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO</h1>
---	---

PÁGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION 2016	LUGAR DE PUBLICACION India
--------------------	----------------------------	-------------------------------

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR(ES): (Cayumil et al. 2016)
------------------------	----------------------------------

CODIGO:	
PALABRAS CLAVES:	Residuos electrónicos, recuperación de metales preciosos, PCB, reciclaje, concentración
TIPOS DE TECNOLOGIAS	DE Pirometalúrgico
METALES PRECIOSOS	Ag, Au, Pd, Pt.
TIPOS DE PIEZAS	Placas de circuito impreso (PCB).
RESULTADOS:	Se encontraron proporciones significativas de Ag, Au, Pd y Pt concentradas dentro de dos tipos de fases metálicas, con cantidades muy limitadas retenidas por los NMF. Este proceso tuvo éxito en la concentración de varios metales preciosos como Ag, Au, Pd y Pt en una pequeña fracción de volumen, y redujo los volúmenes para su posterior procesamiento / refinamiento hasta en un 75%.
CONCLUSIONES:	La generación de fases metálicas ricas en metales preciosos demuestra que el pirólisis a alta temperatura es un enfoque viable para la recuperación de metales preciosos a partir de desechos electrónicos





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Tecnologías de Recuperación de Metales Preciosos a Partir de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Una Revisión Sistemática

", cuyos autores son DIAZ CHACCHI JERSON WILDER CESAR, ESCARCENA PEREZ FRANK MANUEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 7.00%, 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, 12 de Julio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO <b>DNI:</b> 07268863 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 14- 07-2022 00:34:58

Código documento Trilce: TRI - 0339888