



**Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE
APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE) EN LAS
COMUNAS DE GRANEROS, MOSTAZAL Y CODEGUA, REGIÓN DE
O'HIGGINS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: MARCELO IAND CELIS AHUMADA
PROFESOR GUÍA: MARÍA PAZ VARELA DÍAZ**

VALPARAÍSO, 2025

Agradecimientos

Gracias a mi familia por darme siempre su apoyo, amor y paciencia durante todos estos años. En especial a mi hermana que siempre ha estado para mí y yo siempre estaré para ella y que sin ella no sé cómo habría sobrevivido durante todo este periodo.

Quiero agradecer a mis amigos que llegaron en un momento muy oscuro para mí y me llenaron de alegría, sabiduría y compañía, con ustedes nunca me sentí solo.

Quiero agradecer también a la profesora María Paz Varela que me acompañó en todo este proceso, no sabe cuánto agradezco disposición, preocupación, apoyo en este trabajo y ayudándome a sacar adelante todo este desafío.

A todos ustedes, muchas gracias.

Resumen

El presente trabajo aborda la creciente problemática de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, Región de O'Higgins. Debido al aumento en el consumo de tecnología, la generación de RAEE se ha incrementado, representando un riesgo ambiental y sanitario debido a la presencia de materiales peligrosos como metales pesados. Si bien estos residuos contienen componentes valiosos que pueden ser reciclados, en la actualidad, su gestión es insuficiente.

El objetivo principal fue evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de gestión de residuos en estas comunas, para ello se abordaron tres objetivos específicos. En primer lugar, se caracterizó una vivienda estándar a través de encuestas, donde se definió que los hogares están compuestos en promedio por cuatro personas y poseen aparatos como refrigeradores, televisores, celulares, entre otros y la frecuencia con la que estos aparatos son reemplazados.

Con esta información, se estimó el flujo másico de RAEE proyectado hasta el año 2040 considerando la tasa de recambio de equipos y su composición material. Permitiendo determinar el volumen de residuos valorizables aplicando metas nacionales, como que la tasa de valorización debe llegar al 40% para el año 2030 y para el año 2040 se espera alcanzar un 75% de valorización de los residuos.

En tercer lugar, se propuso un sistema de gestión que incluye un sistema de recolección de RAEE a por medio de puntos limpios y campañas de reciclaje de residuos, las cuales también aportarían con educación ambiental a las comunidades. Además, incluiría almacenamiento temporal y selección de tecnologías de tratamiento de estos. Este sistema fue evaluado económicamente mediante un flujo de caja a 16 años, considerando el análisis de ingresos potenciales por valorización de materiales, los costos asociados a su implementación y el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), utilizando una tasa de descuento social del 5,5%, el cual fue negativo en ambos escenarios propuestos, siendo -199,8 y -12.814,2. Resultando en una propuesta viable, que además de promover la economía circular y promueve la educación ambiental local.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 RESIDUOS	1
1.2 RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)	3
1.3 RAEE A NIVEL INTERNACIONAL	4
1.3.1 Impacto Ambiental	4
1.3.2 Impacto de RAEE en Latinoamérica	7
1.3.3 Legislación, Convenios y Protocolos Internacionales	8
1.4 RAEE EN CHILE	10
1.4.1 Generación de los residuos eléctricos en Chile	10
1.4.2 Normativa y políticas nacionales	10
1.4.3 Economía Circular y Valoración de RAEE	11
1.4.4 Desafíos en la Gestión de RAEE en Comunas Pequeñas y Medianas	12
2. PROBLEMA	14
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. METODOLOGÍA	16
4.1 CATEGORIZAR LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)	16
4.1.1 Análisis del área de estudio	16
4.1.2 Tamaño de la muestra	17
4.1.3 Encuesta y definiciones de RAEE	17
4.1.4 Categorización de los equipos	17
4.2 ESTIMAR EL FLUJO MÁSCO DE LOS COMPONENTES DE RAEE PARA RECICLAR	18
4.2.1 Reemplazo de los aparatos	18
4.2.2 Proyección y cuantificación de RAEE	18
4.2.3 Componentes de RAEE	19
4.3 PROPONER UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RAEE PARA RAEE EN LAS COMUNAS DE GRANEROS, MOSTAZAL Y CODEGUA	19
4.3.1 Evaluación de opciones para el reciclaje de RAEE	19
4.3.2 Análisis y evaluación de tecnologías	20
4.3.3 Análisis de Recolección	20

4.3.4	Análisis de lugar de recepción y almacenamiento	21
4.3.5	Propuesta sistema de gestión de RAEE.....	21
4.4	EVALUAR LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO.....	22
4.4.1	Cuantificación de ingresos	22
4.4.2	Cuantificación de egresos	22
4.4.3	Criterios de selección y análisis de sensibilidad	22
5.	RESULTADOS.....	23
5.1	CATEGORIZAR LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE).....	23
5.1.1	Análisis del área de estudio	23
5.1.2	Encuesta y definiciones de RAEE.....	26
5.1.3	Categorización de los equipos.....	29
5.2	ESTIMAR EL FLUJO MÁSCO DE LOS COMPONENTES DE RAEE PARA RECICLAR	30
5.2.1	Reemplazo de los aparatos	30
5.2.2	Proyección y cuantificación flujo másico de RAEE.....	30
5.2.3	Componentes de RAEE	31
5.3	PROPONER UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RAEE PARA RAEE EN LAS COMUNAS DE GRANEROS, MOSTAZAL Y CODEGUA.....	33
5.3.1	Evaluación de opciones para el reciclaje de RAEE	33
5.3.2	Evaluación de Alternativas para el Tratamiento y Gestión de RAEE.....	40
5.3.3	Análisis recolección	41
5.3.4	Análisis de Almacenamiento	42
5.3.5	Propuesta del sistema de gestión de RAEE	44
5.4	EVALUAR LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO.....	55
5.4.1	Cuantificación de ingresos	55
5.4.2	Cuantificación de egresos	59
5.4.3	Criterios de selección y análisis de sensibilidad	63
6.	DISCUSIÓN.....	65
7.	CONCLUSIÓN	69
8.	BLIBIOGRAFÍA.....	70
9.	ANEXO	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Diferentes formas de Clasificar los Residuos (Cabildo et al. 2008).....	1
Tabla 1.2 Clasificación de los Residuos (SINiA, 2021)	2
Tabla 1.3 Tipos de Productos Prioritarios (Ecológica, 2024).....	3
Tabla 1.4 Concentraciones de metales pesados en el agua Giuyu en los años 2009 y 2020 (Hu et al, 2020).	6
Tabla 1.5 Concentración de los Metales Pesados dentro y fuera del taller de reciclaje (Fujimori y Takigami, 2013).....	7
Tabla 1.6 Presencia de legislación específica para RAEE según el país (.....	8
Tabla 4.1 Ejemplo para la categorización de equipos.	18
Tabla 4.2 Tabla de referencia por los niveles de reemplazo	18
Tabla 4.3 Tabla de referencia por aparato.....	19
Tabla 4.4 Tabla de referencia para material valorizable disponible.....	19
Tabla 4.5. Matriz para valorización de las diversas alternativas	20
Tabla 4.6 Ejemplo flujo de caja	22
Tabla 5.1 Población Censada y estimada (Censo de Población y Vivienda 2017 y 2024, INE).	24
Tabla 5.2 Población por sexo (Censo de Población y Vivienda 2017 y 2024, INE).....	24
Tabla 5.3 Tasa de Pobreza por ingreso (Encuesta CASEN 2017 y 2024, MDS)	25
Tabla 5.4 Proyección demográfica	25
Tabla 5.5 Habitantes que componen un domicilio en las comunas de Graneros	28
Tabla 5.6 Distribución de los AEE en los hogares	28
Tabla 5.7 Categorización de los equipos mínimos necesarios de una vivienda en la comuna Graneros.	29
Tabla 5.8 Recambio de los AEE.....	30
Tabla 5.9 Proyección de las unidades valorizables de RAEE.....	31
Tabla 5.10 Composición másica de los RAEE.....	31
Tabla 5.11 Alternativas de reciclaje y gestión de RAEE: Consideraciones y requerimientos	33
Tabla 5.12 Resumen del proceso de Pirometalurgia	35
Tabla 5.13 Resumen del proceso de Hidrometalurgia	37
Tabla 5.14 Resumen del proceso de Biometalurgia.....	38
Tabla 5.15 Evaluación comparativa de alternativas de gestión RAEE	40
Tabla 5.16 Perfil Operario.....	49
Tabla 5.17 Perfil Técnico en Reacondicionamiento	50
Tabla 5.18 Perfil Supervisor	50
Tabla 5.19 Perfil Encargado de seguridad	51
Tabla 5.20 Ficha Balanza.....	51
Tabla 5.21 Ficha Cinta transportadora.....	52
Tabla 5.22 Triturador Chipeador	52
Tabla 5.23 Separador magnético.....	52
Tabla 5.24 Detector de metales	53
Tabla 5.25 Bodega para residuos peligroso.....	53
Tabla 5.26 Herramientas manuales para desarme y reacondicionamiento	53
Tabla 5.27 Capacidad del centro de valorización	54

Tabla 5.28 Normativa aplicable al sistema.....	54
Tabla 5.29 Criterios para realizar una Evaluación de Impacto Ambiental	55
Tabla 5.30 Valorización del Cobre	56
Tabla 5.31 Valorización de Metales Ferrosos.....	57
Tabla 5.32 Valorización placas base	58
Tabla 5.33 Tabla resumen ingresos por venta.....	58
Tabla 5.34 Inversión en maquinaria	59
Tabla 5.35 Inversión en puntos limpios	59
Tabla 5.36 Tabla resumen costos de inversión.....	60
Tabla 5.37 Costos por sueldos.....	60
Tabla 5.38 Costos por equipamiento.....	61
Tabla 5.39 Consumo eléctrico por mes.....	61
Tabla 5.40 Consumo eléctrico total	62
Tabla 5.41 Estimación licitaciones para el transporte de residuos	63
Tabla 5.42 VAN para los escenarios del proyecto.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Colores de los contenedores para distintos residuos.....	2
Figura 1.2 Ubicación de vertederos informales de desmantelamiento y reciclaje de residuos electrónicos	5
Figura 1.3 Distribución superficial de Zinc, Plomo y Cobre respectivamente en el área del centro de reciclaje6	
Figura 1.4 AEE comercializados y RAEE generados en la región (kt) para 2010-2019	7
Figura 1.5 Ciclo de vida de los RAEE	12
Figura 5.1 Mapa Provincia del Cachapoal	23
Figura. 5.2 Encuesta categorización RAEE	26
Figura 5.3 Resultado sobre la comuna a la que pertenece	27
Figura 5.4 Proyección de componentes RAEE hasta el año 2040.....	32
Figura 5.5 Proyección de componentes RAEE hasta el año 2040.....	32
Figura 5.6 Ubicación centro de tratamiento.....	43
Figura 5.7 Diagrama del proceso.....	44
Figura 5.8 Campana para residuos eléctricos y electrónicos de la comuna de Peñalolén.....	45

1. INTRODUCCIÓN

1.1 RESIDUOS

A nivel internacional, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2007) define residuo como “a todo lo que es generado, producto de una actividad y no es de nuestro interés, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, formándose una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales.”

A nivel nacional, según lo establecido por la Ley N°20.920 se entiende como residuo a toda “sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente.”

En esencia se puede entender como residuo a sustancias o materias generadas por la actividad humana que han perdido su utilidad o valor económico en el contexto en que se producen, pero que pueden tener valor en sí mismos al ser reutilizados o reciclados.

Una correcta clasificación de los residuos es esencial para una adecuada gestión y tratamiento. Cabildo et al. (2008) señala que “establecer una clasificación de los residuos es complejo, aunque se puede realizar atendiendo a distintos factores: características físico-químicas, origen, peligrosidad, posibles tratamientos, flujos temáticos, etc.” En la Tabla 1.1 se muestran algunas de las clasificaciones que Cabildo et al. (2008) proporcionaron.

Tabla 1.1 Diferentes formas de Clasificar los Residuos (Cabildo et al. 2008)

Clasificación de los residuos	
Según sus características físico-químicas	Sólidos, líquidos, lodos/fangos, pastosos, radiactivos, etc.
Según su origen	Sólidos urbanos (municipales), comerciales, industriales, agropecuarios, construcción y demolición, sanitarios (hospitalarios), mineros, etc.
Según su peligrosidad	Peligrosos, inertes, biocontaminados, no peligrosos, radiactivos, infecciosos, etc.
Según sus posibles tratamientos	Fermentables, reciclables, valorizables, inertizables, etc.
Según sus flujos temáticos	Aparatos eléctricos y electrónicos, vehículos al final de su vida útil, neumáticos, envases y embalajes, construcción y demolición, PVC, etc.

Por otro lado, el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINiA) en el Informe Del Estado Del Medio Ambiente (2021) clasifica los residuos como se presenta en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Clasificación de los Residuos (SINIA, 2021)

Clasificación de residuos según su característica		
Residuo peligroso		Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto.
Residuo no peligroso		Residuo que no presenta riesgo para la salud pública ni efectos adversos al medio ambiente.
Residuo inerte		Residuo no peligroso que no experimenta variaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto.
Clasificación de residuos según su origen		
Residuos municipales	sólidos	Incluye residuos sólidos domiciliarios y residuos similares a los anteriores generados en el sector servicios y pequeñas industrias. También se consideran residuos sólidos municipales a los derivados del aseo de vías públicas, áreas verdes y playas.
Residuo industrial		Residuos resultantes de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento, generados por la actividad industrial. Son aquellos residuos sólidos o líquidos, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos (Definición del D.S.N°594/99 MINSAL). (Ministerio de Salud, 2000).

Además, los residuos se pueden clasificar de acuerdo al elemento del que están compuestos, en donde en Chile, según la NCh 3322/2013, su clasificación se establece según lo indicado en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Colores de los contenedores para distintos residuos

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2017

Otra forma de clasificar los residuos es según lo establecido en la Ley 20.920, que define los productos prioritarios como aquellas “sustancia u objeto que una vez transformado en residuo, por su volumen,

peligrosidad o presencia de recursos aprovechables, queda sujeto a las obligaciones de la responsabilidad extendida del productor.” Existen 5 criterios por los que se escogieron y priorizaron estos residuos frente a otros: consumo masivo, volumen significativo, que sea un residuo peligroso, que sea factible de valorizar y que en regulación comparada sea considerado así. Los productos prioritarios son aceites lubricantes, baterías, envases y embalajes, neumáticos, pilas y aparatos eléctricos y electrónicos, como se ve en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Tipos de Productos Prioritarios (Ecológica, 2024)

Productos Prioritarios	
Neumáticos	Se consideran prioritarios por su gran consumo y volumen de residuos. Son una oportunidad de generar valor a partir del caucho o como energía.
Envases y Embalajes	Están compuestos de plástico, cartón, papel, aluminio u hojalata, y se generan en grandes cantidades. Todos estos materiales son reciclables.
Aceites Lubricantes	Los aceites y lubricantes son sustancias que lubrican motores, cajas de cambios, turbinas e hidráulicos, entre otros, y tienen una composición química similar.
Pilas	Las pilas son un producto prioritario en Chile debido a la contaminación que producen, además, aunque son el único producto que aún no es factible valorizar, son ampliamente desechadas.
Baterías	Dado que las baterías son utilizadas en gran cantidad, el volumen significativo de residuos peligrosos generados al final de su vida útil provoca un aumento en la contaminación ambiental. Los residuos de estos productos, claves para la transición energética, pueden ser valorizados a través del reciclaje o reutilización.
Eléctricos y Electrónicos	Cumplen todos los requisitos para ser considerados productos prioritarios, pues son ampliamente usados, ocupan espacio, contienen metales y sustancias que pueden ser peligrosas, pero también valorizadas, y son mundialmente considerados como claves para la recuperabilidad.

1.2 RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

Es fundamental establecer el concepto de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Al respecto, Fernández-Protomastro (2013) propone las siguientes definiciones:

- **Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE):** los aparatos que necesitan para funcionar corriente eléctrica o campos electromagnéticos, destinados a ser utilizados con una tensión nominal no superior a 1.000 V en corriente alterna y 1.500 V en corriente continua, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos.
- **Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE):** aparatos eléctricos y electrónicos, sus materiales, componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte de los mismos, que su poseedor deseché o tenga la obligación legal de hacerlo.

Otras definiciones de RAEE son:

- **Unión Europea (2012):** Todos los aparatos eléctricos y electrónicos, objetos o sustancias sobre los que hay, de hecho, intención u obligación de desprenderse.

- **Casas, et al. (2015):** cualquier aparato que utilice un suministro de energía eléctrica para su funcionamiento y que haya alcanzado el fin de su vida útil. Entre los RAEE se incluye una amplia gama de aparatos, como computadores, equipos electrónicos de consumo, celulares y electrodomésticos, que ya no son utilizados o deseados por sus usuarios. El término RAEE también comprende todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha.

En relación a las definiciones anteriores se puede entender que los RAEE son:

Todos aquellos aparatos que utilizan corriente eléctrica o campos electromagnéticos para su funcionamiento y que han alcanzado el final de su vida útil. Incluyen sus componentes, materiales, subconjuntos y consumibles, y son desechados por su propietario ya sea por decisión propia, necesidad, o por obligación legal.

1.3 RAEE A NIVEL INTERNACIONAL

Este tipo de residuos es especialmente peligroso, ya que, además de contaminar, puede conllevar problemas muy serios para la salud, tanto de las personas como de los ecosistemas naturales. La también denominada basura electrónica genera riesgos ambientales que afectan, en mayor nivel, a los países en vía de desarrollo ya que por lo general éstos reciben desechos tecnológicos de otras naciones, siendo catalogados como vertederos extranjeros. En cuanto a la salud de los seres humanos se refiere, los desechos tecnológicos causan un impacto negativo que en casos de exposición constante pueden llevar a la muerte. Los metales pesados que poseen este tipo de productos no solamente se pueden asimilar por el contacto directo con los mismos sino también por el agua o aire que consume la población ya que suele ser contaminada cuando no se les da un trato adecuado. (Blogspot, 2012)

1.3.1 Impacto Ambiental

Estos desechos contienen materiales valiosos que pueden ser reciclados, pero también sustancias peligrosas, como metales pesados y compuestos tóxicos. Si no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar el suelo, el agua y el aire, representando un riesgo para la salud humana y los ecosistemas. Según las Forti et al., (2024), en 2022 la generación de RAEE pasó de 34.000 millones de kg en 2010 a 62.000 millones de kg en 2022. Se prevé que ese valor pase a ser 82.000 millones de kg para 2030. Muchos equipos electrónicos y eléctricos son enviados a países de África, Asia y América Latina bajo la etiqueta de “equipos de segunda mano”. Sin embargo, gran parte de estos dispositivos terminan en vertederos informales de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Aunque algunos equipos son revendidos, muchos otros son desechados en vertederos, desde campos y riberas de ríos hasta centros informales de tratamiento, donde no reciben el manejo adecuado. Hasta la fecha, esta práctica continúa, y grandes cantidades de residuos electrónicos siguen siendo enviadas a estos países como se ve en la Figura 1.2.

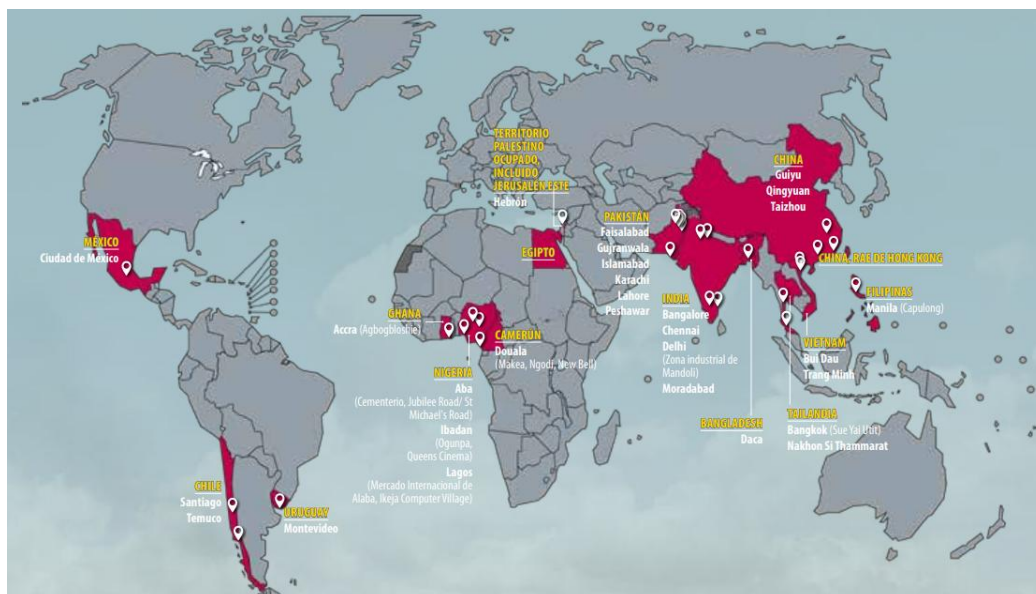


Figura 1.2 Ubicación de vertederos informales de desmantelamiento y reciclaje de residuos electrónicos

Fuente: Organización Mundial de la Salud, 2021.

1.3.1.1 Impacto RAEE en China

Uno de los principales vertederos informales de desechos electrónicos se encuentra en China, específicamente en la ciudad de Guiyu, donde las concentraciones de metales pesados disueltos en el agua son significativamente más altas en comparación con cuerpos de agua dulce alejados de otros basureros electrónicos. (Urbina Joiro, 2015)

Chan et al. (2012) encontraron que el pescado de agua dulce en Guiyu presenta niveles extremadamente elevados de residuos de polibromodifenil éteres (PBDE). Estos compuestos han sido ampliamente utilizados durante las últimas dos o tres décadas como retardantes de llama en productos electrónicos y eléctricos, textiles, materiales de construcción sintéticos y automóviles. El estudio analizó dos grupos de peces: peces silvestres y peces de mercado. Los resultados mostraron que las concentraciones de PBDE en los peces silvestres eran al menos 30 veces superiores a las de los peces de mercado. En particular, la carpa plateada en estado salvaje presentó niveles 94 veces más altos que los encontrados en los peces de mercado. Un estudio realizado por Hu et al (2020), donde comparaban la concentración de metales pesados encontrados en el 2009 con concentraciones más actuales de dichos metales, mostro una disminución de estos, como se ve en la Tabla 1.4, concluyendo que esta disminución puede deberse a que en el 2015 el gobierno estableció una planta de tratamiento de residuos electrónicos estandarizada y centralizada tras percatarse de la enorme carga ambiental que supone la eliminación arbitraria de estos residuos.

A pesar de que la gestión de residuos electrónicos se ha convertido en una preocupación creciente en los últimos años y de que el gobierno local ha implementado diversas medidas y políticas para reducir el desmantelamiento informal, la aplicación estricta de estas regulaciones sigue representando un desafío constante. Un estudio realizado por Zeng et al en el 2018, evidencio que, de un total de 470

niños en edad preescolar, más de la mitad presentaba concentraciones de metales pesados especialmente de Plomo (Pb) ($6,81 \mu\text{g/dL}$) en sangre. Según Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), el umbral de exposición al plomo en niños es de $3.5 \mu\text{g/dL}$, debido a que este se acumula principalmente en los huesos del cuerpo, lo que puede ocasionar déficits del desarrollo neurológico de los niños, desregulación de la presión arterial, desarrollo posterior de enfermedades cardiovasculares, menor cantidad de anticuerpos, entre muchos otros problemas para la salud.

Tabla 1.4 Concentraciones de metales pesados en el agua Giuyu en los años 2009 y 2020 (Hu et al, 2020).

Heavy Metal(loid)s (Mean $\pm$ SD)	2020-SY ($n = 9$)	2020-JZ ($n = 9$)	2020-XY ($n = 9$)	2009 ($n = 10$)
Water ($\mu\text{g/L}$)				
As	0.473 ± 0.185	0.574 ± 0.254	0.599 ± 0.103	0.779 ± 0.606
Ba	48.696 ± 15.763	40.695 ± 12.540	55.523 ± 18.859	46.252 ± 46.266
Cr	1.912 ± 1.015	1.922 ± 0.558	2.301 ± 0.788	1.953 ± 1.581
Cu	0.575 ± 0.339	0.754 ± 0.486	0.733 ± 0.269	0.753 ± 0.635
Mn	$0.032 \pm 0.082^{**}$	$0.063 \pm 0.103^{**}$	$0.108 \pm 0.135^{**}$	2.140 ± 3.049
Ni	$2.63 \pm 1.07^{**}$	$3.021 \pm 0.79^{**}$	$3.813 \pm 1.049^{**}$	4.771 ± 2.093
Pb	<LOD	$0.102 \pm 0.305^{**}$	<LOD	0.325 ± 0.704
Se	0.298 ± 0.150	0.320 ± 0.042	0.376 ± 0.085	0.367 ± 0.176
Sr	526.996 ± 185.772	621.594 ± 198.735	751.587 ± 169.996	871.278 ± 353.11
V	0.687 ± 0.276	0.777 ± 0.211	0.833 ± 0.233	1.123 ± 0.988
Zn	1.894 ± 2.392	1.165 ± 1.324	0.870 ± 0.621	1.505 ± 1.164
Cd	$0.007 \pm 0.008^{**}$	$0.013 \pm 0.013^{**}$	$0.010 \pm 0.003^{**}$	0.017 ± 0.004

1.3.1.2 Impacto RAEE en Filipinas

Otro estudio realizado por Fujimori y Takigami (2013), realizado en el área metropolitana de Manila, Filipinas, analizó el suelo de la superficie de un taller de reciclaje de residuos para la presencia de metales pesados, como se puede ver en la Figura 1.3. El sitio era un área pequeña de $10 \text{ m} \times 14 \text{ m}$, donde se almacenaban diversos tipos de residuos. Los desechos electrónicos incluían televisores con tubo de rayos catódicos, placas de circuitos, cables, reproductores de audio y otros aparatos electrónicos, destacando que los trabajadores desmantelaban los equipos sin proteger su boca, nariz y manos.

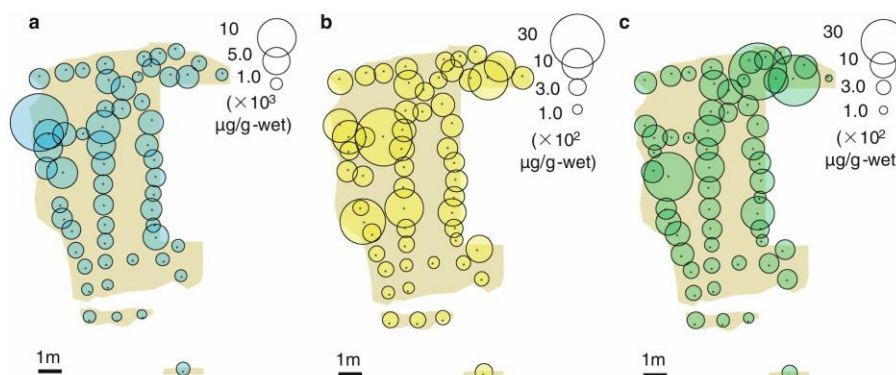


Figura 1.3 Distribución superficial de Zinc, Plomo y Cobre respectivamente en el área del centro de reciclaje

Fuente: Fujimori y Takigami, 2013

En dicho estudio se encontraron concentraciones de Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb), como se ve en la Tabla 1.5, las cuales superaban los niveles de toxicidad permitidos por el Departamento de Protección Ambiental de Nueva Jersey, (Cu $600 \mu\text{g/g}$; Zn $1,500 \mu\text{g/g}$; Pb $400 \mu\text{g/g}$), Al exterior del taller

las concentraciones máximas de Zn fueron entre los 6 y 9 m desde la entrada, la cual fue de 3800 µg/g; el Pb alcanzó la concentración máxima en las áreas de 6 a 12 m, la cual fue de 500 µg/g y el Cu mostró la misma tendencia, que después de los 6m alcanzó su concentración máxima que fue de 720 µg/g, lo que indica que la superficie al interior y al exterior del centro de reciclaje se encontraba contaminada. (Fujimori y Takigami, 2013)

Tabla 1.5 Concentración de los Metales Pesados dentro y fuera del taller de reciclaje (Fujimori y Takigami, 2013).

	Zn (µg/g-wet)		Pb (µg/g-wet)		Cu (µg/g-wet)	
	Inside (n = 52)	Outside (n = 4)	Inside (n = 52)	Outside (n = 4)	Inside (n = 52)	Outside (n = 4)
Median	2,300	830	420	260	680	320
Geometric mean	2,300	850	450	250	630	290
Arithmetic mean	3,000	890	580	250	850	310
Max	22,000	1,300	3,400	300	5,000	450
75 % quartile	3,600	1,100	560	280	900	390
25 % quartile	1,600	630	330	230	400	240
Min	720	620	130	200	67	160

1.3.2 Impacto de RAEE en Latinoamérica

Wagner et al. (2022) abarca trece países (Argentina, Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Perú, El Salvador, Uruguay y Venezuela) indicando que la generación de RAEE aumentó en estos países un 49% entre los años 2010 y 2019, como se ve en la Figura 1.4, y que más del 97% de los residuos electrónicos generados en los trece países analizados no se recogen ni se envían a instalaciones para su adecuada gestión ambientalmente y que la mayor parte de los residuos electrónicos acaban en vertederos o son gestionados por el sector informal, donde separan las partes valiosas mientras que los plásticos que contienen COP y los residuos peligrosos se eliminan en vertederos, además que ninguno de los países recoge y trata los COP contenidos en plásticos de los residuos electrónicos.

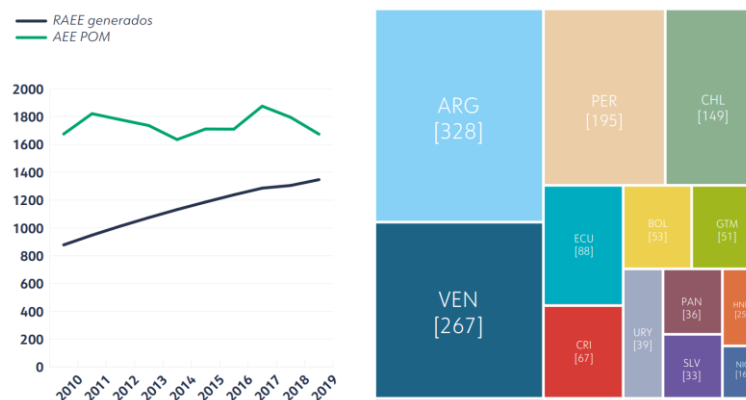


Figura 1.4 AEE comercializados y RAEE generados en la región (kt) para 2010-2019

Fuente: Wagner et al., 2022

Esto genera un impacto sobre el medio ambiente y la salud humana, ya que la mayor parte de los residuos electrónicos acaban en vertederos, donde ocurren fugas de sustancias peligrosas presentes en los residuos. Además, cabe señalar que el sector informal domina la recogida y el tratamiento de los

residuos electrónicos en los países analizados. Las principales actividades del sector informal incluyen el desmantelamiento manual de los residuos electrónicos, donde los componentes menos valiosos se transportan a los vertederos, poniendo en riesgo la salud de los trabajadores y el medio ambiente. Otra práctica que se realiza a menudo para el manejo de residuos eléctricos es la quema a cielo abierto, la extracción de tóner y el enterramiento/vertido de las piezas menos valiosas como plomo, bifenilos y clorofluorocarbonos, los cuales son dañinos para la salud humana.

Otro problema de latinoamerica es que en varios países no existe en una legislación específica para los residuos eléctricos, como se ve en la Tabla 1.6, donde solo cinco países (Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador y Perú) cuentan con prerrequisitos básicos en cuanto a la gestión ambientalmente racional de los residuos electrónicos. En los demás países se carece de una política o legislación adecuada, lo que dificulta la correcta gestión de los RAEE.

Tabla 1.6 Presencia de legislación específica para RAEE según el país (Wagner et al., 2022).

País	Legislación/ regulación específica de los RAEE	Estandares de salud y seguridad ambiental de los RAEE	Situación de REP de RAEE	Reglamentos en materia de residuos peligrosos (incl. COP)	Legislación específica sobre los COP contenidos en plásticos de RAEE	Normas para la gestión de los COP en los plásticos de RAEE
Argentina	✗	⚙️	✗	✓	✗	⚙️
Bolivia (Estado Plurinacional de)	✓	✓	✓	✓	✗	⚙️
Chile	✓	✓	✓	✓	✗	⚙️
Costa Rica	✓	✓	✓	✓	✗	⚙️
Ecuador	✓	✓	✓	✓	✗	⚙️
El Salvador	⚙️	✓	✗	✓	✗	⚙️
Guatemala	✗	⚙️	✗	✓	✗	✗
Honduras	✗	⚙️	✗	✓	✗	⚙️
Nicaragua	✗	⚙️	✗	✓	✗	⚙️
Panamá	⚙️	⚙️	⚙️	✓	✗	⚙️
Perú	✓	✓	✓	✓	✗	⚙️
Uruguay	⚙️	⚙️	⚙️	✓	✗	⚙️
Venezuela (República Bolivariana de)	✗	⚙️	⚙️	✓	✗	⚙️

1.3.3 Legislación, Convenios y Protocolos Internacionales

En respuesta a los desafíos ambientales asociados a los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), la comunidad internacional ha trabajado en la creación de un marco normativo global. A continuación, se destacan algunos de los más relevantes.

1.3.3.1 Protocolo de Montreal

Desde 1974 que se detectó la presencia de sustancias que agotan la capa de ozono en la atmósfera, como los clorofluorocarbonos (CFC). Estos compuestos, utilizados ampliamente en refrigeración por su baja toxicidad, resultaron ser altamente perjudiciales para el medio ambiente. En respuesta, en 1987 se adoptó el Protocolo de Montreal, un acuerdo legalmente vinculante que establece medidas para reducir la producción y el consumo de sustancias que dañan la capa de ozono, incluyendo aquellas presentes en equipos intercambiadores de temperatura. Este Protocolo entró en vigor el año 1989 y en 2009 alcanzó la ratificación universal. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2025)

1.3.3.2 Convenio de Basilea

El Convenio de Basilea habla sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación fue adoptado en 1989 y entró en vigor en 1992. Este tratado internacional tiene como objetivo reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y su movimiento. Donde las partes se comprometen a gestionar estos residuos de forma segura, tratándolos lo más cerca del lugar donde se generan, asegurando un manejo ambientalmente racional y previniendo la exportación ilegal. (Secretaría del Convenio de Basilea, 2025)

1.3.3.3 Convenio de Minamata

El Convenio de Minamata fue suscrito en Japón el año 2013, entrando en vigor el 16 de agosto de 2017. El Convenio lleva el nombre de la ciudad de Minamata en Japón en donde a fines de la década de 1950, familias locales fueron afectadas por mercurio a través de aguas residuales contaminadas con industriales mercurio. El presente convenio reconoce que el mercurio es un producto químico de preocupación mundial, debido a que cuando ingresa como contaminante al ambiente es bastante nocivo, se transporta a larga distancia en la atmósfera, el océano y la tierra. Este convenio limita la extracción de mercurio, norma el comercio, promueve la reducción de su uso en productos y procesos, controlando así las emisiones al aire y agua. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2025)

1.3.3.4 Legislación de la Unión Europea

La Unión Europea implementó la Directiva 2002/96/EC sobre RAEE, en vigor desde 2003, con el objetivo de promover la recolección y el reciclaje de estos residuos. Esta normativa establece un sistema en el que los consumidores pueden devolver sus dispositivos electrónicos usados sin costo. A pesar de estos esfuerzos, solo un tercio de los RAEE generados en la Unión Europea se reportan formalmente, mientras que el resto es recolectado por empresas no registradas, lo que conlleva riesgos de tratamiento inadecuado o incluso exportación ilegal. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2025)

1.4 RAEE EN CHILE

1.4.1 Generación de los residuos eléctricos en Chile

En 2017, el país generaba 168.116 toneladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), posicionándose como el cuarto país de Latinoamérica que genera más RAEE, pero solo un 3,4% de estos fueron recolectados. Para el año 2019 se generaron en nuestro país alrededor de 2.360 toneladas de residuos de pilas y cerca de 213.810 toneladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, de las cuales, solo el 4.1% fue reciclado. (MMA, 2022)

Actualmente, en Chile existen solo ocho empresas dedicadas a la gestión de residuos electrónicos. De ellas, únicamente una realiza el tratamiento completo, incluyendo la fundición de metales para la producción de lingotes de aluminio y cobre. (Quinzio Arenas, 2022)

1.4.2 Normativa y políticas nacionales

En Chile, la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) está regulada por un marco normativo que busca minimizar su impacto ambiental y fomentar su reciclaje

1.4.2.1 Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje

La ley 20.920 promulgada en mayo del año 2016, establece un instrumento económico de gestión de residuos, obligando a los productores de seis productos considerados prioritarios a organizar y financiar la gestión de los residuos de estos productos puestos en el mercado. Dentro de los objetivos de la presente ley, se busca disminuir la generación de residuos, fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, y proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Uno de los productos prioritarios ya mencionados, corresponde a los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE), ya que en el marco de esta ley son considerados como un producto de consumo masivo, con un volumen significativo, como un residuo peligroso y factible de valorizar, entre otras características.

1.4.2.2 Ley de Ozono (20.096/2006) y Normas de buenas prácticas de refrigeración y climatización

Chile ha ratificado todos los instrumentos internacionales relacionados con las Sustancias Agotadoras de la capa de Ozono (SAO) y su protección, en donde como principal objetivo se busca limitar tanto la producción como la importación de refrigerantes. La Ley de Ozono establece y regula los mecanismos de control aplicables a las sustancias agotadoras de la capa de ozono y a los productos cuyo funcionamiento requiera del uso de dichas sustancias. Las Normas de Buenas Prácticas, aunque son voluntarias, establecen una clasificación para refrigerantes y sistemas de refrigeración y climatización.

1.4.2.3 Decreto 148/2004 MINSAL

En relación al convenio de Basilea, el 12 de junio del año 2003 se promulga el Decreto 148, cuyo objetivo es garantizar la protección de la salud y del medio ambiente y para ello el Estado se compromete a regular el proceso completo de manejo de residuos peligrosos y no peligrosos. El decreto entrega las concentraciones permitidas para ser considerado peligroso. En el caso de los RAEE, éstos presentan peligrosidad en algunas subcategorías tales como: los aparatos de intercambio de temperatura; los monitores y pantallas para aquellos equipos antiguos con tecnología de tubo de rayos catódicos, por el

plomo y compuestos de plomo que contienen; en las lámparas con gases por el mercurio que contienen; y paneles fotovoltaicos que contienen cadmio y/o telurio y sus respectivos compuestos.

1.4.2.4 Resolución Exenta N°610/1982 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles

Normativa que prohíbe de forma general el uso de Bifenilos Policlorados (PCBs). Si bien, se encuentra especificada la prohibición de su uso, sin embargo, se permite que aquellos AEE que ya contengan este compuesto sigan operando hasta el fin de su ciclo de vida. Esta norma evidencia la vaguedad y generalidad de la normativa, así como también la falta de regulación en ciertas etapas del ciclo de vida de aquellos equipos eléctricos que contengan PCBs, como su importación, fabricación, transporte, distribución, comercialización, entre otras etapas.

1.4.3 Economía Circular y Valoración de RAEE

La economía circular es un modelo que busca reducir la generación de residuos, maximizar la reutilización de materiales y promover la eficiencia en el uso de los recursos. En el contexto de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), la economía circular juega un papel fundamental, ya que estos residuos contienen una gran cantidad de materiales valiosos y, al mismo tiempo, elementos contaminantes que requieren un manejo adecuado.

Como se indica en el Manual para la valorización de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, los RAEE están compuestos por diversos materiales que pueden ser recuperados y reutilizados como se ve en la Figura 1.5, donde la gestión de los RAEE abarca una serie de procesos que buscan minimizar su impacto ambiental y maximizar su aprovechamiento. Estos procesos incluyen

- **Recolección y almacenamiento:** Los RAEE son recolectados a través de puntos de acopio, programas de reciclaje o sistemas de recolección diferenciada, asegurando su almacenamiento en condiciones adecuadas para evitar contaminación.
- **Clasificación y tratamiento:** Una vez recolectados, los residuos son clasificados según su tipo y composición. Estos se pueden, reparar, desmontar manualmente o procesarlos para separar componentes valiosos.
- **Valorización de los materiales:** Después de procesarlos se recuperan y reciclan materiales clave
 - Metales ferrosos y no ferrosos: Cobre, aluminio, hierro y acero son materiales que pueden reciclarse para ser usados en la fabricación de nuevos productos.
 - Metales preciosos: Dispositivos electrónicos contienen oro, plata, platino y paladio, los cuales pueden recuperarse a través de procesos de refinamiento.
 - Plásticos reciclables: Muchas carcasas de dispositivos electrónicos están hechas de plásticos que pueden ser procesados y reutilizados en la industria.
 - Elementos raros y estratégicos: Algunos RAEE contienen tierras raras como neodimio, itrio y tántalo, esenciales para la fabricación de tecnología de punta (baterías, pantallas, imanes, etc.).

- **Eliminación de los residuos peligrosos:** Ya que algunos RAEE sustancias peligrosas o elementos tóxicos, estos deben ser tratados y eliminados de manera segura, evitando daños en la salud y el medio ambiente.

Además, los equipos eléctricos que son desechados aún pueden ser reutilizados o reacondicionados para extender su vida útil. Las principales estrategias incluyen:

- Reparación de dispositivos dañados: Muchos equipos pueden ser restaurados con cambios de componentes específicos, lo que reduce la cantidad de RAEE generados.
- Reacondicionamiento de equipos electrónicos: Empresas especializadas pueden revisar, limpiar y actualizar dispositivos electrónicos usados para ser vendidos nuevamente.
- Donación de equipos en buen estado: Algunos equipos pueden ser reutilizados en instituciones educativas o sociales, reduciendo la brecha digital y promoviendo la reutilización.

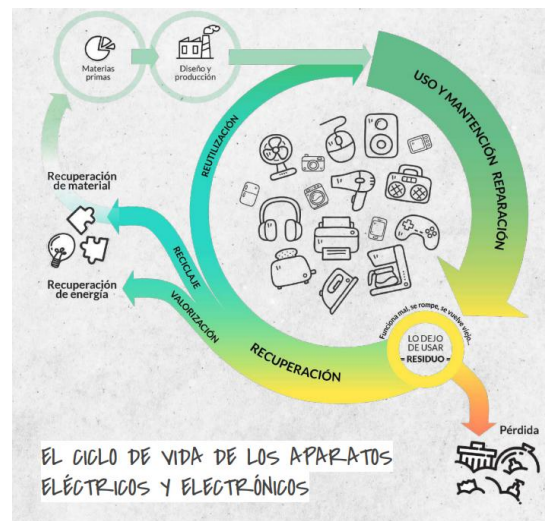


Figura 1.5 Ciclo de vida de los RAEE

Fuente: Ministerio de Educación de Chile, 2021

La correcta gestión de los RAEE no solo permite reducir la necesidad de extraer recursos naturales, sino que también ofrece oportunidades económicas para la industria del reciclaje y la manufactura sostenible.

1.4.4 Desafíos en la Gestión de RAEE en Comunas Pequeñas y Medianas

La gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en comunas pequeñas y medianas enfrenta varios desafíos. Según Flores Ferrada (2022), la implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP) presenta obstáculos significativos, como la falta de infraestructura adecuada y la necesidad de una mayor concienciación pública. A diferencia de las grandes ciudades, donde hay normativas más estrictas y sistemas de reciclaje desarrollados, en las pequeñas y medianas empresas comunas los RAEE suelen terminar en la basura común o en vertederos ilegales, generando contaminación y riesgos para la salud. Uno de los principales problemas es la falta

de puntos de recolección y programas municipales adecuados, lo que impide un manejo responsable de estos residuos. Además, los municipios suelen carecer de financiamiento y apoyo institucional para implementar sistemas de reciclaje, ya que el transporte de RAEE hacia centros especializados resulta costoso y poco viable. (Fundación Chile, 2025)

La falta de educación ambiental agrava la situación, ya que muchas personas desconocen el impacto de estos residuos y las opciones de reciclaje. Además, el sector informal desempeña un papel crucial en el manejo de estos residuos; sin embargo, su integración en sistemas formales de gestión aún es limitada (Fundación Chilenter, 2013). Por esto el Ministerio del Medio Ambiente, a través de la Ley REP, establece responsabilidades claras para los productores en la gestión de estos residuos, fomentando una economía circular (Ministerio del Medio Ambiente, 2025). Asimismo, el Ministerio de Educación ha desarrollado manuales educativos para concienciar a las nuevas generaciones sobre la valorización de los RAEE y su impacto ambiental (Ministerio de Educación de Chile, 2021).

2. PROBLEMA

Chile ha experimentado en las últimas década un aumento en el comercio electrónico, lo que conlleva a un crecimiento en la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Graneros, Mostazal y Codegua, al ser en comunas pequeñas poseen un reto ambiental importante en relación a estos residuos, ya que, por ejemplo, en los últimos años solo se ha realizado una campaña de recolección de RAEE la cual solo estuvo enfocada en colegios de la comuna de Graneros, logrando juntar casi una tonelada de estos residuos, dejando fuera gran parte de la comunidad. Lo que evidencia una falencia a la hora de gestionarlos y una falta de educación ambiental en las zonas del estudio, lo que ocasiona que estos residuos terminen en vertederos comunes aumentando el riesgo de contaminación ambiental y afectando la salud de la población.

Si bien los RAEE contienen materiales valiosos que pueden ser reciclados, también poseen sustancias peligrosas que, si no se manejan adecuadamente, pueden provocar daños en la salud de las personas, contaminar el suelo, el agua y el aire. En Chile, la Ley N° 20.920 establece la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) como un marco regulador para la gestión de estos residuos; sin embargo, su implementación a nivel comunal sigue siendo insuficiente debido a la falta de infraestructura, incentivos y conciencia pública sobre su correcta disposición y valorización. Para mejorar esta situación, es fundamental invertir en infraestructura, fortalecer la educación ambiental, crear incentivos económicos para el reciclaje y fomentar la colaboración entre municipios, empresas y ciudadanos. Solo con un enfoque integral se podrá lograr una gestión eficiente y sostenible de los RAEE en comunas pequeñas y medianas.

Por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar una propuesta de la gestión de estos residuos en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua que permita mejorar la recolección, valorización y reciclaje de estos residuos, minimizando su impacto ambiental y promoviendo prácticas sostenibles entre la comunidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la factibilidad técnica y económica de un sistema de gestión para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) para las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Categorizar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) domiciliarios por familia estándar en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua.
- 2) Estimar el flujo másico de los componentes de RAEE para reciclar.
- 3) Proponer un sistema de gestión de RAEE en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua.
- 4) Evaluar económicamente la factibilidad del sistema de gestión propuesto.

4. METODOLOGÍA

4.1 CATEGORIZAR LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

4.1.1 Análisis del área de estudio

Para garantizar un enfoque adecuado de la investigación, se realizó una identificación exhaustiva del área de estudio. Este proceso implicó la consideración de varios antecedentes clave, incluyendo la geografía, la demografía y la zonificación de la región. Este enfoque multidimensional buscó comprender de manera integral el contexto actual de las comunas de Graneros, Mostazal, Codegua y de los habitantes de estas. El propósito de este estudio fue identificar y analizar los factores que influían en la gestión de residuos de estas comunas, para lo cual se implementó:

- Tasa de crecimiento demográfico: Es el cociente entre el incremento medio anual durante un año para efectos del presente trabajo y la población media del mismo período de tiempo determinado. Como consecuencia de la variación de nacimientos, defunciones y movimientos migratorios (CEPAL, 2012).
- Muestra puntual específica: Corresponde a la caracterización y cuantificación de una vivienda estándar con sus aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) de uso doméstico, identificando y estimando las antigüedades que se proyectan como residuos en un periodo de tiempo de 16 años, ya que hay una meta del MMA donde se espera que el 75% de los residuos sean valorizados.

La recopilación de estos antecedentes se llevó a cabo mediante una revisión detallada de documentos oficiales provenientes de diversos organismos pertinentes. Esto incluyó la revisión de informes y estadísticas del Estado, el Ministerio de Medio Ambiente, el Municipio y el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

4.1.1.1 Tasa de crecimiento

Para calcular la Tasa de crecimiento (TC) se implementó la Ecuación 1 junto con los datos de los censos de los últimos años.

$$TC = 100 * \sqrt[n]{\left(\frac{PV}{PA} - 1\right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

TC = Tasa de crecimiento historiada de la población %

n = Número de años entre los últimos censos

PV = Población censo vigente

PA = Población censo anterior

4.1.1.2 Proyección

Se utilizó la Ecuación 2 de población total para proyectar las poblaciones

$$P_t = P_0(1 + TC)^t \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

P_t = Población en el año a estimar

P_0 = Población año base

TC = Tasa de crecimiento anual

t = Número de años entre el año base y el año t

4.1.2 Tamaño de la muestra

Para determinar tamaño de la muestra se utilizó la Ecuación 3 planteado en Metodología de la Investigación social Cuantitativa (López-Roldán & Fachelli, 2015)

$$n = \frac{N * Z^2 * p(1-p)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * P(1-P)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra, número de las viviendas encuestadas.

N : Tamaño real de número de viviendas en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, de acuerdo con el censo 2017 INE.

e : Margen de error.

p : Proporción esperada.

Z : nivel de confianza deseado

4.1.3 Encuesta y definiciones de RAEE

Para describir de mejor forma el estudio de RAEE en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, se diseñó una encuesta en Google Forms que permitió recopilar información sobre los sectores urbanos, el número de integrantes de una familia, como está compuesta una vivienda promedio y si estarían dispuestos a pagar por un servicio de reciclaje.

4.1.4 Categorización de los equipos

A partir de los datos recopilados de la encuesta se elaboró una tabla con los equipos mínimos necesarios (estándar) que se requieren en las viviendas (familia estándar). Se determinó el tipo de AEE de una vivienda estándar de acuerdo con la distribución domiciliaria de aparatos eléctricos y electrónicos, donde se seleccionaron aquellos artículos que lograsen una representatividad igual o mayor al 80% en las viviendas.

En cuanto a los residuos generados por unidad familiar se categorizaron mediante lo establecido por el MMA en el marco de la declaración requerida de acuerdo al Art. transitorio 2° de la ley de Fomento al Reciclaje.

- Aparatos de intercambio de temperatura
- Monitores y aparatos con pantallas (de superficie mayor a 100 cm²)
- Paneles fotovoltaicos grandes
- Lámparas
- Grandes aparatos con una dimensión exterior superior a los 50 cm
- Pequeños aparatos sin ninguna dimensión superior a los 50 cm.

Estos tipos de residuos se identificaron y categorizaron mediante la Tabla 4.1 que muestra un ejemplo de la unidad habitacional.

Para determinar la cantidad de unidades de AEE por vivienda estándar, se asumió inicialmente que cada hogar poseía al menos un aparato por cada tipo, pero a partir de las respuestas se usó un criterio de representatividad: si una cantidad específica de AEE fue reportada por al menos el 60% de los encuestado, se consideró dicho valor estándar.

Tabla 4.1 Ejemplo para la categorización de equipos.

Unidad Habitacional	Equipos	Cantidad	Categorías

4.2 ESTIMAR EL FLUJO MÁSCO DE LOS COMPONENTES DE RAEE PARA RECICLAR

4.2.1 Reemplazo de los aparatos

Luego de haber identificado los equipos eléctricos y electrónicos mínimos requeridos por una vivienda familiar estándar, se definieron los niveles de reemplazo de los aparatos con mayor representatividad en la muestra, según las respuestas como se muestra en la Tabla 4.2, considerando entonces este valor teórico de los equipos de reemplazo como valor equivalente al recambio indicado por las personas de los Aparato Eléctrico y Electrónico (AEE)

Tabla 4.2 Tabla de referencia por los niveles de reemplazo

Unidad Habitacional	Equipo	Recambio

4.2.2 Proyección y cuantificación de RAEE

Para conocer la cantidad anual de RAEE valorizable, se consideró tanto el nivel de reemplazo de cada aparato como el crecimiento proyectado del número de familias, además de la tasa de valorización de los residuos a lo largo del tiempo. La cantidad inicial de unidades que se reemplazan cada año se calculó dividiendo el total de familias por la vida útil correspondiente al equipo. Pero para reflejar la realidad,

se incorporó el crecimiento poblacional, donde las nuevas familias no generan residuos de inmediato, sino que lo hacen luego del tiempo estimado de recambio. De este modo, se determinó el flujo anual de RAEE generado en las comunas de estudio, como se muestra en la Tabla 4.3.

Una vez determinado cuántos aparatos se recambian por año, se aplicó la tasa de valorización correspondiente a ese año, al principio de sólo el 4% que es la tasa actual de valorización de RAEE. Sin embargo, considerando lo establecido en la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP), se proyectó una tasa de valorización del 40% para el año 2030. Además, según la Estrategia Nacional de Residuos, se espera alcanzar una valorización del 75% hacia el año 2040. Utilizando estas estimaciones para la proyección de los volúmenes de RAEE.

Tabla 4.3 Tabla de referencia por aparato

AÑO	N° familias	Tasa de valorización	Secador de Pelo	Lavadoras	Televisores	Celulares
2026						

4.2.3 Componentes de RAEE

Posteriormente se elaboraron tablas con los pesos equivalentes de cada elemento que es posible reciclar para cada tipo de RAEE, como se muestra en la Tabla 4.4, indicando la composición de plástico, placas, metales ferrosos y metales no ferrosos. Para ello, se utilizaron datos de referencia obtenidos del informe “Economía circular y valorización de metales: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos” publicado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2021), los cuales se detallan en el Anexo 1.

Tabla 4.4 Tabla de referencia para material valorizable disponible

Componente (ton)	2025	2026	2027	2028	2029	2030	...	2040
Metales ferroso								
Metales no ferrosos								
Cobre								
Plata								
Oro								
Vidrio								
Plásticos								
Otros								

4.3 PROPONER UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RAEE PARA RAEE EN LAS COMUNAS DE GRANEROS, MOSTAZAL Y CODEGUA

4.3.1 Evaluación de opciones para el reciclaje de RAEE

Se llevó a cabo una revisión de la literatura disponible sobre la valorización de residuos eléctricos y electrónicos. Para ello, se analizaron diversas fuentes, incluyendo manuales técnicos, tesis académicas,

artículos científicos publicados e informes especializados que abordan esta temática, con énfasis en aquellas que puedan ser replicables en el contexto local. Además, se procedió a la identificación de las condiciones y requerimientos operacionales para el correcto funcionamiento de la Propuesta de un Sistema de Gestión de RAEE, identificando los distintos tipos de tecnologías y sistemas utilizados para el tratamiento.

Cabe señalar que se consideró que las placas electrónicas son de especial interés debido al contenido de metales preciosos como oro, plata y cobre. Aunque estos se encuentran en pequeñas cantidades, su recuperación resulta altamente rentable, por lo que se priorizaron tecnologías capaces de procesar al menos uno de estos componentes.

4.3.2 Análisis y evaluación de tecnologías

Los criterios utilizados para la evaluación se basaron en el estudio del Ministerio del Medio Ambiente (2015) sobre valorización de residuos electrónicos, siendo los siguientes:

- **Capacidad instalada:** capacidad de la tecnología para manejar los volúmenes estimados de residuos.
- **Complejidad tecnológica:** grado de especialización requerido para operar la alternativa.
- **Requerimientos técnicos:** necesidades de energía, maquinaria e infraestructura
- **Generación de residuos peligrosos:** liberación de sustancias tóxicas o contaminantes.
- **Costos de inversión y operación:** estimación global de costos iniciales y de funcionamiento.
- **Viabilidad de implementación local:** posibilidad real de aplicar la alternativa en las condiciones actuales de las comunas.
- **Potencial de valorización de materiales:** capacidad del sistema para recuperar recursos con valor económico.

Se evaluaron los criterios para cada alternativa cualitativamente del 1 al 5, siendo 1 muy bajo/ muy desfavorable y 5 muy alto/muy favorable, como se ve en la Tabla 4.5, para después sumar los resultados y se seleccionó la alternativa con el mayor valor.

Tabla 4.5. Matriz para valorización de las diversas alternativas

Alternativa	Capacidad	Requerimiento	R. Peligroso	Precio	Viabilidad	Aprovechamiento

4.3.3 Análisis de Recolección

Para definir las características del sistema de recolección de RAEE en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, se utilizaron diversas fuentes de información. En primer lugar, se consideraron los resultados del cuestionario aplicado a los habitantes de cada comuna, donde se consultó sobre las preferencias de la comunidad en relación a sistemas de recolección domiciliaria, puntos fijos de entrega o campañas periódicas.

Asimismo, se recopiló información provista por las municipalidades, incluyendo la disponibilidad de recursos operativos, infraestructura actual para la gestión de residuos, y experiencias previas en

programas similares. Además, se identificaron comunas con características similares a las del trabajo para revisar sobre como gestionaban sus RAEE.

Con el fin de evaluar la factibilidad de implementar nuevos puntos de recolección, se tomarán en cuenta los siguientes criterios territoriales y logísticos:

- **Accesibilidad:** el lugar debe ser de fácil acceso y con un alto flujo de personas para que los ciudadanos puedan entregar sus residuos sin inconvenientes.
- **Espacio:** el punto de recolección debe considerar la facilidad con la que los camiones encargados del transporte de RAEE pueden ingresar y los vehículos personales puedan estacionarse para dejar sus residuos.
- **Zonas residenciales:** se consideró la proximidad a dichas zonas, teniendo en cuenta la densidad de viviendas y si existen organizaciones que puedan generar grandes cantidades de RAEE, de manera que puedan entregar sus residuos sin inconvenientes.

4.3.4 Análisis de lugar de recepción y almacenamiento

Para complementar el diseño del sistema de gestión de RAEE, se realizó un análisis territorial orientado a definir posibles puntos de almacenamiento temporal en cada una de las comunas estudiadas. Para ello, se elaboró un mapa, el cual refleja la distribución espacial del potencial sitio de acopio.

La selección de este sitio se basó en criterios, siendo el más importante, la disponibilidad del lugar, luego la cercanía a los puntos de recolección propuestos, condiciones de seguridad, factibilidad técnica y la posibilidad de establecer convenios con entidades públicas o privadas para su habilitación.

4.3.5 Propuesta sistema de gestión de RAEE

La propuesta comienza con la instalación de puntos de recolección para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, considerando las actividades necesarias para su ejecución, la participación de actores relevantes en la sociedad, el fortalecimiento de la educación ambiental en la comunidad respecto a la gestión de residuos, para pasar al lugar recepción y como serán tratados. Para representar de manera clara y estructurada la estrategia seleccionada, se elaboró un diagrama de flujo que ilustra los pasos y procesos clave del proyecto. Después se estableció la forma en la que operaría el sistema de gestión, según lo definido en los puntos anteriores.

Además, se identificaron los recursos esenciales para su correcto funcionamiento, tales como:

- Recursos humanos.
- Maquinaria o equipos.
- Otros.

4.4 EVALUAR LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO

4.4.1 Cuantificación de ingresos

Para poder visualizar los ingresos del proyecto, se llevó a cabo una revisión del mercado con el cual se planea participar, identificando de esta forma cuales son las alternativas disponibles y cuáles son los precios que se manejan en el mercado relacionado a los RAEE. Con los precios establecidos se realizaron los cálculos para ver los posibles escenarios al mayor y menor precio de venta.

La fórmula que se empleó para el cálculo es la Ecuación 4

$$IR = P_x * C_y \text{ Ecuación 4}$$

Donde:

IR: ingreso por venta de los residuos

Px: precio de venta del mercado x

Cy: cantidad generada del residuo y

4.4.2 Cuantificación de egresos

Se identificaron los egresos asociados a los costos y a los gastos, tomando en consideración los siguientes puntos:

- Costos de Inversión
- Costos Operacionales
 - Costos fijos
 - Costos variables

4.4.3 Criterios de selección y análisis de sensibilidad

Se realizó un flujo de caja en el que se consideran los ingresos y los egresos identificados en las etapas anteriores para ordenar la información recabada. Se tomó una base de 16 periodos, considerando el año 0, generando un flujo de caja similar al que se presenta en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Ejemplo flujo de caja

ITEM	Periodos (años)					
	0	1	2	3	...	16
Inversión						
Ingresos						
Egresos						
Total Neto						

Se utilizó como criterio de evaluación el Valor Actual Neto (VAN) para evaluar la viabilidad del proyecto, este es un indicador que si es positivo significa que la inversión generará beneficios por encima de la rentabilidad exigida, por lo que el proyecto debería ser aceptado. Por el contrario, un VAN negativo implica que la inversión resultará en pérdidas, por lo que no se debería ejecutar el proyecto. Dado que el sistema propuesto es sin fines de lucro, se utilizó la tasa de descuento social del 5,5% .

5. RESULTADOS

5.1 CATEGORIZAR LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)

5.1.1 Análisis del área de estudio

Las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua se encuentran en la Provincia de Cachapoal, formando parte del cono norte de la Región de O'Higgins. En la Figura 5.1 se muestra un mapa de la Provincia del Cachapoal.

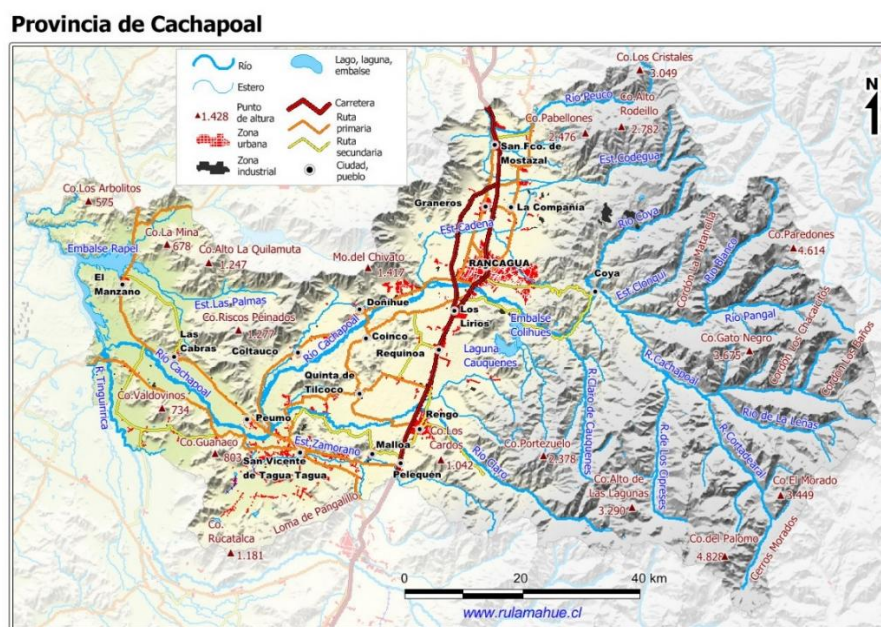


Figura 5.1 Mapa Provincia del Cachapoal

Fuente: Rulamahue (www.rulamahue.cl/fichas/cl06/cl061.html)

Mostazal es la comuna más septentrional de la región, limitando al norte con Paine (Región Metropolitana). Se caracteriza por su actividad agroindustrial y un creciente desarrollo en el sector servicios, impulsado en por la presencia del Casino Monticello. En su territorio existen mayores áreas urbanas que rurales, con un equilibrio entre producción agrícola y expansión habitacional (Municipalidad de Mostazal, 2023). En relación a la geomorfología de la comuna, se presentan 3 unidades de relieve, la Precordillera Andina, la cual es una franja transicional entre la cuenca de Rancagua y las cumbres de la cordillera de Los Andes. La Depresión intermedia, donde, en Mostazal posee rasgos de una fosa tectónica instalada entre dos grandes muros montañosos, la cordillera de la Costa al oeste y noroeste y la precordillera Andina al norte, noreste y este. La Cordillera de la Costa donde los cordones montañosos se orientan hacia el este, alcanzando su estampa máxima en la Angostura de Paine (SITRURAL, 2021).

Graneros, ubicada al sur de Mostazal, destaca por su actividad industrial, favorecida por la cercanía con empresas como Colbún, Molymet y Codelco, además de otras industrias químicas. Sin embargo, también mantiene una importante base agrícola. Su núcleo urbano se concentra en el centro de la comuna, mientras que las áreas rurales se extienden hacia la periferia (Municipalidad de Graneros, 2014). En relación a la geomorfología, la Depresión intermedia se desarrolla en forma de cuenca abierta, limitada al poniente por los cordones montañosos de la cordillera de la costa, donde la comuna se encuentra insertada (SITRURAL, 2021).

Codegua, situada entre Mostazal y Graneros, tiene un marcado carácter rural, con un desarrollo urbano más limitado en comparación con las otras comunas. Su economía se basa principalmente en la producción agrícola, con cultivos de frutas y hortalizas como principales actividades productivas (Municipalidad de Codegua, 2021). La comuna de Codegua está presente en 2 unidades geomorfológicas, la primera corresponde a la Cuenca de Rancagua y la segunda a la Cordillera de los Andes, esta última ocupando la mayor parte del territorio comunal (SITRURAL, 2021).

Las tres comunas están fuertemente conectadas por la Ruta 5 Sur, la principal carretera del país. Además, cuentan con una red de rutas secundarias que facilitan el transporte de productos agrícolas e industriales tanto entre las comunas como hacia mercados más amplios. En el Anexo 2 se muestran los mapas de las comunas.

Según los datos recolectados en el Censo del 2017 del instituto Nacional de Estadística las tres comunas poseen con una población total de 71.768 habitantes, proyectando un aumento para el año 2024 de 5.519 personas como se puede ver en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Población Censada y estimada (Censo de Población y Vivienda 2017 y 2024, INE).

Unidad Territorial	Censo 2017	Censo 2024
Comuna de Graneros	33.437	35.938
Comuna de Mostazal	25.343	27.394
Comuna de Codegua	12.988	13.955
Total	71.768	77.287

Del total de población mencionada alrededor del 49% corresponden a hombres, mientras que el 51% corresponden a mujeres. Al comparar los datos con la proyección estimada para el año 2024, se ve un mayor aumento en la población masculina respecto a la femenina como se aprecia en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Población por sexo (Censo de Población y Vivienda 2017 y 2024, INE).

Unidad Territorial	Censo 2017		Censo 2024	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Comuna de Graneros	16.634	16.803	17.613	18.325
Comuna de Mostazal	12.663	12.680	13.521	13.873
Comuna de Codegua	6.510	6.478	6.885	7.070
Total	35.807	35.961	38.019	39.268

En relación con los niveles de pobreza, según los datos de CASEN 2022 como se presenta en la Tabla 5.3, existió una disminución de la pobreza tanto a nivel regional como en las 3 comunas, y además la comuna de graneros presenta un índice de pobreza mayor al compararlo con sus comunas vecinas y la región en general.

Tabla 5.3 Tasa de Pobreza por ingreso (Encuesta CASEN 2017 y 2024, MDS)

Unidad Territorial	Casen 2017	Casen 2024
Comuna de Mostazal	10,0	7,3
Comuna de Graneros	7,0	5,3
Comuna de Codegua	8,9	5,5
Región de O'Higgins	9,9	7,0

Los valores de población y crecimiento demográfico se obtuvieron en base al censo 2024 mediante la Tabla 5.4. Dichos valores que muestra la población total de las comunas estudiadas son base para las proyecciones de crecimiento del universo de viviendas y por consecuencia incremento de los RAEE desde el año inicial respecto a 2024 hasta el año 2040.

Tabla 5.4 Proyección demográfica

Población	Proyección n° de habitantes	Tasa Crecimiento demográfico
Población 2024	77.287	-
Población 2025	78106	1,06%
Población 2026	78.934	1,06%
Población 2027	79.771	1,06%
Población 2028	80.616	1,06%
Población 2029	81.471	1,06%
Población 2030	82.335	1,06%
Población 2031	83.207	1,06%
Población 2032	84.089	1,06%
Población 2033	84.981	1,06%
Población 2034	85.881	1,06%
Población 2035	86.792	1,06%
Población 2036	87.712	1,06%
Población 2037	88.642	1,06%
Población 2038	89.581	1,06%
Población 2039	90.531	1,06%
Población 2040	91.490	1,06%

5.1.2 Encuesta y definiciones de RAEE

5.1.2.1 Tamaño de la muestra

En relación al número de viviendas, ANEXO 4, entregado por el INE, para este caso se consideró: Z=90% (90%=1,645); 5% de error y una proporción esperada de 0,5. Reemplazando los valores respectivos se obtiene

$$n = \frac{24893 * 1,645^{1,645} * 0,5(1 - 0,5)}{(24893 - 1) * 0,05^{1,645} + 1,645^{1,645} * 0,5(1 - 0,5)} = 78,08$$

Lo que nos da un valor aproximado de 78, indicando que el tamaño de la muestra esperado debe ser de 78 viviendas encuestadas.

5.1.2.2 Diseño encuesta de RAEE

En el cuestionario se incluyeron preguntas específicas que permitieran determinar la composición de una familia estándar y categorizar los residuos RAEE como se ve en la Figura 5.2, el resto de preguntas se ve en el Anexo 3. Para la elaboración del cuestionario, se tomaron como referencia las preguntas del estudio de Jiménez Muñoz (2020), donde dentro de algunas de las preguntas, se consultó cuántas personas habitan en cada domicilio, lo que permitió establecer un modelo de familia estándar en las comunas analizadas y extrapolar los resultados desde la muestra seleccionada, asumiendo que todas las viviendas representan este estándar, con el propósito de estimar los AEE y RAEE de las comunas a partir de dichas unidades de familia.

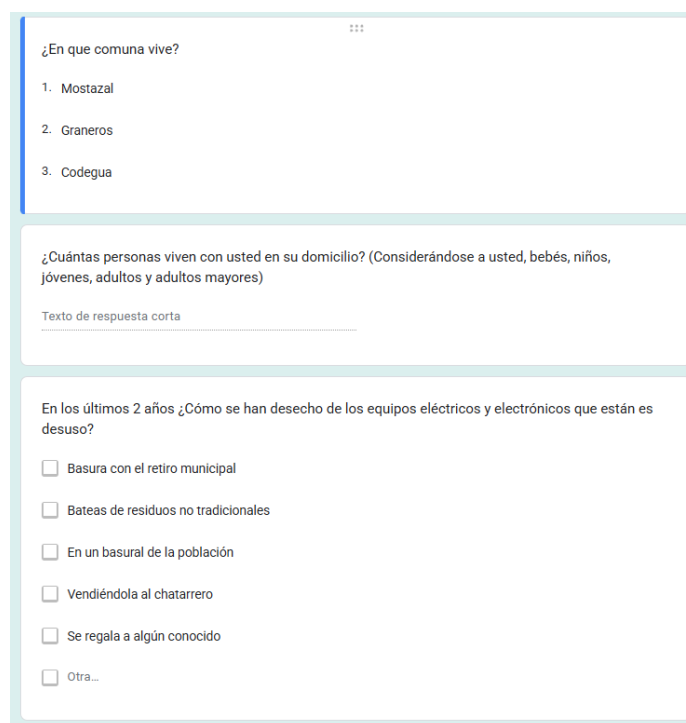


Figura. 5.2 Encuesta categorización RAEE

5.1.2.3 Resultados de la encuesta

El total de respuestas de la encuesta, ANEXO 4, ascendió a ciento cinco (105). De esto se obtienen las respuestas para describir la composición de una familia estándar en una vivienda y la distribución domiciliaria de sus AEE.

Primero se identificó que la mayoría de los encuestados provienen de la comuna de Graneros como se ve en la Figura 5.3.

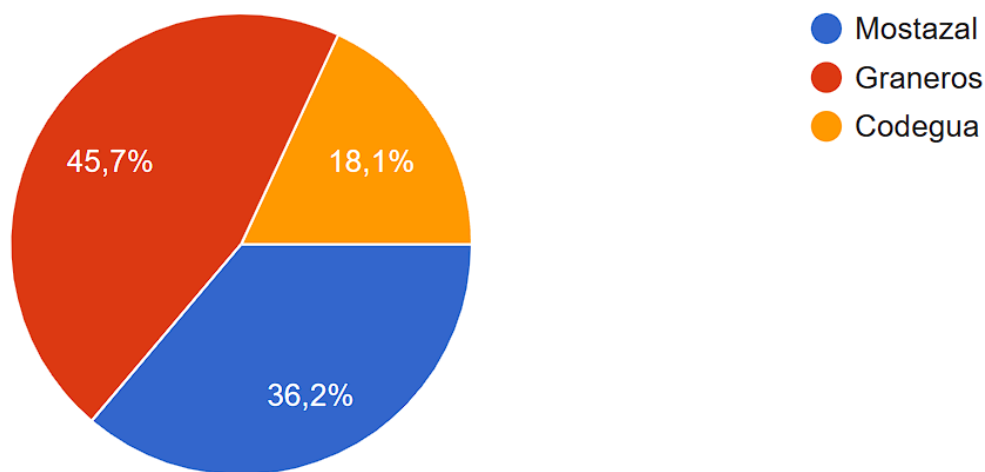


Figura 5.3 Resultado sobre la comuna a la que pertenece

Al momento de aplicar la encuesta, el número de respuestas obtenidas por comuna se distribuyó de manera proporcional a la población total de cada sector. Esto quiere decir que existe una correlación equilibrada entre la cantidad de encuestas y la población de Graneros, Mostazal y Codegua, respaldando la representatividad de los datos obtenidos.

De acuerdo con la encuesta realizada por cuantos habitantes componen sus domicilios se obtuvo la Tabla 5.5, se puede ver la cantidad total de respuestas, en que de acuerdo con la mediana estadística corresponde a cuatro personas por hogar, con un valor de 46,9 % de este modo para efecto del presente trabajo al año 2025 se considerará una vivienda estándar de cuatro habitantes.

Se puede ver en la Tabla 5.6 la distribución domiciliaria de los aparatos eléctricos y electrónicos en una vivienda estándar que satisfacen las necesidades básicas y que poseen una representatividad sobre el 80% del total de la muestra en las comunas. Los resultados de los demás aparatos se encuentran en el Anexo 4. Se considera que, en relación a los equipos de telecomunicaciones, en los hogares se encuentran al menos dos laptop o computadores, tres televisores, dos ventiladores y un celular por persona.

Tabla 5.5 Habitantes que componen un domicilio en las comunas de Graneros.

N° Habitantes	Cantidad de muestreados	%	% Acumulado
1	1	1,0	1,0
2	5	4,8	5,7
3	25	23,8	29,5
4	46	43,8	73,3
5	14	13,3	86,7
6	7	6,7	93,3
7	4	3,8	97,1
8	2	1,9	99,0
9	0	0,0	99,0
10	1	1,0	100,0

Se puede ver en la Tabla 5.6 la distribución domiciliaria de los aparatos eléctricos y electrónicos en una vivienda estándar que satisfacen las necesidades básicas y que poseen una representatividad sobre el 80% del total de la muestra en las comunas. Los resultados de los demás aparatos se encuentran en el Anexo 4. Se considera que, en relación a los equipos de telecomunicaciones, en los hogares se encuentran al menos dos laptop o computadores, tres televisores, dos ventiladores y un celular por persona.

Tabla 5.6 Distribución de los AEE en los hogares

Equipos	Recambio	Representatividad
Baño		
Secador de pelo	5-6 años	93,7%
Lavadora	9 o más años	91,6%
Plancha de pelo	5-6 años	81,7%
Cocina		
Horno eléctrico	7-8 años	90,5%
Microondas	7-8 años	91,6%
Licuada	5-6 años	80,0%
Hervidor	3-4 años	94,7%
Refrigerador	9 o más años	94,7%
Living		
Televisor	9 o más años	100%
Equipo de música	5-6 años	80,0%
Ventilador	5-6 años	90,5%
Aspiradora	5-6 años	85,3%
Habitación		
Laptop	5-6 años	88,4%
Celular	3-4 años	100%
Cargadores	1-2 años	89,5%

Los AEE que se descartaron por no cumplir con el 80% o más de representatividad fueron los siguientes:

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| - Máquina de afeitar | - Congeladora | - Monitor |
| - Máquina de cortar pelo | - Batidora | - Teclado |
| - Depiladora | - Mini pimer | - Mouse |
| - Calefactor | - Sandwichera | - Impresora |
| - Secadora | - Teléfono fijo | - Tablet |
| - Freidora de aire | - Decodificador de TV | - Router de WIFI |
| - Tostadora | - Consola de videojuegos | - Lámparas de escritorio |
| - Cafeteras | - PC | |

5.1.3 Categorización de los equipos

Con los datos recopilados se generó la Tabla 5.7 con los equipos mínimos necesarios (estándar) en las viviendas estimadas (familia estándar), identificando los equipos mínimos de una vivienda y su respectiva categorización según la Ley REP, donde estos residuos son los más representativos y generan algún grado de desecho inmediato que se les debe buscar un tratamiento adecuado y simplificado para un sistema de gestión para el reciclaje dentro de las comunas.

Tabla 5.7 Categorización de los equipos mínimos necesarios de una vivienda en la comuna Graneros.

Unidad Habitacional	Equipos	Cantidad	Categorización
Baño	Secador de pelo	1	Pequeños aparatos
	Lavadora	1	Grandes aparatos
	Plancha de pelo	1	Pequeños aparatos
Cocina	Horno eléctrico	1	Grandes aparatos
	Microondas	1	Grandes aparatos
	Licuada	1	Pequeños aparatos
	Hervidor	1	Pequeños aparatos
	Refrigerador	1	Aparatos de intercambio de temperatura
Living	Televisor	3	Monitores y aparatos con pantallas
	Equipo de música	1	Pequeños aparatos
	Ventilador	2	Grandes aparatos
	Aspiradora	1	Grandes aparatos
Indefinido	Laptop	2	Monitores y aparatos con pantallas
	Celular	4	Pequeños aparatos
	Cargadores	6	Pequeños aparatos

5.2 ESTIMAR EL FLUJO MÁSCO DE LOS COMPONENTES DE RAEE PARA RECICLAR

5.2.1 Reemplazo de los aparatos

A partir de los datos recopilados se generó la Tabla 5.8 identificando la antigüedad y los niveles de reemplazo a partir del recambio de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) según el valor teórico proporcionado por los resultados obtenidos mediante la encuesta.

Tabla 5.8 Recambio de los AEE

Unidad Habitacional	Equipos	Recambio
Baño	Secador de pelo	5 años
	Lavadora	9 años
	Plancha de pelo	5 años
Cocina	Horno eléctrico	7 años
	Microondas	7 años
	Licuada	5 años
	Hervidor	3 años
	Refrigerador	9 años
Living	Televisor	9 años
	Equipo de música	5 años
	Ventilador	5 años
	Aspiradora	5 años
Telecomunicaciones	Laptop	5 años
	Celular	3 años
	Cargadores	1 año

5.2.2 Proyección y cuantificación flujo másico de RAEE

De acuerdo con las metas establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) en 2024, Chile busca avanzar hacia un modelo de economía circular mediante el aumento progresivo de la tasa de reciclaje de residuos.

Dado que no se dispone de datos específicos sobre ventas ni sobre tasas de descarte de aparatos eléctricos y electrónicos, se asumió un flujo constante de generación de residuos. Para ello, se dividió el stock total de aparatos por su vida útil promedio, lo que permite estimar una generación anual de residuos bajo el enfoque de estado estacionario (Baldé et al., 2017).

Considerando estas metas y aplicándolas progresivamente a los datos proyectados sobre el número de familias en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua (Anexo 5), se estimó el volumen de residuos valorizables generados por diferentes aparatos eléctricos y electrónicos durante el período 2026–2040. La Tabla 5.9 muestra un extracto de esta proyección

Tabla 5.9 Proyección de las unidades valorizables de RAEE

AÑO	N° familias	Tasa de Valorización	Secador de pelo (unidad)	Lavadora (unidad)	Televisores (unidad)	Celulares (unidad)
2026	28.585	0,04	231	128	128	381
2027	28.888	0,13	759	422	422	1.239
2028	29.194	0,22	1298	721	721	2.118
2029	29.503	0,31	1849	1027	1027	3.017
2030	39.816	0,40	2424	1339	1339	3.934
2031	30.132	0,43	2659	1461	1461	4.292
...						
2040	33.483	0,75	5315	2565	2565	8.196

5.2.3 Componentes de RAEE

En base a los volúmenes de residuos proyectados en el apartado anterior, se estimó la composición presente en los aparatos eléctricos y electrónicos en desuso generados en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua.

Es importante señalar que existe contenido significativo de metales valiosos como oro, plata y cobre, que, si bien no son grandes cantidades, tienen un valor económico alto, por lo que se deben considerar el tratado de al menos uno de estos al momento de buscar alternativas para el reciclaje de RAEE. La Tabla 5.10 presenta un extracto de los resultados obtenidos para la composición másica obtenida, cuyo detalle completo se puede revisar en el Anexo 6.

Tabla 5.10 Composición másica de los RAEE

Componente (ton)	2025	2026	2027	2028	2029	2030	...	2040
Metales ferroso	0	78,79	130,31	182,64	300,76	370,67		758,61
Metales no ferrosos	0	2,79	4,61	6,46	11,02	13,58		27,86
Cobre	0	5,66	9,35	13,10	22,48	27,70		56,93
Plata	0	0,0006	0,0010	0,0014	0,0027	0,0033		0,0069
Oro	0	0,0002	0,0004	0,0005	0,0011	0,0014		0,0028
Vidrio	0	2,64	4,35	6,07	12,89	15,89		32,91
Plásticos	0	27,60	45,59	63,87	108,59	133,84		274,84
Otros	0	28,23	46,71	65,48	107,14	132,04		269,72

Finalmente, en las Figura 5.4 y 5.5 donde se puede visualizar un extracto de la proyección del crecimiento en la generación y la valorización de los residuos provenientes de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), en kilogramos y toneladas respectivamente, para cada uno de los componentes hasta el año 2040. En términos de volumen, destacan el acero de baja aleación, los plásticos generales y los otros/inertes, los cuales superan las 600.000 toneladas proyectadas para 2040, representando un desafío significativo para la gestión de residuos a gran escala. Por otro lado, se identifican materiales estratégicos y de alto valor económico como el oro (Au), la plata (Ag), el paladio (Pd) y el antimonio (Sb). Aunque se presentan en menores cantidades, poseen un alto valor

en el mercado y un potencial de recuperación importante en el contexto nacional. Asimismo, el estudio permite identificar componentes peligrosos o que requieren tratamiento especializado. El PCB (bifenilos policlorados), por ejemplo, proyecta una acumulación superior a los 15.000 kg, lo cual implica riesgos severos para la salud humana y el medio ambiente si no se gestiona adecuadamente.

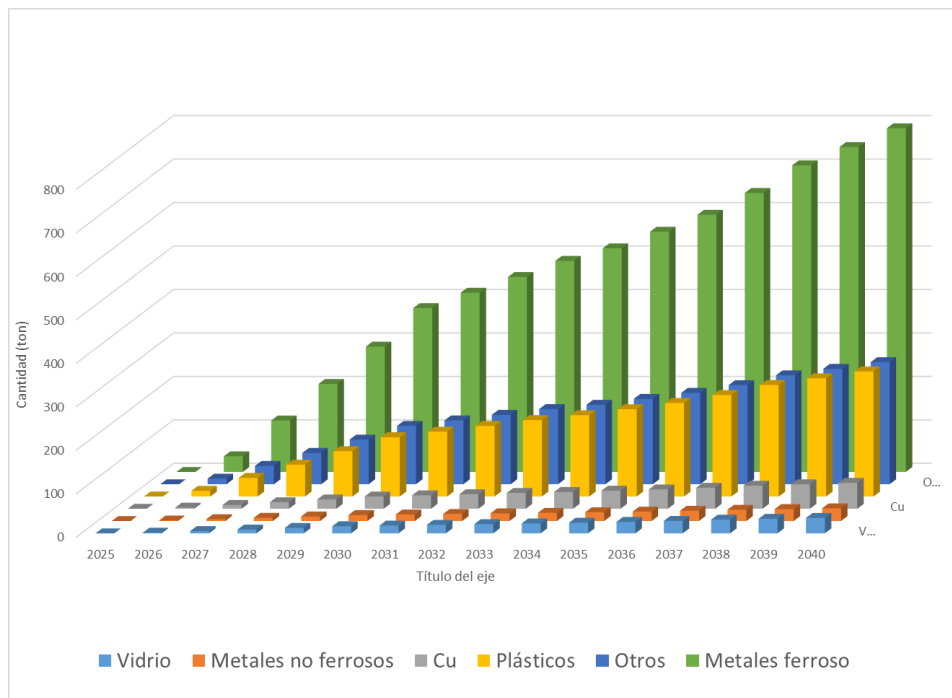


Figura 5.4 Proyección de componentes RAEE hasta el año 2040

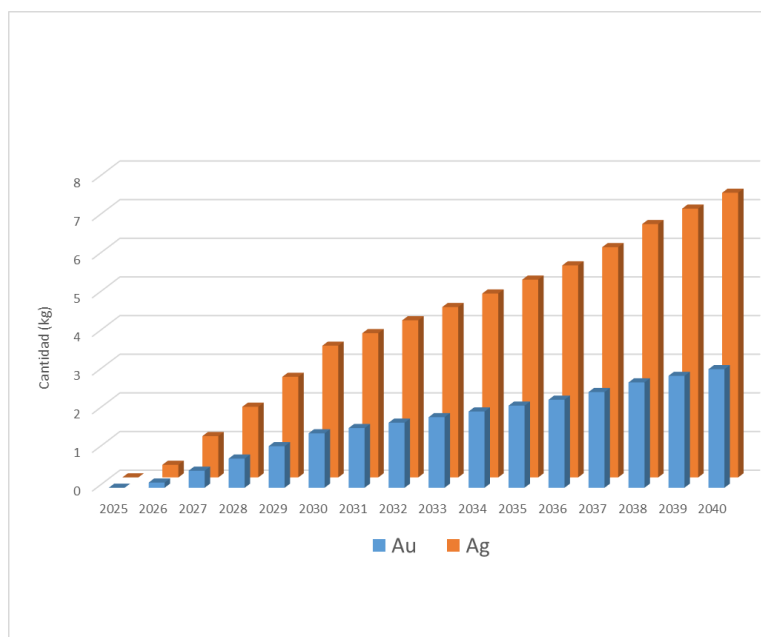


Figura 5.5 Proyección de componentes RAEE hasta el año 2040

5.3

5.4 PROPONER UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RAEE PARA RAEE EN LAS COMUNAS DE GRANEROS, MOSTAZAL Y CODEGUA.

5.4.1 Evaluación de opciones para el reciclaje de RAEE

En total, se identificaron 5 alternativas para la gestión de los RAEE, de las cuales 4 requieren un pretratamiento, tres corresponden a proceso para extracción y refinación de metales preciosos y dos se refieren estrategias de valorización externa, Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Alternativas de reciclaje y gestión de RAEE: Consideraciones y requerimientos

Alternativas	Consideraciones	Pretratamiento	Transporte	Extracción	Valorización externa
Pirometalúrgia	Proceso industrial a altas temperaturas, requiere equipamiento especializado	X	X	X	
Hidrometalúrgia	Uso de soluciones químicas para la extracción de metales, es más controlada.	X	X	X	
Biometalúrgia	Uso de microorganismos para recuperar metales, proceso más lento pero más sostenible	X	X	X	
Transporte de RAEE completos	Transporte de grandes volúmenes de RAEE, puede ser riesgoso		X		X
Transporte de RAEE con extracción de componentes	Reduce volumen y facilita tratamiento posterior; requiere separación previa en origen.	X	X	X	X

5.4.1.1 Pretratamiento

Primero se necesita un pretratamiento mecánico, el cual consiste en cuatro principales pasos: reacondicionamiento, desmantelamiento, reducción del tamaño y separación física, donde:

- El **reacondicionamiento** consiste en la restauración de aparatos eléctricos y electrónicos que posee un potencial de funcionamiento, permitiendo extender su vida útil, reducir la generación de residuos y reintroduciéndolos al mercado.
- En el **desmantelamiento**, el cual puede hacerse manual o automáticamente, es donde se separan selectivamente los componentes, especialmente placas base, baterías, cables, cartuchos de tinta y tóner. Se utilizan herramientas como martillos y destornilladores para lograrlo.
- El proceso de **triturado** se aplica una vez separados los componentes valiosos y peligrosos, y consiste en la reducción de tamaño mediante la trituración de los RAEE y el tamaño de las partículas resultantes depende de las tecnologías de reciclaje que se vayan a emplear después.
- La **Separación física** consiste en clasificar los componentes a través de diferentes mecanismos como los separadores magnéticos, los clasificadores ópticos, separador de corrientes de Foucault, etc.

5.4.1.2 Tratamiento para la recuperación de metales preciosos

Pirometalurgia

Antes de llevar los residuos electrónicos a procesos de alta temperatura como la pirometalurgia, es posible aplicar un tratamiento preliminar conocido como fusión alcalina. La cual consiste en someter los compuestos orgánicos de estos residuos, que pudieron quedar de los tratamientos anteriores, a temperaturas moderadas (inferiores a 400 °C) en presencia de agentes alcalinos como el hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH) (Sahajwalla y Gaikwad, 2018).

Durante la fusión alcalina, las cadenas de hidrocarburos se rompen, eliminando los materiales orgánicos en estado gaseoso, sin formar dioxinas ni furanos, permitiendo que los metales preciosos y otros metales presentes permanezcan en estado sólido, facilitando su posterior recuperación por técnicas de fundición o lixiviación (Sahajwalla y Gaikwad, 2018; Ilankoon et al., 2018).

La pirometalurgia consiste en el tratamiento térmico de residuos metálicos a temperaturas elevadas para fundir los materiales y separar metales valiosos de las escorias. Este método es altamente eficiente para la recuperación de cobre, plomo y metales preciosos, pero implica altos costos energéticos y controles ambientales rigurosos (Kaya, 2016).

En la etapa inicial, los componentes pretratados son introducidos en hornos de fundición a temperaturas superiores a 1200°C. Al fundirse, los metales ligeros e impurezas forman una capa superficial llamada escoria, mientras que los metales pesados como cobre, plomo y metales preciosos sedimentan en el fondo del horno formando lingotes de plomo, para residuos ricos en este, o una solución mate para residuos ricos en cobre. El mate de cobre se transfiere luego a un convertidor (como el Convertidor Pierce-Smith), donde mediante inyección de aire u oxígeno se eliminan los compuestos de hierro y azufre, produciendo cobre blister (de 98-99% de pureza) (Ding et al., 2019; Ministerio de Minería del Gobierno de Chile, 2016).

Los metales preciosos se acumulan como lodo anódico. Este lodo se recoge y se somete a tratamientos específicos para recuperar estos metales mediante lixiviación selectiva. La recuperación de los metales a través de la lixiviación se hace comúnmente por cementación (Elías et al., 2009).

Cabe señalar que el proceso pirometalúrgico genera residuos secundarios como gases contaminantes (principalmente dióxido de azufre, SO_2), escorias metálicas y polvos de fundición, los cuales deben ser adecuadamente capturados y tratados para mitigar impactos ambientales (Ding et al., 2019). Los equipos utilizados en pirometalurgia incluyen hornos de fundición (como hornos de reverbero o flash), convertidores (como el Pierce-Smith), hornos anódicos y sistemas de control de emisiones (Kaya, 2016).

De acuerdo a la información entregada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), el proyecto presentado por la empresa Metalúrgica y Mecánicas Midas Ltda. ubicada en la comuna de Quilicura, Región Metropolitana, donde se contempla la instalación de planta para tratar residuos metálicos usando procesos pirometalúrgicos busca recuperar metales de residuos sólidos industriales no peligrosos mediante fundición. La documentación técnica permite identificar los requerimientos operacionales, capacidades instaladas, generación de residuos peligroso, medidas de control ambiental, inversión inicial, entre otros un referente útil para evaluar viabilidad técnica y económica para implementar dicha tecnología de tratamiento, todo esto se ve de forma resumida en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Resumen del proceso de Pirometalurgia

Aspectos de la Pirometalurgia	Detalle
Capacidad instalada	Puede procesar grandes volúmenes
Complejidad tecnológica	Requiere operación especializada, manejo de hornos de alta temperatura ($>1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) y control de emisiones.
Requerimientos técnicos	Requiere personal especializado, controles automatizados e infraestructura industrial, como hornos de fundición, convertidores, filtros de gases, consumo energético elevado.
Generación de residuos peligrosos	Genera escorias, gases (SO_2) y polvos tóxicos. Requiere tratamiento ambiental riguroso.
Costos de inversión	La instalación de una planta de tratamiento enfocada en la metalurgia se necesita una inversión de US\$ 2.500.000
Viabilidad de implementación local	Difícil implementar en comunas sin infraestructura industrial
Potencial de valorización de materiales	Excelente recuperación de metales preciosos

Hidrometalurgia

La lixiviación hidrometalurgia es un tratamiento químico especializado utilizado para extraer metales valiosos contenidos principalmente en las placas electrónicas. Mediante la aplicación de

soluciones ácidas, se logra disolver los metales deseados, los cuales posteriormente son recuperados mediante procesos de precipitación o electrólisis (Ilankoon et al., 2018).

El método hidrometalúrgico, en comparación al anterior, tiene un costo menor, ya que trabaja en condiciones de baja temperatura, produciéndose en el proceso de pretratamiento el consumo principal de energía al triturar los componentes. Asimismo, los procesos hidrometalúrgicos son más simples y, si bien no emiten gases peligrosos, hay que controlar las condiciones del proceso. Además, las rutas hidrometalúrgicas producen una gran cantidad de ácido residual que debe ser depurado (Ilankoon et al., 2018).

El oro y la plata pueden ser lixiviados en una solución de cianuro donde el ion cianuro es el ingrediente activo que disuelve los metales preciosos, siendo el proceso más efectivo para la extracción de oro, pero es muy importante que se lleve a cabo manteniendo un pH alcalino en todo momento, ya que si fuera ácido se formaría cianuro de hidrógeno, un gas tóxico. Además, para lixiviar el oro, aunque también sirve para la plata y el paladio, se emplea una mezcla de los ácidos clorhídrico y nítrico caracterizada por su fuerte poder oxidante, ya que es una de las pocas mezclas capaces de disolver este elemento. Según Haccuria et al. (2017), la recuperación del cobre, a través de la hidrometalurgia, aunque es un desafío, requirió del desarrollo de un método con el que se puede extraer este metal de manera selectiva lixiviando a base de amoníaco.

Por último, los metales son recuperados de las soluciones mediante un proceso de electro refinación, reducción química o cristalización, utilizando celdas de electrólisis con un ánodo de metal impuro y un cátodo de acero inoxidable o cobre puro, donde el metal se deposita en el cátodo en forma de capas altamente puras (Cui y Forssberg, 2003).

En la hidrometalurgia se generan líquidos ácidos residuales utilizados en la lixiviación (como ácido sulfúrico, nítrico o cianuro) que pueden llegar a ser altamente corrosivos, lodos metálicos contaminados, resultantes de la precipitación o neutralización de lixiviantes, además de soluciones corrosivas por lo que requieren de un tratamiento especial al momento de su disposición. Los aparatos utilizados en hidrometalurgia incluyen reactores de lixiviación, sistemas de filtración y decantación, y celdas de electrólisis específicas para la recuperación de metales (Ilankoon et al., 2018).

Según la información proporcionada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Codelco Chile, División Salvador ha presentado un proyecto para la ampliación de la planta de hidrolixiviación destinada al tratamiento de minerales de cobre ubicada al norte de la Provincia de Atacama en la III Región, aproximadamente a unos 103 km al oriente de Chañaral. Inicialmente esta planta produciría 12.500 ton de cobre anualmente, y el proyecto permitiría aumentar la producción de concentrado de cobre a un promedio de 245.0000 ton/año y la producción de cátodos de cobre a un promedio de 25.0000 ton/año, que sería la etapa 2 de la planta. Teniendo una inversión inicial de US\$ 59,2 millones para después sumarle USD \$20 millones en la segunda etapa. La documentación técnica

permite identificar los mismos requerimientos del proceso pirometalúrgicos, como se ve en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Resumen del proceso de Hidrometalurgia

Aspectos de la Hidrometalurgia	Detalle
Capacidad instalada	Puede procesar grandes volúmenes, pero menor cantidad que la pirometalurgia
Complejidad tecnológica	Requiere infraestructura para riego ácido, estanques de almacenamiento, los procesos químicos, además de suministro estable de agua industrial y ácido sulfúrico.
Requerimientos técnicos	Requiere conocimientos técnicos y personal capacitado en procesos químicos pero su operación es más controlada y segura que la pirometalurgia, al no trabajar con temperaturas extremas.
Generación de residuos peligrosos	Genera residuos líquidos (soluciones ácidas agotadas), lodos metálicos y residuos sólidos inertes, además de gases tóxicos
Costos de inversión	Se requiere una inversión de US\$ 59,2 millones para la instalación y puesta en marcha
Viabilidad de implementación local	Difícil implementar en comunas
Potencial de valorización de materiales	Excelente recuperación de metales preciosos

Biometalurgia

La Biometalurgia es una técnica emergente que utiliza de microorganismos para oxidar metales presentes en residuos electrónicos, permitiendo su extracción sin necesidad de procesos químicos agresivos. Este método resulta prometedor por su bajo impacto ambiental, aunque aún presenta limitaciones de tiempo y escalabilidad (Brandl et al., 2001; Gu et al., 2019).

Dentro de los métodos hidrometalúrgicos, la biolixiviación usa agentes biológicos, como hongos y bacterias, en lugar de reactivos químicos tradicionales, permitiendo no solo extraer metales, sino también degradar contaminantes orgánicos persistentes presentes en los RAEE, contribuyendo a un proceso más limpio (Gu et al., 2019).

La biolixiviación ha sido empleada en la industria minera para separar el metal del mineral extraído, utilizándose principalmente en la obtención de cobre y oro, presentando varias ventajas frente a los tratamientos mencionados anteriormente, como los bajos costos de operación, una minimización del volumen de residuos y la emisión de efluentes secundarios no tóxicos (Gu et al., 2019).

Según lo señalado por Gu et al. (2019), los microorganismos más utilizados corresponden a:

- *Aspergillus niger*: hongo capaz de producir ácidos orgánicos como ácido cítrico y ácido glucónico, que actúan como agentes lixiviantes suaves. Es efectivo en la extracción de metales como oro y plata.
- *Desulfovibrio desulfuricans*: bacteria reductora de sulfato que precipita oro (Au^{3+}) y paladio (Pd^{2+}) en forma metálica a partir de soluciones acuosas.
- *Acidithiobacillus ferrooxidans*: bacteria especializada en la oxidación de sulfuros metálicos, útil para tratar lodos con altas concentraciones de metales pesados resultantes de otros procesos

Los equipos utilizados en la biometalurgia son Biorreactores, donde se controlan los parámetros como temperatura, pH, entre otros, se cultivan los microorganismos y se lleva a cabo el proceso de lixiviación. También incluyen un sistemas de agitación y aireación para mantener homogénea la suspensión de sólidos y microorganismos. Sistemas para el filtrado como lo son filtros de vacío o centrifugadoras y por ultimo tanques de neutralizado para ajustar el pH de los efluentes. Es así como, si se controla bien el proceso, los residuos generados son mínimos y poco peligrosos.

Según la información contenida en la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto de actualización minera de la División Radomiro Tomic, presentada por Codelco Chile, se contempla la implementación de un proceso de biolixiviación para el tratamiento de sulfuros. Este proceso utiliza bacterias específicas para acelerar la disolución del cobre desde los minerales, permitiendo obtener sulfato de cobre en solución para su posterior recuperación. La infraestructura considera reactores, sistemas de agitación, aireación, control de temperatura y suministro de ácido sulfúrico, lo que permite utilizar estos datos como referente para las comunas de la propuesta como se detalla en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Resumen del proceso de Biometalurgia

Aspectos de la Biometalurgia	Detalle
Capacidad instalada	Puede procesar grandes volúmenes, pero menor cantidad que la pirometalurgia
Complejidad tecnológica	Incluye reactores biológicos, caldera para vapor, compresores de aire, estanques para el ácido y una subestación eléctrica
Requerimientos técnicos	Requiere conocimiento especializado en microbiología minera, operación de reactores y manejo de lixiviación
Generación de residuos peligrosos	El principal residuo son ripios lixiviados, gestionados en botaderos impermeabilizados
Costos de inversión	Inversión aproximada de US\$ 5,5 millones para habilitación sistema de Biolixiviación
Viabilidad de implementación local	Difícil implementar en comunas
Potencial de valorización de materiales	Excelente recuperación de metales preciosos

5.4.1.3 Transporte de RAEE y valorización externa

Otra alternativa para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos es el transporte de residuos a empresas de valorización y tratamiento ubicadas en Santiago, debido a la cercanía a estas comunas. Esta alternativa permitiría asegurar un manejo ambientalmente racional de los residuos y favorecer la recuperación de materiales valorizables (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

Transporte de RAEE completos

Esta alternativa consiste en trasladar los RAEE sin realizar procesos de desarme o separación, pero incorporando una etapa de selección de equipos con potencial de reacondicionamiento. Estos se someterían a procesos de reparación, limpieza y actualización, lo que permitiría extender la vida útil de los aparatos, privilegiando la reutilización por sobre el reciclaje y la eliminación, promoviendo una gestión ambientalmente adecuada (Ministerio del Medio Ambiente, 2021; Fundación Chile, 2025).

Las principales ventajas son:

- Simplicidad operacional: No requiere infraestructura ni personal especializado para realizar separación o clasificación en origen
- Reducción de riesgos de manipulación: Minimiza la exposición de operadores locales a sustancias peligrosas contenidas en algunos aparatos
- Mayor rapidez en la logística de recolección: El almacenamiento y el despacho pueden realizarse de forma más expedita

Y las mayores desventajas son:

- Mayores costos de transporte: El volumen y peso de los RAEE completos es significativamente mayor, encareciendo el traslado
- Aprovechamiento local del valor de los materiales: Se pierde la oportunidad de agregar valor a través de un pretratamiento local

Transporte de RAEE con extracción de componentes

Esta alternativa propone realizar un proceso previo, donde además realizar el reacondicionamiento ciertos equipos, se extraerían principalmente las placas de circuito impreso (PCB) de aquellos aparatos que las contienen, separándolas para su transporte independiente. Los residuos restantes serían igualmente trasladados, pero se tratarían previamente los cables de cobre presentes en los aparatos, antes de ser enviados, junto con las placas, a la disposición final.

Las placas de circuito impreso (PCB) son componentes clave en la valorización y su proceso de extracción consiste en desmontar manualmente los dispositivos para retirar dichas placas. Estas, posteriormente son enviadas a plantas especializadas como Degraf o Recycla, quienes a su vez exportan o procesan estos materiales (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

Los cables eléctricos presentes en los RAEE pueden ser valorizados mediante trituración mecánica, proceso en el cual se extraería plástico y cobre, estos forman parte de un mercado activo en Chile, donde su comercialización está regulada y promovida por el marco legal de la Ley REP y la Estrategia Nacional de Economía Circular. El cobre recuperado se compacta y se vende en el mercado nacional sin necesidad de refinamiento adicional, debido a que se compra como materia prima secundaria. En cuanto al recubrimiento plástico (PVC u otros), este también puede ser tratado y vendido como insumo reciclado para la fabricación de nuevos productos plásticos (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

Las principales ventajas son:

- Reducción del volumen y peso transportado: Al extraer solo los componentes de alto valor, se optimizan los costos logísticos. (Universidad de las Naciones Unidas, 2015)
- Aprovechamiento local del valor de los materiales: Permite iniciar un modelo de valorización local, fortaleciendo la economía circular. (Ministerio de Educación de Chile, 2021)
- Fomento de empleo local: Requiere mano de obra capacitada para la clasificación y el desmantelamiento seguro.

Y las mayores desventajas son:

- Mayor necesidad de capacitación y equipamiento: Se requiere formación técnica básica para el desarme seguro de equipos (Flores Ferrada, 2022).
- Riesgo de exposición a materiales peligrosos: En caso de mala manipulación, podrían liberarse contaminantes peligrosos como plomo, mercurio o retardantes de llama.

5.4.2 Evaluación de Alternativas para el Tratamiento y Gestión de RAEE

En la tabla 5.15 se presentan los resultados de la evaluación de las distintas alternativas de gestión de los RAEE. Permitiendo identificar las estrategias compatibles con las condiciones locales de las comunas.

Tabla 5.15 Evaluación comparativa de alternativas de gestión RAEE

Alternativa	Capacidad	Requerimiento	R. Peligroso	Costo	Viabilidad	Aprovechamiento	Total
Pirometalúrgia	5	1	1	1	1	5	14
Hidrometalúrgia	3	2	2	2	2	4	15
Biometalúrgia	3	3	3	3	3	4	19
Transporte de RAEE	3	5	4	3	4	1	20
Transporte componentes	4	4	3	3	3	4	21

A partir de la evaluación cualitativa se observa que las alternativas de pirometalúrgia e hidrometalúrgia, si bien son favorables en cuanto a la capacidad de tratar residuos y el aprovechamiento económico del proceso, presentan una complejidad muy elevada en cuanto a los requerimientos, la generación de residuos peligrosos y la infraestructura requerida. La

Biometalúrgia, si bien es mejor, igual necesita de condiciones técnicas y operativas que actualmente en ninguna de las comunas es posible implementarse.

Por otro lado, el transporte de RAEE sin un tratamiento indica una alta viabilidad y una simplicidad en su ejecución, pero su bajo grado de aprovechamiento económico y alto requerimiento logístico lo hacen menos eficiente para una solución a largo plazo, en relación a los volúmenes proyectados de los RAEE. En contraste, la alternativa de Transporte de PCB y residuos junto a una valorización de cables y plásticos alcanza un equilibrio entre viabilidad técnica, inversión y alto nivel de valorización de los materiales, convirtiéndola en una estrategia que se adapta perfectamente al contexto local. Por estas razones, se elige esta alternativa como modelo principal de gestión, permitiendo implementar un modelo de economía circular en las comunas sin inversiones excesivas.

En el contexto del manejo de residuos, diversas comunas han desarrollado estrategias para facilitar la recolección y almacenamiento de los RAEE, con el objetivo de prevenir impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente. Analizar estas estrategias es fundamental para una propuesta ajustada a la realidad de Graneros, Mostazal y Codegua.

5.4.3 Análisis recolección

Diversas comunas de Chile han desarrollado estrategias la recolección y almacenamiento de los RAEE, con el objetivo de prevenir impactos negativos en la salud pública como en el medio ambiente. Analizar estas estrategias sirve como referencia para una propuesta ajustada a la realidad de Graneros, Mostazal y Codegua.

5.3.3.1 Referentes nacionales

Algunas comunas han implementado estrategias para la recolección de RAEE son:

- San Vicente de Tagua Tagua: realiza campañas de recolección de medicamentos, pilas y aparatos electrónicos dos veces al año, coordinadas por el Departamento de Salud Municipal y Medio Ambiente
- Pichidegua y Coltauco: comunas rurales que han firmado convenios con empresas recolectoras, donde además de electrodomésticos retiran otros residuos.
- Requínoa: ha incorporado puntos de recolección fijos en su edificio municipal y una red de reciclaje con participación de juntas vecinales
- Machalí: presenta un modelo de gestión con educación ambiental permanente y recolección programada de RAEE en conjunto con recicladores base y empresas autorizadas.
- Quillota: la municipalidad habilitó un Punto Limpio específico para residuos electrónicos, ubicado en el Centro Cultural Leopoldo Silva R

En relación a Graneros, Mostazal y Codegua se puede decir que, en Graneros, se han realizado campañas para recolección de RAEE, mayoritariamente gestionadas por la municipalidad o instituciones educativas, pero sin una continuidad. En Mostazal, los colegios son los que han organizado campañas de recolección, pero no hay puntos fijos ni campañas regulares; y en Codegua, la situación es aún más compleja, ya que acá no se han reportado campañas para la gestión de RAEE, reflejando una ausencia de planificación comunal, falta de recursos técnicos y escasa articulación entre actores locales.

5.3.3.2 Propuesta de Recolección

Considerando las experiencias exitosas en comunas con características socioeconómicas similares, así como el diagnóstico específico en Graneros, Codegua y Mostazal, se plantea una estrategia territorial que combine infraestructura permanente y acciones educativas sistemáticas. Para definir estos espacios se tomó en cuenta la accesibilidad para las personas, el espacio para camiones y vehículos y la cercanía a las zonas residenciales, ya que se busca una mayor proximidad a los habitantes.

Dicha propuesta consiste en primer lugar una instalación de puntos de recolección permanentes en plazas de armas de las comunas, CESFAM o centros sociales. La ubicación específica de cada punto se detalla en el capítulo 5.3.5, donde se presenta el sistema de gestión.

Adicional a los puntos de recolección se plantean campañas educativas acompañadas de recolección de RAEE mediante puntos móviles, planteadas mínimo dos veces al año en distintos colegios de las comunas, buscando llegar a más puntos de estas.

5.4.4 Análisis de Almacenamiento

El almacenamiento adecuado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos permite un acopio temporal en condiciones seguras para el medio ambiente y la salud de la población antes de su transporte y disposición final. Para este estudio, se evaluó la existencia de espacios en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, considerando los criterios de espacio disponible, ubicación estratégica, seguridad y facilidad de acceso logístico.

La Municipalidad de Mostazal fue la única que proporcionó información detallada, identificando tres lugares posibles para el almacenamiento y tratado de los RAEE. Luego del análisis preliminar, se seleccionó una opción ubicada en la periferia urbana de la comuna debido a sus ventajas en términos de espacio físico, cercanía a rutas principales y accesibilidad para vehículos de carga, lo que facilitaría tanto el acopio seguro como el retiro eficiente de los residuos por parte de empresas gestoras o personal municipal.

En cuanto a las comunas de Graneros y Codegua, no se entregaron propuestas concretas de espacios disponibles. No obstante, se identificó la necesidad de avanzar en la habilitación de infraestructura local, considerando para ello el uso de recintos municipales existentes como bodegas, patios de

servicios u otras dependencias técnicas que pudieran adaptarse, estas serán detalladas en punto 5.3.5.

A continuación, se presentan los mapas georreferenciados elaborados para visualizar la zona destinada para el tratamiento y almacenamiento, además de la distribución del lugar.

Mediante la utilización del software Google Earth, se entrega el respectivo polígono, como se ve en la Figura 5.6, teniendo un perímetro estimado de 213 m, y un área total de 2639 m², siendo estas medidas las que se tomarán en cuenta para la realización de la propuesta, ya que todo este lugar está destinado para el acopio de residuos de la comuna, pero actualmente no presenta algún uso.



Figura 5.6 Ubicación centro de tratamiento

El área destinada al almacenamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se distribuirá de la siguiente forma, buscado optimizar el uso del espacio disponible, asegurando una gestión eficiente de los residuos desde su ingreso hasta su tratamiento preliminar. A continuación, se detallan las zonas que conforman el recinto:

- **Entrada de vehículos:** El acceso al recinto se realizará por el costado noreste del terreno, conectando directamente con Calle Estero, lo que permite una entrada segura y directa para vehículos municipales o de empresas gestoras. Esta vía facilita el ingreso de camiones de carga sin interferir con la línea férrea contigua ni con zonas residenciales de alta densidad.
- **Zona de acopio:** Se establece en el sector central y oeste del terreno, aprovechando el espacio plano y abierto actualmente disponible. Esta área será destinada al almacenamiento temporal de los RAEE, debidamente señalizada y subdividida en secciones según el tipo de residuos (electrodomésticos grandes, pequeños aparatos, electrónicos de oficina, etc.), permitiendo una clasificación eficaz y segura.
- **Área de reacondicionamiento:** Se propone ubicarla en la zona sur del recinto, donde se podrá habilitar un espacio techado o semicubierto para la evaluación, separación y posible reparación de equipos reutilizables. Esta zona debe contar con condiciones básicas de

seguridad, iluminación, ventilación y elementos de protección personal para el personal a cargo.

- **Área de tratamiento o pretratamiento:** Se destina un sector en el extremo sureste del terreno, alejado de la entrada y de la zona de acopio, para realizar actividades como el desmontaje de componentes peligrosos (baterías, condensadores, lámparas, etc.) y el almacenamiento transitorio en contenedores adecuados. Este espacio deberá cumplir con normativas de seguridad ambiental, incluyendo pisos impermeables y techumbres que eviten filtraciones.

Esta disposición funcional busca asegurar una operación eficiente, segura y compatible con el entorno urbano. La cercanía del sitio con rutas principales y su separación de zonas densamente pobladas permite reducir impactos negativos, mejorar la logística de recolección y fortalecer el manejo sustentable de los residuos.

5.4.5 Propuesta del sistema de gestión de RAEE

Como se muestra en el diagrama de la Figura 5.7, la propuesta del sistema de gestión consta en primer lugar de una fase de recolección mediante puntos limpios y campañas educativas, donde se recogen los RAEE y son transportados al lugar de almacenamiento. En este lugar se clasifican según su estado para ser reacondicionado, los que no poseen un estado adecuado se clasifican si cuentan o no con placa matriz, para poder ser desmantelados o triturados según corresponda. Por último, los residuos y las placas serán transportadas al centro de valorización correspondiente, todo transporte será realizado a través de licitaciones municipales.

El transporte de los residuos, ya sea desde los puntos limpios y campañas hasta el centro de valorización o después de su tratamiento hasta los destinatarios finales, se hará a través de licitaciones, debido a que ya hay empresas que se encargar de esto en las 3 comunas.

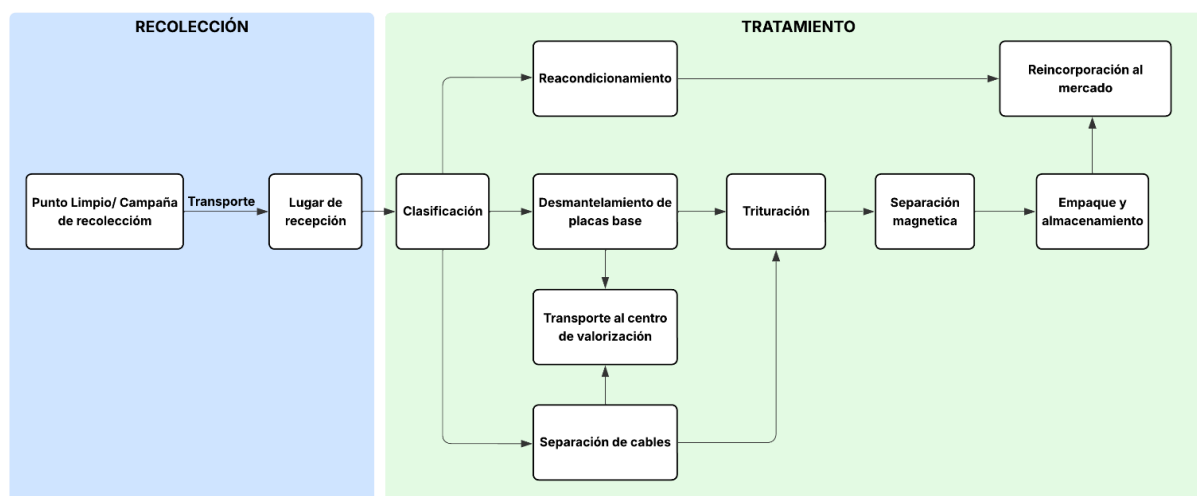


Figura 5.7 Diagrama del proceso.

5.4.5.1 Recolección

Los puntos limpios para la recepción de los RAEE fueron distribuidos 2 por cada comuna, y cada punto contará con una campana para la recepción de estos aparatos, la cual será de un color burdeo como indica la NCH3322. Este modelo de campana ya ha sido implementado por otras municipalidades del país, como se observa en la Figura 5.8, correspondiente a un ejemplo en la comuna de Peñalolén.



Figura 5.8 Campana para residuos eléctricos y electrónicos de la comuna de Peñalolén.

Para las campañas de recolección serán realizadas cada semestre en un colegio distinto de cada comuna, siendo en total 6 campañas que se realizarían. En dichas campañas habrá un punto limpio móvil el cual durante el día recepcionará los residuos. Estas campañas estarán acompañadas de educación ambiental junto a organizaciones del sector como es por ejemplo la Agrupación Queltehue de la comuna de Mostazal, debido a que no solo se busca ser un proceso operativo, sino también educativo y de sensibilización para las comunidades.

En estas campañas se realizarán talleres, charlas, y se entregará material informativo no solo relacionada a la gestión adecuada de los RAEE, sino también de como disponer adecuadamente los otros residuos sólidos domiciliarios o temas medioambientales comunales de interés para la gente, como huertas vecinales, compostaje, humedales urbanos, etc.

El punto limpio móvil se efectuará a través de una licitación realizada por cada municipalidad, en donde se buscará un camión con capacidad para 7 ton el cual debería llegar a las zonas destinadas, en donde se pesarán y cargarán los diversos residuos que lleguen. Cabe señalar que para estas campañas o en los puntos limpios no se recibirán grandes aparatos como refrigeradores o lavadores. Esto se debe a dos principales razones: primero, por seguridad de los operarios, ya que estos ya estarán manipulando una gran cantidad de residuos voluminosos, lo cual representa una carga física significativa; y segundo, porque la capacidad del camión dispuesto para la recolección se vería rápidamente copada por este tipo de artefactos. Pero estos grandes aparatos pueden ser dispuestos

directamente en el lugar de almacenamiento, ya que en ese lugar se contará con equipamiento y las condiciones adecuadas para manejar de manera correcta este tipo de residuos.

La difusión de estas campañas también es un elemento clave para la realización de esta propuesta, la que se llevará a cabo por medio de las redes sociales municipales y avisos en la radio local de cada comuna, para asegurar una participación significativa de las personas.

5.4.5.2 Puntos de recolección de RAEE

Se ha determinado una distribución estratégica de los puntos de recolección en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua. Esta distribución se basó en un análisis del territorio considerando lugares que comúnmente son visitados por habitantes, para así fomentar una mayor participación comunitaria, donde las personas ya se reúnen para diversas actividades.

Además, se emplearon criterios como factibilidad para el acceso peatonal y vehicular, donde se permuta el estacionamiento temporal de vehículos personales y que estos puntos de recolección estén en lugares, incentivando de cierta manera a las personas a participar activamente en la disposición responsable de estos residuos.

- **Graneros:** Como punto de recolección para la comuna de Graneros, se escogió la Plaza de Armas, donde además se encuentra una oficina municipal, y el Estadio Municipal. Ambos se ubican en distintos sectores de la comuna, lo que permite descentralizar la recolección.
- **Mostazal:** Para la comuna de Mostazal, además de escoger la Plaza de Armas para el punto limpio también se escogió el Gimnasio Municipal. Si bien estos puntos se encuentran más cercanos que los otros, debido a la disposición territorial de la comuna, se complementaría con las campañas de recolección en los colegios, garantizando que tanto las zonas céntricas como otras áreas puedan acceder fácilmente al servicio.
- **Codegua:** En el caso de la comuna de Codegua, los puntos establecidos son el CESFAM y la Plaza Orlando Letelier. Esta selección considera tanto un espacio de carácter social y comunitario como un centro de salud, como un punto donde ya existe reciclaje de vidrio como es la Plaza Orlando, ampliando más la cobertura del territorial.

5.4.5.3 Pretratamiento

Después de la recolección y su envío al centro de valorización, el primer proceso para el tratamiento de los RAEE es el pesaje y clasificación manual de estos, separando los equipos intercambiadores de calor, los equipos de telecomunicación y equipos con cables, para posteriormente pasar al reacondicionamiento, desmantelamiento o la separación de los cables de los equipos según corresponda. Dicha clasificación la realizarán operarios, los cuales, según la Ley del Trabajo, no pueden cargar más de 25 kg y deben contar con sus equipos de protección personal. Además de establecer la jornada laboral en 40 hrs.

La clasificación destinada al reacondicionamiento tiene como objetivo restaurar aquellos equipos que presentan potencial de funcionamiento, para posteriormente ser entregados a las familias más vulnerables de las comunas y que estos sirvan como herramientas de estudio y desarrollo personal para los integrantes de estas familias. Los principales aparatos que se buscaría reacondicionar serán

computadores, tabletas y celulares. Contribuyendo a reducir la brecha digital en los sectores de bajos recursos y aportando a la economía circular.

Se debe realizar una separación de los intercambiadores de temperatura, ya que estos contienen refrigerantes y otros compuestos como aceites lubricantes y espumas aislantes, que deben ser tratados correctamente, ya que generan residuos peligrosos. Por lo que se destinara un lugar en el centro de valorización para el acopio temporal de estos aparatos.

En el caso de los aparatos con cables, estos se separan para la extracción específica del cobre. Los demás elementos de estos equipos, junto con los otros aparatos previamente tratados, pasan al proceso de trituración y separación de componentes.

5.4.5.4 Tratamiento

- **Desensambla manual**

Después de la clasificación y el pretratamiento de los equipos intercambiadores de temperatura, se establecieron líneas de desmontaje manual. Donde se requiere tratar el primer año aproximadamente 1 tonelada por semana de RAEE. En este proceso se deben manipular directamente los equipos por personal capacitado, teniendo como componentes finales en este proceso:

- Placas de circuitos
- Baterías
- Aleaciones, Soldaduras y Cualquier Residuo Peligroso
- Vidrios
- Metales estructurales
- Cables de cobre

Cabe señalar que las placas de circuitos y otros se clasificaran de la siguiente manera según tipo:

- Placas de bajo grado (equipos de audio y video antiguos, fuentes de poder o electrodomésticos)
- Placas de grado medio (equipos de video, audio, consolas de videojuegos, placas a madre de notebook)
- Placas de alto grado (celulares, tarjetas de red de notebook, televisores de pantalla plana, pantalla y mouse pad de notebook)
- Disco duro
- Memoria RAM

El resto de los residuos que se componen principalmente de metales férricos, no férricos y plásticos pasan a una segunda etapa de tratamiento.

- **Triturado y separación magnética**

Después del desensamblado manual, quedan piezas metálicas estructurales o elementos de plásticos, que es necesario triturar para reducir su volumen y pasarlos por un proceso de magnetización para separar los componentes férricos de los no férricos.

Trituración: Este proceso consiste en reducir el tamaño del diámetro de las estructuras metálicas y los elementos plásticos. Como resultado, se obtiene un material triturado (chipeado) que incluye fragmentos de metales ferrosos, los cuales pueden separarse del material inerte y almacenarse por separado.

Separación magnética: Este proceso tiene como finalidad de aislar aquellas piezas de algún material ferromagnético mezclados con plásticos después de la trituración anterior, porque algunos materiales triturados cuentan con alguna aleación plástica o soldadura.

- **Control y empaquetado**

Finalmente, después de la fase de segregación, los plásticos pasan por una cinta transportadora para el control final de impurezas, donde se utilizaría un detector de metales junto a un control humano para la remoción de estas y para tener claridad en el proceso se implementará una bitácora o registro en donde se ingresen de manera mensual la cantidad de aparatos reacondicionados, de residuos peligrosos generados, cantidad de aparatos intercambiadores de temperatura y, de manera semanal la cantidad de materiales recuperados.

Todos los materiales recuperados serán embalados en maxisacos, teniendo como resultado productos finales de plásticos, materiales ferrosos, placas de circuitos electrónicos, vidrio y cobre. Estos serán enviados a gestores autorizados para su valorización, siendo reincorporados a los procesos productivos, reduciendo el impacto ambiental y fortaleciendo al económica circular del país.

5.4.5.5 Residuos peligrosos

Los principales residuos peligrosos generados durante el proceso corresponden a baterías, soldaduras y aleaciones, los cuales pueden contener metales como plomo o estaño. Estos residuos se almacenarán en contenedores plásticos con tapa hermética y debidamente etiquetados para evitar filtraciones en las napas subterráneas, derrames o alguna reacción peligrosa.

Todo residuo peligroso será almacenado en una bodega habilitada para este tipo de residuos, la cual deberá cumplir con las condiciones de seguridad exigidas por la normativa vigente (ventilación, señalización, control de acceso, entre otros), hasta ser entregados a un destinatario final.

5.4.5.6 Sistema de trazabilidad

Para llevar un control de las actividades del sistema de gestión, se implementará una herramienta digital que permita registrar y analizar todos los flujos de residuos, materiales valorizables, residuos peligrosos y los equipos reacondicionados.

A) Registro

En esta sección se debe ingresar por tipo de residuo: la fecha, la comuna de origen, el tipo de aparato, su peso, el destino asignado (reacondicionamiento, reciclaje o almacenamiento temporal). Además, se debe indicar la cantidad y los tipos de residuos, tanto peligrosos como no peligrosos, generados en el mes.

B) Material recuperado

Esta sección es para llevar un control de los materiales recuperados, registrando los diferentes tipos de materiales valorizables, anotando cuanto fue el total que se recuperó semanalmente.

C) Control equipos reacondicionados

Por último, se llevará un registro de cuantos equipos que han sido reacondicionados y su modelo, cuanto están almacenados y cuantos han sido entregados a los beneficiarios en el mes.

5.4.5.7 Requerimientos

- **Mano de obra**

Para el correcto funcionamiento del centro de valorización se requiere un equipo capacitado que cumpla las necesidades operativas y técnicas. De manera inicial, se contempla un equipo compuesto por 3 operarios encargados de las tareas de clasificación, desmontaje y funcionamiento de la maquinaria; un técnico de reacondicionamiento, encargado de evaluar y reparar los equipos electrónicos; un supervisor, responsable de la coordinación y el control de las actividades del proyecto; y una persona encargada de la seguridad, del cumplimiento normativo tanto de la seguridad de los trabajadores como de manejo adecuado de los residuos peligrosos. La jornada laboral serían 40 horas de lunes a viernes, tratando como mínimo 1 ton a la semana de RAEE y los perfiles de cada puesto se encuentran entre las Tabla 5.16 y Tabla 5.19.

Este equipo permitiría cubrir las necesidades en una etapa inicial del proyecto, a medida que vaya aumentando la generación de residuos, se consideraría incorporar mayor personal para cumplir las nuevas necesidades, como una persona encargada de la logística, otro técnico para el reacondicionamiento o personal adicional para las funciones operativas.

Tabla 5.16 Perfil Operario

PERFIL OPERARIO		
Descripción del puesto	El operario estará encargado de la clasificación, desmontaje y funcionamiento de la máquinas de trituración y separación magnética garantizando su correcto tratamiento de los RAEE	
Identificación	Puesto	Operario del centro de reciclaje
	Jornada laboral	Diurna
	Reporta a	Supervisor
Funciones Principales	- Clasificar y dismantelar residuos electrónicos según tipo. - Operar, monitorear y verificar el correcto funcionamiento de la maquinaria de trituración y separación. - Garantizar limpieza y orden del lugar de trabajo. - Cumplir con las normas de seguridad y lo indicado por el/la prevencionista de riesgos. - Registrar y reportar cualquier incidente o falla en las máquinas al supervisor. - Manejo de montacargas.	
Requisitos Fundamentales	- Educación mínima: Educación media completa. - Experiencia previa de al menos 1 año en operaciones de maquinaria industrial. - Licencia de conducir clase B o D.	
Requisitos Deseables	- Cursos técnicos o certificaciones en manejo de maquinaria pesada. - Conocimiento o experiencia previa en el manejo de residuos y procesos de valorización.	

Tabla 5.17 Perfil Técnico en Reacondicionamiento

PERFIL TÉCNICO EN REACONDICIONAMIENTO		
Descripción del puesto	El técnico en reacondicionamiento será responsable de evaluar, diagnosticar y reparar los equipos eléctricos y electrónicos, dejándolos operativos, extendiendo la vida útil de estos aparatos, especialmente computadores, tabletas y celulares.	
Identificación	Puesto	Técnico en reacondicionamiento
	Jornada laboral	Diurna
	Reporta a	Supervisor
Funciones Principales	- Definir criterios para evaluar el estado funcional de equipos electrónicos recibidos. - Diagnosticar fallas y realizar reparaciones o reemplazos de componentes. - Restaurar dispositivos electrónicos para su reutilización. - Registrar información de equipos reacondicionados y piezas utilizadas. - Cumplir con las normas de seguridad y procedimientos técnicos.	
Requisitos Fundamentales	- Educación técnica en electrónica, informática, electricidad o carrera afín. - Experiencia mínima de 1 año en reparación de equipos electrónicos. - Conocimiento en instalación de software básico y sistemas operativos. - Capacidad para trabajar de forma autónoma y con criterios de reutilización.	
Requisitos Deseables	- Cursos técnicos o certificaciones en reparación de dispositivos electrónicos. - Conocimiento o experiencia previa en el manejo de residuos y procesos de valorización	

Tabla 5.18 Perfil Supervisor

PERFIL SUPERVISOR		
Descripción del puesto	El supervisor de proyecto es responsable de la planificación, ejecución y supervisión de proyectos relacionados con el centro de valorización. Sus funciones incluyen la gestión de personal y la coordinación con los departamentos de medioambiente de las municipalidades para la realización de las campañas de reciclaje. Asimismo, debe velar por el cumplimiento de normativas.	
Identificación	Puesto	Supervisor del centro de valorización
	Jornada laboral	Diurna
	Reporta a	Departamento de medioambiente de las municipalidades
Funciones Principales	- Supervisar el funcionamiento general del centro de valorización, asegurando el cumplimiento de las metas establecidas - Coordinar y liderar el equipo de trabajo, junto con las campañas de reciclaje en cada municipalidad. - Detectar y resolver incidencias operativas y de recursos humanos.	
Requisitos Fundamentales	- Título técnico o profesional en Ingeniería Ambiental, Industrial, Logística, Administración u otra carrera afín. - Experiencia mínima de 1 año en supervisor de proyectos o centros de operación industrial. - Conocimiento en gestión de residuos y normativa ambiental. - Capacidad de liderazgo y manejo de equipos de trabajo. - Licencia de conducir clase B.	
Requisitos Deseables	- Experiencia en coordinación con entidades públicas o municipales. - Formación en economía circular o gestión de residuos.	

Tabla 5.19 Perfil Encargado de seguridad

PERFIL ENCARGADO/A DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE		
Descripción del puesto	La persona encargada de la seguridad y medioambiente será responsable de supervisar y controlar las medidas de seguridad laboral y ambiental en el proceso de valorización de RAEE. Siendo su función principal prevenir riesgos laborales, garantizando condiciones seguras conforme a la normativa vigente.	
Identificación	Puesto	Encargado/a de Seguridad y Medioambiente
	Jornada laboral	Diurna
	Reporta a	Supervisor del centro
Funciones Principales	- Elaborar y aplicar el Reglamento Interno de Higiene y Seguridad. - Realizar evaluaciones de riesgo y proponer medidas correctivas y preventivas. - Coordinar e impartir capacitaciones sobre seguridad, manejo de residuos peligrosos y uso de EPP, además se supervisa el correcto uso de estos. - Controlar condiciones de almacenamiento de residuos peligrosos.	
Requisitos Fundamentales	- Título técnico o profesional en Prevención de Riesgos, Ingeniería en Prevención, Medioambiente o carrera afín. - Registro vigente en la SEREMI de Salud como experto/a en prevención de riesgos. - Experiencia mínima de 2 años en áreas industriales o de reciclaje. - Manejo de normativas sobre residuos peligrosos (DS N° 148/03) y RAEE.	
Requisitos Deseables	- Experiencia en coordinación con entidades públicas o municipales. - Licencia de conducir clase B.	

Para la seguridad de las personas al momento de ejercer sus funciones se les entregará un kit de seguridad, el cual constará de:

- Guantes.
- Zapatos de seguridad.
- Antiparras.
- Overoles.
- Mascarillas.
- Audífonos de protección auditiva.
- Kit de primeros auxilios.

• Maquinaria y equipos

Desde la Tabla 5.20 hasta la Tabla 5.26 se presenta el equipamiento esencial para la implementación del centro de valorización de RAEE, considerando las necesidades operativas básicas para el pesaje, clasificación y tratamiento de los residuos

Tabla 5.20 Ficha Balanza

Modelo	Balanza Digital 1000 kg Aéreo Gastromaq	
Matriz	Capacidad Máxima: 1000 kilos	
	Batería 6v /4A, corriente 220v / 50 Hz	
	Visor LED, español	
Dimensiones	80 x 60 cm	
Diseño	Plataforma de fierro, con visor digital	
Precio	\$75.000	

Tabla 5.21 Ficha Cinta transportadora

Modelo	Cinta transportadora horizontal	
Matriz	Velocidad estimada 10 m/min,	
	Cinta PVC Tela	
	Motorreductor 1 hp	
	Tablero eléctrico con enchufe volante	
Dimensiones	600 mm x 2.500 mm, Altura de operación 900 mm	
Diseño	Estructura fabricada en Acero al carbono pintado	
Precio	\$3.600.000	

Tabla 5.22 Triturador Chipeador

Modelo	Molino Trituradora Chipeador 10H	
Matriz	Potencia Motor: 10HP	
	Capacidad máxima: 400-500 KG/Hora	
	Tensión: 380V 50 HZ Trifásico	
	Cuchillos giratorios: 12	
Dimensiones	Tamaño máquina: 88 x 84 x 130cm	
Diseño	Color turquesa	
Precio	\$5.333.333	

Tabla 5.23 Separador magnético

Modelo	GUOTE KCYD-6
Matriz	Potencia Motor 2,2 kW
	Capacidad máxima: 1,5 ton/hora
	Tensión: 380V
	Ancho correa: 650 mm
Dimensiones	Tamaño máquina: 2100 x 950 x 420 mm
Diseño	Verde
Precio	\$6.000.000



}

Tabla 5.24 Detector de metales

Modelo	JINDUN JD-605	
Matriz	Potencia Motor 2,2 kW	
	Capacidad producción: 98%	
	Velocidad fija: 20 m/min	
	Método de detección: Onda electromagnética	
Dimensiones	Tamaño máquina: 160X80X100 cm	
Diseño	Verde	
Precio	\$6.000.000	

Tabla 5.25 Bodega para residuos peligroso

Modelo	JINDUN JD-605	
Matriz	Volumen de contención: 1107 lts	
	Capacidad para 4 tambores	
	Resistencia la fuego: RF-120	
	Señalética oficial, extintor de incendios, lavajos y detector de humo	
Dimensiones	Tamaño máquina: 2600 X 1500 X 1600 mm	
Diseño	Azul	
Precio	\$3.302.000	

Tabla 5.26 Herramientas manuales para desarme y reacondicionamiento

Herramientas	Costos
Destornilladores multipuntas y eléctricos	\$15.000
Alicates de corte y pinzas de precisión	\$17.000
Llaves Allen y Torx	\$17.000
Cuchillas para abrir recubrimientos	\$12.000

Esta combinación de maquinarias y herramientas permitirá recibir y tratar los RAEE de manera segura y controlada, reduciendo su volumen y permitiendo la separando los componentes valiosos, peligrosos y no valorizables. Además de garantizar la seguridad del personal, minimizando riesgos y protegiendo la salud tanto humana como del entorno.

Se estima que para los años 2029 y 2036 se debe realizar una compra de maquinaria nueva para poder tratar los volúmenes estimados de RAEE, debido centro de valorización tendrá una capacidad máxima de 500 kg/h, contemplando que las maquinarias trabajarán 3 días a la semana durante 8

horas. Dando como resultado que se puede procesar de manera anual 576 ton. En la Tabla 5.27 se evidencia los años donde esta capacidad se ve superada.

Tabla 5.27 Capacidad del centro de valorización

Año	Ton RAEE a tratar	Capacidad máxima del proceso
2025		
2026	67,5	576
2027	221,7	576
2028	379,1	576
2029	539,8	576
2030	705,8	1152
2031	772,0	1152
2032	839,9	1152
2033	909,5	1152
2034	964,4	1152
2035	1036,1	1152
2036	1109,4	1152
2037	1203,4	1728
2038	1322,7	1728
2039	1402,0	1728
2040	1483,1	1728

5.4.5.8 Normativa ambiental aplicable

Se realizó una revisión bibliográfica para identificar la legislación ambiental vigente aplicable al Sistema de Gestión propuesto en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, determinado los requerimientos normativos detallados en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28 Normativa aplicable al sistema

Normativa	Nombre	Ministerio	Descripción
Ley 20.920	Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje	Ministerio del Medio Ambiente	Promueve la economía circular y el fomento al reciclaje, haciendo responsables a los productores e importadores de la recolección y valorización de los residuos.
Decreto 148	Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos	Ministerio De Salud	Regula el manejo, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos peligrosos.
Decreto 1	Aprueba Reglamento Del Registro De Emisiones Y Transferencias De Contaminantes, RETC	Ministerio del Medio Ambiente	Obliga a los generadores y gestores de residuos a reportar anualmente al RETC los residuos generados, tratados, valorizados o dispuestos.
Decreto 38	Establece norma de emisión de ruidos generados por fuentes que indica	Ministerio del Medio Ambiente	Establece los límites máximos de ruido que pueden emitir instalaciones industriales, plantas o centros de tratamiento.
Ley 19.3000	Ley de Bases del Medio Ambiente	Ministerio del Medio Ambiente	Regula instrumentos como el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Este tipo de proyecto está definido en el Artículo N°10 de Ley N°19.300 como: “proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos”, por lo cual se debe definir si entra al SEIA como una Declaración de Impacto Ambiental o un Estudio de Impacto ambiental, los cuales buscan evaluar los impactos ambientales que pueden generar los proyectos. Se determina si entra como DIA o EIA según lo establecido en el Artículo N°11 de la Ley N°19.300 en donde se menciona que un proyecto ingresa como EIA si genera o presenta a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias establecidas en dicho artículo, los cuales son analizados en la Tabla 5.29, de lo contrario entraría como DIA. Al realizar el análisis se determinó que no aplica ninguno de estos criterios y que por lo tanto ingresaría al SEIA como una Declaración de Impacto ambiental.

Tabla 5.29 Criterios para realizar una Evaluación de Impacto Ambiental

Actividades Susceptibles (Art. 11)	Aplica	Justificación
Letra a) Riesgo para la salud de la población debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.	NO	Las emisiones previstas para el centro de valorización no presentan capacidad de generar riesgo para la salud de la población.
Letra b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.	NO	Al cumplir la normativa se estima que no se generarán efectos adversos a los recursos renovables.
Letra c) Reasentamiento de comunidades humanas o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.	NO	El centro de valorización se encuentra cercado a una empresa de áridos, por lo que no afectaría de las poblaciones cercanas
Letra d) Localización en o próxima a poblaciones, recursos y área protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares y áreas con valor para la observación astronómica con fines de investigación científica, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.	NO	No se encuentra cercana a ninguna de estas áreas o sitios protegidos
Letra e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.	NO	No habrá alteración significativa del valor paisajístico.
Letra f) Alternación de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.	NO	La ubicación seleccionada se encuentra ubicada con anterioridad en una zona urbana, rodeada de viviendas y actividades productivas.

5.5 EVALUAR LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA DE GESTIÓN PROPUESTO

5.5.1 Cuantificación de ingresos

5.5.1.1 Cobre

El cobre total teórico que existe en los RAEE es de 2,13 ton, sin embargo, después de los procesos de separación manual se estima que solo el 40% del cobre podrá ser extraído. Este valor irá aumentando al pasar de los años, ya que se prevé un aumento de la población como de la tasa de valorización de los residuos en general.

Al revisar mercados cercanos a las comunas se observó que el precio del cobre que se obtendrá va de los \$6.500 a los \$7.100 pesos chilenos por kilogramo. Para calcular los posibles escenarios en

relación con los ingresos, se realizaron los cálculos de venta de material al menor precio y al mayor precio.

Al realizar los cálculos relacionados por la venta del cobre y al pasarlo a la UF actual que es de \$39.205, se pudo ver que el primer año los ingresos van desde **157 UF** a **\$171 UF** anuales. En la Tabla 5.30 se muestra la proyección total de Cobre recuperado

Tabla 5.30 Valorización del Cobre

AÑO	Cobre (kg)	Cobre recuperado (kg)	Menor Precio (UF)	Mayor Precio (UF)
2025				
2026	2702,44	1080,97	179	196
2027	8866,84	3546,74	588	642
2028	13098,73	5239,49	869	949
2029	22475,06	8990,02	1491	1628
2030	27699,14	11079,66	1837	2007
2031	30899,53	12359,81	2049	2238
2032	33622,49	13449,00	2230	2436
2033	36419,25	14567,70	2415	2638
2034	38759,02	15503,61	2570	2808
2035	41647,51	16659,01	2762	3017
2036	44604,87	17841,95	2958	3231
2037	48397,07	19358,83	3210	3506
2038	53202,99	21281,20	3528	3854
2039	56406,16	22562,46	3741	4086
2040	59682,89	23873,16	3958	4323

5.5.1.2 Metales Ferrosos

Después del proceso de separación magnética, se obtendría alrededor de 28 ton de metales ferrosos triturados como subproducto, pero solo el 80% del material podrá ser valorizado. Al igual que pasa con el cobre, se estima un aumento de la población y un aumento de la valorización, por ende, este tipo de subproducto aumentaría al pasar los años.

En el mercado este tipo de material se compra a precios que van desde \$120 a los \$180 pesos chilenos por kilogramo, usando estos valores para calcular la venta de este material. Obteniendo

como resultado que al primer año el ingreso sería entre **66 UF** y **99 UF**, como se aprecia en la Tabla 5.31.

Tabla 5.31 Valorización de Metales Ferrosos

AÑOS	M. Ferrosos (kg)	M. ferrosos recuperables (kg)	Menor precio UF	Mayor precio UF
2025	-	-	-	-
2026	36069,3	21641,6	66	99
2027	118407,3	71044,4	217	326
2028	202505,7	121503,4	372	558
2029	288373,6	173024,2	530	794
2030	377001,8	226201,1	692	1.039
2031	412326,4	247395,9	757	1.136
2032	448500,4	269100,3	824	1.236
2033	485635,0	291381,0	892	1.338
2034	514514,9	308709,0	945	1.417
2035	552672,1	331603,3	1.015	1.522
2036	591720,0	355032,0	1.087	1.630
2037	641816,4	385089,9	1.179	1.768
2038	705322,6	423193,6	1.295	1.943
2039	747550,4	448530,2	1.373	2.059
2040	790729,6	474437,8	1.452	2.178

5.5.1.3 Placas base

Se estima que el primer año se recolectaran entre 0,2 y 0,5 toneladas de placas electrónicas y componentes de los equipos, donde cada componente posee un precio diferente, el cual va desde los \$900 a los \$11.000 por kilogramo, como se ve en el Anexo 7. Para calcular los ingresos por la venta de placas primero se determinó los equipos que presentaban alguna placa electrónica y después se definió los pesos mínimos y máximos que pueden tener cada una, para posteriormente con estas estimaciones calcular el menor y el mayor ingreso por estos componentes. Tabla 5.32

En el peor de los casos, estos habría un ingreso aproximado de 23UF mientras que el mejor de los casos, por estos componentes, sería 55 UF.

A modo de resumen, en la Tabla 5.33 los ingresos totales obtenidos anualmente por la venta de los distintos componentes de los RAEE tratados, dando un ingreso mínimo en el primer año de 246 UF y un ingreso máximo de 326 UF.

Tabla 5.32 Valorización placas base

AÑO	Menor precio	UF	Mayor precio	UF
2025	-	-	-	-
2026	\$887.597	23	\$2.167.901	55
2027	\$2.909.359	74	\$7.102.635	181
2028	\$4.975.719	127	\$12.147.255	310
2029	\$7.085.560	181	\$17.298.022	441
2030	\$9.268.793	236	\$22.623.146	577
2031	\$10.143.268	259	\$24.752.370	631
2032	\$11.039.576	282	\$26.934.064	687
2033	\$11.960.473	305	\$29.174.933	744
2034	\$12.687.000	324	\$31.008.280	791
2035	\$13.635.556	348	\$33.319.798	850
2036	\$14.607.034	373	\$35.686.485	910
2037	\$15.852.340	404	\$38.721.193	988
2038	\$17.430.239	445	\$42.567.067	1086
2039	\$18.483.549	471	\$45.130.704	1151
2040	\$19.561.344	499	\$47.753.274	1218

Tabla 5.33 Tabla resumen ingresos por venta

	Menor precio de venta	Mayor precio de venta
2025	-	-
2026	268	350
2027	879	1149
2028	1368	1817
2029	2202	2863
2030	2765	3623
2031	3065	4005
2032	3336	4359
2033	3612	4720
2034	3839	5016
2035	4125	5389
2036	4418	5771
2037	4793	6262
2038	5268	6883
2039	5585	7296
2040	5909	7719

5.5.2 Cuantificación de egresos

5.5.2.1 Costos de Inversión

Los costos de inversión son aquellos relacionados a la maquinaria que se utilizará junto con las estructuras de los puntos limpios, además de la adaptación del lugar para ser una bodega industrial. En relación a la maquinaria en la Tabla 5.34 se calculó cuanto es el valor de cada una de las maquinarias y equipos necesarios basándose en precios de licitaciones de estos equipos en Mercado Público y si los equipos no se encontraban, se consideró el precio del mercado más el costo de envío y transporte aproximado. Al ser exportaciones también se calculó el costo del derecho aduanero tomando en cuenta el valor total de la compra junto con el transporte y envío. Al realizar la suma de todos los valores da un precio final de \$21.374 USD.

Tabla 5.34 Inversión en maquinaria

MERCADO PÚBLICO			
	Cantidad	Precio unitario	Precio USD
Balanza digital	1	\$ 175.000	188
Cinta transportadora	2	\$ 3.600.000	3.868
Trituradora chipeador	1	\$ 5.333.333	5.730
Bodega de residuos peligroso	1	\$ 3.302.000	3.548
ALIBABA			
Separador Magnético	1		3.000
Detector de metales	1		3.000
Transporte y Envío			540
Derecho Aduanero (6%)			360
IVA (19%)			\$ 1.140
Total Parcial			\$ 8.040
PRECIO FINAL			\$ 21.374

Para efectos prácticos se trabajó en la unidad monetaria de UF por lo que es necesario hacer una conversión de unidades, tomando en cuenta el valor actual de la UF de junio del 2025, el cual es de \$39.212,19 pesos, lo que da un valor final de 507,19 UF. En caso de las campanas para RAEE en los puntos limpios, se tomaron como referencia los valores establecidos en las ofertas de mercado entre el año 2024 y 2025, dando los valores presentes en la Tabla 5.35 donde se calcula el IVA para obtener el precio final.

Tabla 5.35 Inversión en puntos limpios

MERCADO PÚBLICO			
	Cantidad	Precio unitario	Precio CLP
Campanas	12	\$ 715.000	\$8.580.000
IVA (19%)			\$1.630.200
Precio Final			\$10.210.200

Al igual que con el precio final de las maquinarias, se realizó la conversión de pesos chilenos (CLP) a Unidades de Fomento lo que nos da un valor de 260,45 UF. Dando un total de 767,64 UF para la inversión inicial del centro de reciclaje.

El terreno actualmente no cuenta con una infraestructura tipo bodega(no dispone de techo, lugar de oficina o conexiones básicas) por lo que será necesario realizar la instalación completa de estos elementos, por lo que al consultar en distintos sitios web como Metalcon, GalponChile, Constructora Acur, se obtiene el valor de \$550.000 por m², estimando que se construirá en 300 m² lo que permite estimar un valor de inversión en infraestructura de \$165.000.000 y al pasarlo a Unidad de fomento da 1.403 UF aproximadamente. En la Tabla 5.36 se resume todos los costos de inversión estimados.

Tabla 5.36 Tabla resumen costos de inversión

	Cantidad	Precio Unitario	Precio UF
Balanza digital	1	\$ 175.000	4
Cinta transportadora	2	\$ 3.600.000	184
Trituradora chipeador	1	\$ 5.333.333	136
Bodega de residuos peligroso	1	\$ 3.302.000	84
Separador Magnético	1	\$ 2.802.360	71
Detector de metales	1	\$ 2.802.360	71
Transporte y Envío		\$ 504.424	13
Campanas	12	\$ 715.000	219
Estructura bodega	1	\$165.000.000	4.209
Costo aduanero (6%)			9
IVA (19%)			948
TOTAL			5.949

5.5.2.2 Costos Operacionales

Los costos operacionales se dividieron en costos fijos, relacionados a los sueldos de los trabajadores y a las compras de insumos y equipos de protección personal, y costos variables, los cuales se asociaron al consumo eléctrico de las maquinarias a utilizar.

○ Costos fijos

Para el caso de los sueldos de los trabajadores se revisaron los valores existentes en el mercado mediante las ofertas de trabajo publicadas en sitios como LinkedIn y similares. Además, se tomó en consideración el sueldo mínimo para el año 2025, el cual es de \$529.000 CLP. En la Tabla 5.37 se muestran los puestos de trabajo, la cantidad de personas y los sueldos para cada puesto de manera mensual.

Tabla 5.37 Costos por sueldos

Cargo	Sueldo de Mercado	Cantidad de Personal	Total (CLP)	Total (UF)
Supervisor del proyecto	\$1.000.000	1	\$1.000.000	26
Técnico electrónico	\$700.000	1	\$700.000	18
Operario	\$529.000	3	\$1.587.000	40
Prevencionista de riesgos	\$900.000	1	\$900.000	23
TOTAL			\$4.187.000	107

El total mensual de \$4.187.000 CLP, lo que al año correspondería a \$50.244.000. Al transformar estos valores a UF da 1.282 UF.

Con relación a los costos asociados a los implementos de los trabajadores, como lo son maxisacos, elementos de protección personal EPP y herramientas de trabajo, se revisaron los valores unitarios para cada uno y se multiplicaron por la cantidad de trabajadores. Para calcular el caso de las maxisacos se consideró tratar inicialmente 4.000 kg por mes, de los cuales se usarán maxisacos, para almacenar cobre, vidrio, plásticos, metales ferrosos y metales no ferrosos, por lo que se consideraron maxisacos de 500 kg por mes para cada uno, más los dos tambores de 200 litros para pilas y residuos peligrosos.

El precio final de la compra es de \$2.233.597 CLP, como se ve en la Tabla 5.38, este cálculo se estimó en el periodo de un año, ya que los otros cálculos se hicieron de la misma manera y al pasarlos a unidad de fomento, da un valor de 56,97 UF. En los años 2030 y 2037 estos costos incrementarán debido la contratación de nuevo personal para hacer frente al aumento en la cantidad de residuos que se espera tratar.

Tabla 5.38 Costos por equipamiento

Tipo	Cantidad	Precio Unitario (CLP)	Total (CLP)	Total (UF)
Guantes.	6	\$5.000	\$30.000	0,77
Zapatos de Seguridad.	6	\$40.990	\$245.940	6,27
Antiparras.	6	\$2.990	\$17.940	0,46
Overoles	6	\$10.990	\$65.940	1,68
Cascos	6	\$11.990	\$71.940	1,83
Pack de mascarillas	6	\$14.990	\$89.940	2,29
Audifonos para protección auditiva	6	\$9.990	\$59.940	1,53
Kit primeros auxilios	6	\$8.990	\$53.940	1,38
Destornilladores multipuntas y eléctricos	4	\$15.000	\$60.000	1,53
Alicates de corte y pinzas de precisión	4	\$17.000	\$68.000	1,73
Llaves Allen y Torx	4	\$17.000	\$68.000	1,73
Cuchillas para abrir recubrimientos	4	\$12.000	\$48.000	1,22
Maxisacos 1000 kg	48	\$4.000	\$192.000	4,90
Sacos 50 kg	24	\$308	\$7.392	0,19
Tambores 2 litros	2	\$69.000	\$138.000	3,52
Contenedores	60	\$11.000	\$660.000	16,83
		IVA (19%)	\$356.625	9,10
Precio Final			\$2.233.597	56,97

- Costos variables

- Consumo eléctrico

Los costos variables de este proyecto están relacionado al funcionamiento de las maquinarias y al consumo eléctrico de estas, por lo que para ver el consumo mensual de estas se consideró SU potencia, estimado con las horas y los días de funcionamiento. Con los datos de consumo se realizó el cálculo del valor considerando el precio de \$110 pesos chilenos por kWh. Tabla 5.39.

Tabla 5.39 Consumo eléctrico por mes

	Potencia (kW)	Horas de trabajo a la semana	Semanas trabajadas	Consumo mensual (Kw/H)	Precio Consumo (CLP)
Cinta transportadora	0,75	24	4	72	\$7.920

Trituradora chipeador	7,5	24	4	720	\$79.200
Separador Magnético	2,2	24	4	211,2	\$23.232
Detector de metales	2,2	24	4	211,2	\$23.232
Total					\$ 133.584

Para estimar los costos energéticos totales del proceso, se consideró el consumo de cada equipo operando a su capacidad máxima durante 24 horas semanales, o sea 3 días de jornada laboral, durante 4 semanas mensuales. Siendo la trituradora la que limita el proceso, ya que permite procesar 576 ton anuales. Esto quiere decir que centro de valorización presenta un gasto energético de \$133.588. La capacidad máxima se supera en el año 2030, por lo que en dicho año se incorpora una nueva máquina trituradora y lo mismo pasa en el año 2037, incorporándose al proceso otra de estas máquinas, lo que en ambos casos se considera un aumento de energía, volviendo a hacer en estos años el cálculo de la energía consumida a su máxima capacidad como se ve en la Tabla 5.40.

Tabla 5.40 Consumo eléctrico total

Año	RAEE a tratar (ton)	Costos de energía en CLP	Total en UF
2025			
2026	68	\$200.505	5,1
2027	222	\$658.201	16,8
2028	379	\$1.125.686	28,7
2029	540	\$1.603.008	40,9
2030	706	\$1.947.264	49,7
2031	772	\$2.247.760	57,3
2032	840	\$2.445.230	62,4
2033	909	\$2.647.976	67,5
2034	964	\$2.807.970	71,6
2035	1036	\$3.016.530	76,9
2036	1109	\$3.229.991	82,4
2037	1203	\$3.503.808	89,4
2038	1323	\$3.850.888	98,2
2039	1402	\$4.081.845	104,1
2040	1483	\$4.318.038	110,1

- **Licitación para el transporte de residuos**

El servicio de transporte de los residuos, desde los puntos limpios hasta el centro de valorización y hacia los destinatarios finales, se realizará mediante procesos de licitación pública, permitiendo seleccionar operadores, evaluando los mejores costos. Sin embargo, a pesar de este mecanismo, el transporte representa un gasto relevante, por lo que se calculó el valor aproximado según las toneladas de residuos a transportar y la frecuencia de estos.

Primero, se decidió utilizar camiones de entre 3 a 8 ton, debido a las calles y los lugares donde deben ingresar, por lo que se estimó que deben hacer recolecciones en los puntos limpios una vez por semana en todas las comunas, sin contar las campañas, ya que por temas logísticas estas se pueden realizar al mismo tiempo que se hace la recolección de los puntos limpios. Se buscaron licitaciones para RAEE o para residuos voluminosos debido a las características de estos, encontrado una licitación donde indicaba el precio por tonelada y además que era realizada en varias comunas,

como es el caso de este sistema de gestión entregando un valor por ton de residuo a transportar de \$31.617 (**ANEXO 9**). En relación a los residuos peligrosos, se tomó en cuenta la cantidad a transportar de refrigeradores, calculando un volumen aproximado de 0,8 m³, por lo que el primer año se necesitaría un camión de 5 ton para transportarlos por aproximadamente 50km, dando un valor de \$3.600.000 debido a que este transporte se realizará 4 veces al año para alcanzar los volúmenes estimados. En la Tabla 5.41 se ve el resto de años.

- Destinatario final de residuos peligrosos

En relación a los residuos peligrosos, debido a estos no pueden ser almacenados más de 6 meses, no cumplen con los pesos requeridos para su valorización, por lo que solo se tomó en cuenta la cantidad de aparatos intercambiadores de temperatura que deben ser llevados a un destinatario final. Consultando en el mercado, el precio por tonelada es de 8 UF, con un valor mínimo de 4 UF.

Tabla 5.41 Estimación licitaciones para el transporte de residuos

	Ton por mes	Precio mensual	Precio anual	Residuos peligroso	Total	UF
2025						
2026	5,6	\$177.902	\$2.134.826	\$3.600.000	\$5.734.826	146
2027	18,5	\$584.003	\$7.008.038	\$4.320.000	\$11.328.038	289
2028	31,6	\$998.789	\$11.985.470	\$7.200.000	\$19.185.470	489
2029	45	\$1.422.303	\$17.067.636	\$8.640.000	\$25.707.636	656
2030	58,8	\$1.859.643	\$22.315.711	\$12.960.000	\$35.275.711	900
2031	64,3	\$2.034.117	\$24.409.407	\$12.960.000	\$37.369.407	953
2032	70	\$2.212.818	\$26.553.813	\$12.960.000	\$39.513.813	1.008
2033	75,8	\$2.396.294	\$28.755.523	\$12.960.000	\$41.715.523	1.064
2034	80,4	\$2.541.080	\$30.492.963	\$12.960.000	\$43.452.963	1.108
2035	86,3	\$2.729.818	\$32.757.812	\$12.960.000	\$45.717.812	1.166
2036	92,4	\$2.922.990	\$35.075.881	\$14.400.000	\$49.475.881	1.262
2037	100,3	\$3.170.781	\$38.049.374	\$14.400.000	\$52.449.374	1.338
2038	110,2	\$3.484.872	\$41.818.469	\$14.400.000	\$56.218.469	1.434
2039	116,8	\$3.693.878	\$44.326.531	\$14.400.000	\$58.726.531	1.498
2040	123,6	\$3.907.621	\$46.891.446	\$21.600.000	\$68.491.446	1.747

5.5.3 Criterios de selección y análisis de sensibilidad

Ya que existen dos escenarios relacionados con los precios de venta de los componentes de los RAEE, se realizaron dos flujos de caja para cada uno de estos, tomando en consideración ingresos y costos. En este análisis no se considera la depreciación, dado que se trata de un proyecto municipal con enfoque ambiental y social, debido a que el proyecto contribuye a la disminución de residuos electrónicos que terminan en vertederos o rellenos sanitarios, se fomenta la educación ambiental a través de las campañas de reciclaje, los reacondicionamientos de los equipos serán entregados de forma gratuita a las familias que lo necesiten, reduciendo la brecha digital y promoviendo la inclusión social, entre otros. Es por esto que los cálculos se han realizado bajo una lógica de evaluación social, donde la depreciación no constituye un costo real de recursos utilizados.

5.5.3.1 Flujo de caja

5.5.3.2

- **Mejor escenario**

En el **Anexo 7** se presenta el mejor escenario considerando el mayor precio de venta de los componentes y los menores costos. En este caso se ve como hay una fuerte inversión inicial, pero se va regularizando con el pasar de los años, teniendo ingresos para las 3 comunas de manera anual. A pesar de la gran inversión inicial, los ingresos en las comunas aumentan progresivamente, generando ganancias a partir del año 2029.

- **Peor escenario**

También en el **Anexo 7** se muestra el segundo caso, donde se considera el menor precio del mercado y se aplicó un incremento del 10% a los costos, considerando inflación futura, riesgo de ineficiencias y posibles alzas en insumos o en los precios de los equipos. Aquí pasa algo parecido al anterior, generando ganancias a partir del año 2032 y volviendo a tener pérdidas en el año 2036.

- **Indicador VAN**

El indicador económico “Valor Actual Neto” se calculó para ambos escenarios y además se consideró una tasa de descuento del 5,5%, cuyos resultados se ven en la **Tabla 5.42**

Tabla 5.42 VAN para los escenarios del proyecto

VAN para escenario favorable	7253 UF
VAN para escenario desfavorable	-4797,7 UF

El en primer caso el VAN da positivo lo que indica que es el sistema es rentable y se recomienda llevarlo a cabo. En cambio, si se consideran los precios más bajos del mercado el proyecto deja de ser rentable

6. DISCUSIÓN

El crecimiento poblacional va de la mano con el aumento de consumo de bienes y servicios, lo que permite predecir un aumento en los residuos generados por dichas poblaciones. Estos residuos van a parar mayoritariamente a los vertederos, por lo que es importante que las entidades públicas realicen acciones para aumentar el porcentaje de residuos que se valoricen.

Los datos para realizar el presente estudio se tomaron respecto a una muestra puntual, identificando el contexto actual en el que se encontraban las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua, buscando que la muestra sea lo más aleatoria posible, para lograr así obtener una muestra representativa. De la etapa de diagnóstico se observó que en la comuna de Graneros existe un índice de pobreza mayor al de las otras comunas, además la cantidad de personas en total que habitan en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua es de 81.364 y se proyecta que para el año 2040 habrá una población de 96.317 habitantes.

Los datos obtenidos a partir de la encuesta muestran que estas comunas tienen problemas en relación a los RAEE, especialmente en su disposición. Al contrastar el cálculo realizado a partir del diagnóstico de RAEE producido por las comunas con el estudio realizado por la CONAMA en el año 2009, en donde se indica que a nivel nacional se esperaba que se generarían en el año 2020 16.050 toneladas de RAEE, si se estima que en el año 2020 hubo una población aproximada de 19,37 millones, daría que por persona produce 0,82 kg de RAEE, se puede ver que para el año 2025 solo los residuos que se valorizaran equivaldrían a 0,4 kg por persona (CONAMA, 2009). Estos resultados se explican debido que en el informe de la CONAMA no se contemplaron aparatos como refrigeradores o lavadores. Además, deja en evidencia la necesidad de gestionar correctamente estos residuos, debido a que presentan un crecimiento exponencial en los últimos años.

Es importante señalar que se evidenció una preocupación por parte de las poblaciones encuestadas por los residuos eléctricos y electrónicos, además de evidenciar un problema estructural, ya que nadie actualmente se hace cargo de estos residuos y es muy difícil para las familias puedan eliminarlos de forma adecuada, por lo que se requiere un análisis del porqué a ocurrido esto, que pasa con los demás residuos, de si estos se gestionan correctamente y si ha generado alguna problemática ambiental.

Para realizar la categorización de los RAEE en el presente trabajo se utilizan los datos obtenidos a partir de la encuesta, donde se muestra el valor de recambio de los aparatos y los equipos representativos por unidad familiar en las comunas de estudio, tomando los equipos con una representatividad mayor al 80%, por lo que los equipos que no cumplían con este criterio quedaron fuera de la propuesta del sistema de gestión. Además, los componentes que se dimensionaron en el flujo másico solo constituyen un valor basado en la muestra y se centró solo en la valorización de los residuos domésticos, pero que hay una mayor cantidad de RAEE generados, como lo pueden ser aparatos de oficinas o de uso comercial. Por lo que este sistema de valorización sirve como una

estimación base que se puede ampliar a los diferentes generadores de residuos, como lo son industrias, colegios, hospitales, etc.

De los componentes obtenidos a partir del flujo másico se destacaron los metales preciosos como el oro, plata y cobre, por lo que, para establecer la propuesta del sistema de gestión de los RAEE, primero se analizaron diversas tecnologías para la obtención de al menos uno de estos elementos. En relación a la propuesta, a pesar de las varias tecnologías de alta complejidad como la pirometalurgia o la hidrometalurgia, por ejemplo, estas requieren grandes inversiones, por lo que se prefirió una solución descentralizada, adaptable y de bajo costo, centrada en el pretratamiento, reacondicionamiento y recolección estratégica.

Con esta base se buscaron opciones para la etapa de recolección donde se compararon otras comunas con características parecidas, como lo son Rengo, Doñihue y San Vicente de Tagua Tagua, llegando a una propuesta de valorización mixta donde se realicen campañas para recolectar residuos y además existan puntos limpios destinados a estos, todo esto junto a campañas educativas que hagan partícipes a las comunidades, teniendo como eje central la educación ambiental. En la “Guía de Educación Ambiental y Residuos” del Ministerio del Medio Ambiente (2015), se reconoce la importancia de los programas de fortalecimiento de la educación ambiental para el manejo de los residuos, lo que conllevaría a mayores tasas de recuperación de los residuos a largo plazo. En relación al lugar de donde se establecerá el centro de valorización, se querían evaluar diversas opciones, pero la única comuna que proporcionó un lugar para realizar este sistema fue la comuna de Mostazal, además no se contempló el transporte debido a que las comunas señalaron que se este se haría a través de licitaciones.

Entonces la propuesta integra recolección permanente mediante puntos limpios, campañas de educación y sensibilización, y una infraestructura para clasificación, reacondicionamiento y pretratamiento, aprovechando el valor económico que tienen estos residuos, permitiendo aportar a disminuir los índices de pobreza que existen en estas comunas, generando empleo local, fortalecer capacidades técnicas y reduciendo significativamente el volumen de residuos que deben enviarse a disposición final.

Para que la propuesta fuera más completa, primero se identificó la normativa ambiental aplicada al sistema, determinando que para poder llevarse a cabo lo propuesto debiese ser evaluado como una Declaración de Impacto Ambiental. Además, se consideraron los perfiles laborales para las personas que trabajarían en el proyecto, donde además de los conocimientos técnicos requeridos para ciertas labores, lo cual abre la posibilidad de empleo a diversos tipos de personas que están en búsqueda de una oportunidad laboral.

Finalmente, se realizó la evaluación económica, la cual inició con una cuantificación de los ingresos que se pudiesen obtener con la venta de los componentes de los RAEE, como lo son el cobre, metales ferrosos y las placas de base a los diversos mercados, concentrados principalmente en Santiago, debido a la cercanía de los sectores. En este punto se evidencia la alta rentabilidad de los componentes como el cobre, siendo el elemento con mayor valor en relación a su peso del proceso.

Si bien se producen otro tipo de residuos, como lo son vidrio, plástico y metales no ferrosos, estos son más difíciles de valorizar, debido a la mezcla de componentes. Como es el caso de los plásticos que, si fueran únicamente PET, sería un residuo valorizable, pero en este caso cuenta con PVC, PET, PUR, entre muchos otros. No obstante, idealmente en un futuro estos materiales podrían ser separados y tratados de manera diferente, lo que permitiría su valorización, logrando un modelo más sostenible y circular.

En cuanto a la cuantificación de los costos, se vio que los valores más altos se encuentran en la inversión inicial debido a la adquisición la maquinaria, campanas para los residuos y de la infraestructura del lugar donde se emplazará el proyecto. Además, en los años 2029 y 2036 se volvió a invertir en maquinaria, para alcanzar a los flujos de residuos estimados.

Para los costos de operación, se vio que los valores más considerables están relacionados a los sueldos de los trabajadores, y que al igual que pasa con la maquinaria, para dar abasto a la cantidad de residuos que se planea valorizar, se incorporan en los años posteriores (2030 y 2037) nuevo personal, lo que aumentarían los costos relacionados a los sueldos e implementos.

Con estos ingresos por venta y costos de inversión y operación, además de considerar otros costos como los relacionados al costo eléctrico, compra de implementos y las licitaciones estimadas para el transporte, se realizaron dos flujos de caja considerando el mejor escenario para un precio de venta mayor y costos menores; y el peor con menor ingreso y mayores costos. Al evaluar la viabilidad del sistema mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), se determinó que en ambos casos el VAN en el primer escenario daba un valor positivo de 7253 UF, indicando que es atractivo y económicamente rentable, mientras que en el peor escenario da un VAN negativo de -4797,7 UF, lo que indica que el proyecto no resulta rentable con los datos esperados.

A pesar de esto se debe tomar en cuenta que el sistema de valorización no solo entregaría beneficios económicos, sino también sociales y ambientales. Promoviendo la generación de empleo y fortalece la sensibilización comunitaria en relación con las prácticas sostenibles y responsables con el medio ambiente, además de intentar reducir de cierta manera la brecha tecnológica que existe debido a la tasa de pobreza, con la oportunidad de entregada aparatos que le sirvan para realizar sus actividades.

Desde una perspectiva ambiental, claramente el proyecto busca reducir la cantidad de residuos generados, fomentando la economía circular y así disminuir la presión sobre los recursos naturales y la contaminación del suelo y el agua asociados a la mala gestión de los residuos eléctricos y electrónicos.

Además, si forman una asociación municipal, podrían postular a diversos fondos que les permitiría financiar los costos de inversión, los cuales son los más altos del sistema. Al asociarse pueden postular a fondos como El Fondo para el Reciclaje (FPR) el cual es un concurso dirigido directamente a entidades públicas con un presupuesto aproximado de \$14 millones o ser parte de un Sistema de

Gestión (SdG), los cuales son sistemas de diversos actores en los que las municipalidades pueden ser parte.

Si bien el proyecto es beneficioso para las comunidades, la mayor dificultad es el compromiso de las tres comunas. Como la falta de voluntad política o la limitada asignación de recursos. Entonces para que la propuesta sea viable a largo plazo, es necesario que las municipalidades asuman un rol activo, estableciendo acuerdos formales y velando por el cumplimiento de estos. Sin este compromiso institucional, existe el riesgo de que las iniciativas se diluyan con el tiempo o dependan exclusivamente de esfuerzos individuales o de organizaciones externas.

7. CONCLUSIÓN

En base a los objetivos establecidos, se realizó un análisis integral que buscó abordar, entender y proponer soluciones en torno a la gestión de residuos eléctricos y electrónicos de las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua. A lo largo de esta investigación, se llevó a cabo un trabajo que incluyó un diagnóstico inicial de la situación actual hasta la formulación de un sistema de gestión para estos residuos, permitiendo hacer una proyección de los RAEE que se generarán. Esta proyección, junto con el análisis de infraestructura, costos y capacidades locales, permitió diseñar un sistema adaptado a la realidad de las comunas.

La caracterización y categorización de los RAEE en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua permitió cumplir con la identificación de los aparatos eléctricos y electrónicos presentes más frecuentemente en una vivienda estándar, siendo esta de 4 personas, y clasificarlos según la Ley. Además, los residuos más comunes corresponden a pequeños aparatos eléctricos, equipos de telecomunicaciones, y monitores o pantallas, pero todos los residuos generados son prioritarios a gestionar en un futuro sistema de reciclaje y reacondicionamiento.

La estimación del flujo másico de RAEE que serían destinados para valorización entre los años 2025 y 2040 demuestra que las comunas estudiadas enfrentan un aumento significativo en la generación de residuos tecnológicos, logrando proyectar un aumento de más del doble cada año de los residuos que serían tratados. Este es el mejor de los casos debido a las tasas de valorizaciones crecientes cada año.

La propuesta de un sistema de gestión para los RAEE en las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua representa una alternativa técnicamente viable, ambientalmente responsable y socialmente integradora, alineada con un enfoque de economía circular. Este enfoque no solo contribuye a mitigar el impacto ambiental de los residuos electrónicos, sino que también promueve la educación ambiental y la inclusión social como ejes fundamentales, el cual se ajusta a las necesidades de cada territorio, considerando experiencias regionales previas que han demostrado la factibilidad de una gestión colaborativa. En conjunto, esta propuesta sienta las bases para una gestión sostenible de los RAEE a nivel local.

Finalmente se realizó la evaluación de la viabilidad económica del sistema propuesto, calculando costos de inversión de aproximadamente 5949 UF, costos fijos desde 1341 UF y los costos variables que empiezan en las 1088 UF en el escenario más favorable. En contraste, en el escenario menos favorable, estos costos empiezan en 1472 y 1197 UF respectivamente. También proyectamos los posibles ingresos por la venta de los diferentes componentes al momento de valorizar los RAEE, los cuales se evaluaron según el menor y el mayor precio del mercado, teniendo un ingreso inicial desde las 268 UF y 350 UF. La evaluación del sistema de gestión mediante el indicador Valor Actual Neto (VAN) dio como resultado en el primer caso un valor de 7253 UF siendo el escenario optimista, , mientras que en el escenario pesimista da un VAN negativo de -4797,7 UF, lo que indica que el proyecto no resulta económicamente rentable.

8. BLIBIOGRAFÍA

Albers, C. (2024)^a. *Comuna de Codegua*. Rulamahue. Recuperado de <https://rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06106.html>

Albers, C. (2024)^b. *Comuna de Graneros*. Rulamahue. Recuperado de <https://rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06102.html>

Albers, C. (2024)^c. *Comuna de Mostazal*. Rulamahue. Recuperado de <https://rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06102.html>

Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2015). *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, flows, and resources*. United Nations University.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016). *Ley 20.920: Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje*. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>

Boletín Oficial del Estado. (2003). *Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2003/037/L00024-00039.pdf>

Cabildo, M., Claramunt, R., Cornago, M., Escolástico, C., Santos, S., Farrán, M., Castillo, D. (2008). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Madrid: Editorial UNED.

Casas, J. de J., Cerón, K., Vidal, C. J., Peña, C. C., & Osorio, J. C. (2015). Priorización multicriterio de un residuo de aparato eléctrico y electrónico. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 172–197.

Centro de Gestión Ambiental y Energética (CEGAE). (2025). *Manual operativo de planta RAEE municipal*. Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado de <http://cegae.unne.edu.ar/articulos/ManualOperativoPlantaRAEEMunicipal.pdf>

Cui, J., & Forssberg, E. (2003). *Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review*.

Ding, W., et al. (2019). *Emerging Technologies for the Recovery of Valuable Metals from E-waste*.

Ecológica. (s.f.). *Ley REP en Chile: Todo lo que necesitas saber*. Recuperado de <https://www.ecologica.cl/ecologica-ley-rep/>

Elías, A., Godoy, F., & Sanhueza, A. (2009). *Recuperación de metales preciosos desde residuos electrónicos mediante procesos hidrometalúrgicos*.

Fernández Protomastro, G. (2013). *Minería urbana y la gestión de los recursos electrónicos* (1a ed.). Buenos Aires: Grupo Uno.

Flores Ferrada, C. (2022). *Principales desafíos para implementar la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Chile*. Universidad del Desarrollo. Recuperado de <https://repositorio.udd.cl/bitstreams/19aa013f-2e51-405d-8ac1-f297d5caab73/download>

Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2024). The Global E-waste Monitor 2024 (4.ª ed.) [Informe en PDF]. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) y United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/12/GEM_2024_ES_11_NOV-web.pdf

Fujimori, T., & Takigami, H. (2014). Pollution distribution of heavy metals in surface soil at an informal electronic-waste recycling site. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(1), 159–168.

Oblasser, A. (2025). *Residuos electrónicos en Chile: Desafíos y oportunidades*. Recuperado de <https://fch.cl/iniciativa/residuos-e/>

Wolfensberger, M. (2025). *Urge implementar una economía circular...* Recuperado de <https://fch.cl/columna/urge-implementar-una-economia-circular-para-prevenir-los-efectos-de-la-industria-electronica-en-la-salud-humana-el-medioambiente-y-la-biodiversidad>

Fundación Chilenter. (2013). *Manejo de residuos electrónicos a través del sector informal en Santiago de Chile*. Recuperado de https://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/Manejoresiduoselectronicos_sectori_nformal_SantiagodeChile.pdf

Global E-Waste Monitor. (2024). *Monitor global de residuos electrónicos 2024*. Recuperado de https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/12/GEM_2024_ES_11_NOV-web.pdf

Hu, H., Zeng, X., Dai, C., Xie, B., Zhang, J., Xu, X., & Huo, X. (2020). A decade-long comparison of heavy metal(loid)s... *Water*, 16(22), 3226.

Ilankoon, I. M. S. K., et al. (2018). *E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices*.

Kaya, M. (2016). *Recovery of metals from electronic waste by physical and chemical recycling processes*.

Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H. (2013). *Electronic waste management approaches*.

López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodología de la Investigación social Cuantitativa*. Universitat Autònoma de Barcelona.

Merchán-Carreño, E. J., Campozano-Pilay, Y. H., & Figueroa-Morán, G. L. (2020). *El manejo de los desechos tecnológicos y su impacto ambiental*.

Ministerio de Educación de Chile. (2021). *Manual para la valorización de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)*. Recuperado de <https://convivenciaparaciudadania.mineduc.cl/wp->

[content/uploads/2021/06/Manual-para-la-valorizacion-de-residuos-de-Aparatos-Elctricos-y-Electronicos-RAEE-Valorizando-nuestros-residuos-1_compressed.pdf](#)

Ministerio de Minería del Gobierno de Chile. (2016). *Fundamentos de Procesos de Fundición y Refinación de Cobre*.

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Ministerio del Medio Ambiente inició consulta ciudadana....* Recuperado de <https://mma.gob.cl/ministerio-del-medio-ambiente-inicio-consulta-ciudadana-de-anteproyecto-que-establece-metas-de-recoleccion-y-valorizacion-de-pilas-y-aparatos-electricos-y-electronicos/>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2018). *Guía de educación ambiental y residuos*. Recuperado de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-Educacion-Ambiental-y-Residuos.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2021). *Diagnóstico de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Recuperado de <https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/08-Diagnostico-estudios-RAEE.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2021). *Marco regulatorio de residuos en Chile (2018-2020)*. Recuperado de <https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/04-Marco-regulatorio-estudio-2018-2020.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2021). *Residuos en Chile: Diagnóstico y estrategias*. Recuperado de <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/10-residuos.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2025). *Ley REP*. Recuperado de <https://economiacircular.mma.gob.cl/ley-rep/>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2025). *Nueva normativa que incluye la estandarización de colores*. Recuperado de <https://santiagorecicla.mma.gob.cl/nueva-normativa-que-incluye-la-estandarizacion-de-colores-y-elementos-visuales-para-los-contenedores-de-residuos/>

Municipalidad de Codegua. (2021). *Plan de desarrollo comunal (PLADECO) Codegua 2021-2028*. Recuperado de <https://www.municipalidaddecodegua.cl/municipalidad/transparencia/archivos/particip/PLADECO%20CODEGUA%202021-2028.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Residuos electrónicos y salud pública*. Recuperado de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341783/9789240028807-spa.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *World health statistics 2021*. Recuperado de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341718/9789240023901-eng.pdf>

Pontificia Universidad Católica de Chile. (2024, 5 de julio). *Renchúfate con el planeta: La iniciativa UC-Duoc UC para reciclar residuos eléctricos y electrónicos*. Sustentable UC. Recuperado de <https://sustentable.uc.cl/2024/07/05/renchufate-con-el-planeta-la-iniciativa-uc-duoc-uc-para->

[reciclar-residuos-electricos-y-electronicos/#:~:text=Durante%20el%202023%20en%20Chile,recolectan%20y%20se%20reciclan%20correctamente](#)

Quinzio Arenas, I. (2022, marzo 2). *Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: solo un 5% son reciclados en Chile*. Universidad Técnica Federico Santa María. Recuperado de <https://usm.cl/noticias/residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-solo-un-5-son-reciclados-en-chile/>

Sahajwalla, V., & Gaikwad, V. (2018). *The present and future of e-waste plastics recycling*.

Unión Europea. (2012). Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/es/LSU/?uri=CELEX:32012L0019&qid=1487181496666>

Quinzio Arenas, I. (2025). *Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: Solo un 5% son reciclados en Chile*. Universidad Técnica Federico Santa María. Recuperado de <https://usm.cl/noticias/residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-solo-un-5-son-reciclados-en-chile/>

Urbina Joiro, H. (2015). *Basura electrónica: cuando el progreso enferma al futuro*. Medicina, 37(1), 39–49. Recuperado de <https://doaj.org/article/a6c3ccde70b64860915d4f5ac6d729c7>

Wagner, M., Baldé, C. P., Luda, V., Nnorom, I. C., Kuehr, R., & Iattoni, G. (2022). *Monitoreo regional de los residuos electrónicos para América Latina: Resultados de los trece países participantes en el proyecto UNIDO-GEF 5554*. UNU/UNITAR. Recuperado de https://residuoselectronicosal.org/wp-content/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final-1.pdf Zeng, X., Xu, X., Qin, Q., Ye, K., Wu, W., & Huo, X. (2018). Heavy metal exposure has adverse effects... *Environmental Geochemistry and Health*, 41(1), 309–321

9. ANEXO

5.6 ANEXO 1

Tabla 9.1 Componentes de encontrados en los RAEE

Material (grs)	Aparatos intercambiadores de temperatura	Monitores, pantallas de superficie superior a los 100 cm2	Lámparas	Grandes aparatos	Pequeños aparatos	Aparatos de telecomunicaciones pequeños	Laptop	Celulares
ABS		1345					1345	
Ag		0,6				0,5	1	0,25
Al	1255	482,5	8,1	910	116,8	58,1	482,5	58,1
As								
Au		0,1				0,1	0,5	0,05
Be								
Bi		0,3					0,3	
Br		2,4			0,1	1,5	2,4	1,5
Cd								
Cerámicas		244	0,5	37,6	7,4	20,1	244	20,1
Cl		0,3			0,3		0,3	
Co		0,1			0,2	0,3	65	0,3
Cr		1,3				0,6	1,3	0,6
Cono de vidrio CTR		1110,2					1110,2	
Pantalla de cristal CTR		2241,7					2241,7	
Cu	958	536,6	2,8	1736	540	159	500	159
Epoxi		60,4	0,2		6		60,4	
Fe	7848	766,8	0,1	4,9	291,8	80,3	766,8	80,3
Polvo fluorescente			2,4					
Vidrio	285	945,6		403	2,1		945,6	
Vidrio blanco de baja calidad			9,9					
Hg								
Vidrio blanco de alta calidad			114					
Vidrio LCD		131,4			0,1	4	131,4	4
Cristales líquidos						0,2		0,2
Mn								
Ni		5,5			1,2	3,2	5,5	3,2
Aceite	205			1,7	3,2			
Otros/inertes	420	263		11920	55,6	80,1	263	80,1
Otros plásticos					1,3	1		1
Pb		8,6	0,1	0,8	0,7	1,1	8,6	1,1
PCB				0,7				
Pd							0,08	0,09
Plásticos generales	3240	1866,3	3	8514	1854,5	1240	1866,3	1240
PE (HD)		159					159	
PET		31,8					31,8	
PS (poliestireno)	2660				0,1			
PUR	3750			169	0,2			
PVC	24	106,9		191	6,4	8,6	106,9	8,6
Sb		1,3			0,1	0,2	1,3	0,2
Sn		4,1	0,1	25,5	1,1	4	4,1	4
Acero inoxidable	1000		0,5	907	107,3	51,3		51,3
Acero de baja aleación	16415	2071,2	2,4	29411	1599,4	2470	2071,2	2470
Ciclopentano	47							
Isobutano	11							
CFC11	245							
CFC12	97,2							
Wood		70,3			110,5		70,3	
5.7 Zn		10,9		7,7	1,3	40	10,9	40

5.8

5.9

5.10 ANEXO 2 Mapa de las comunas

De la figura 9.1 a la 9.3 se presentan los mapas de la distribución poblacional de las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua

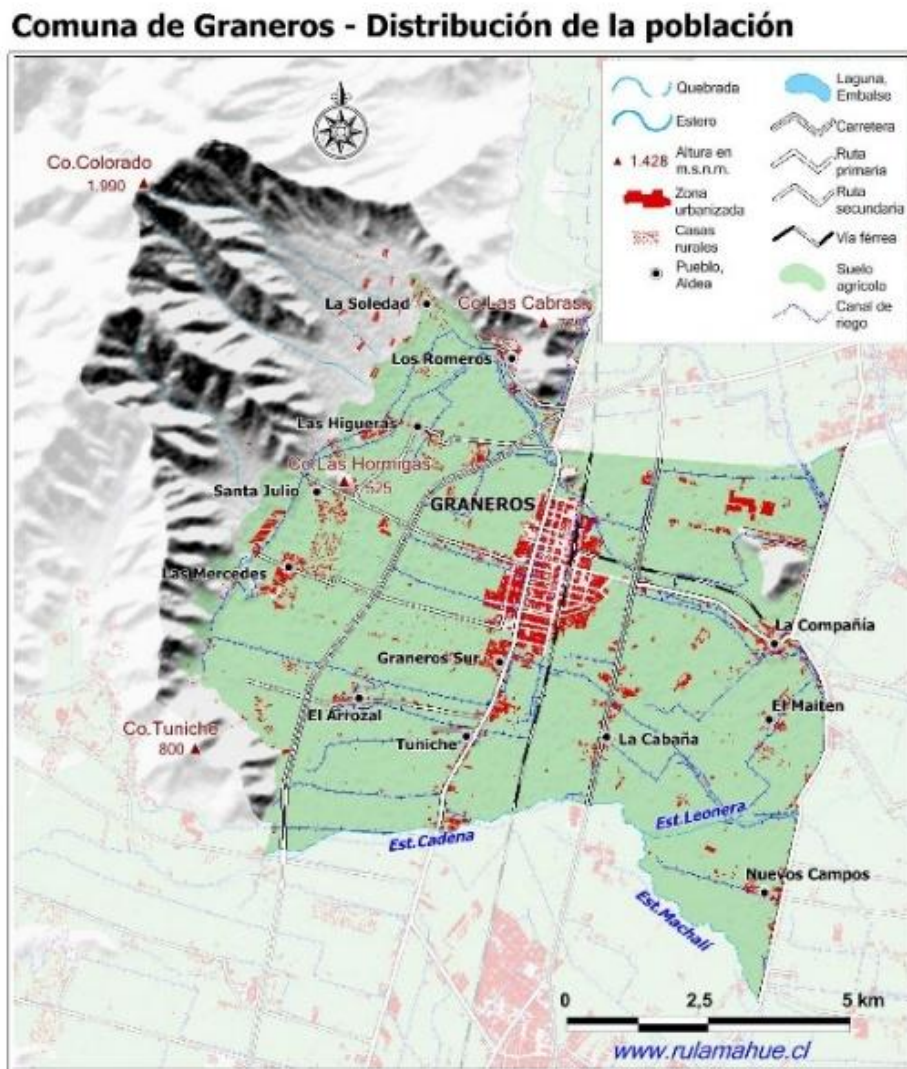


Figura 9.1 Mapa poblacional de la comuna de Graneros.

Fuente: Rulamahue (<https://rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06106.html>)

Comuna de Codegua - Distribución de la población

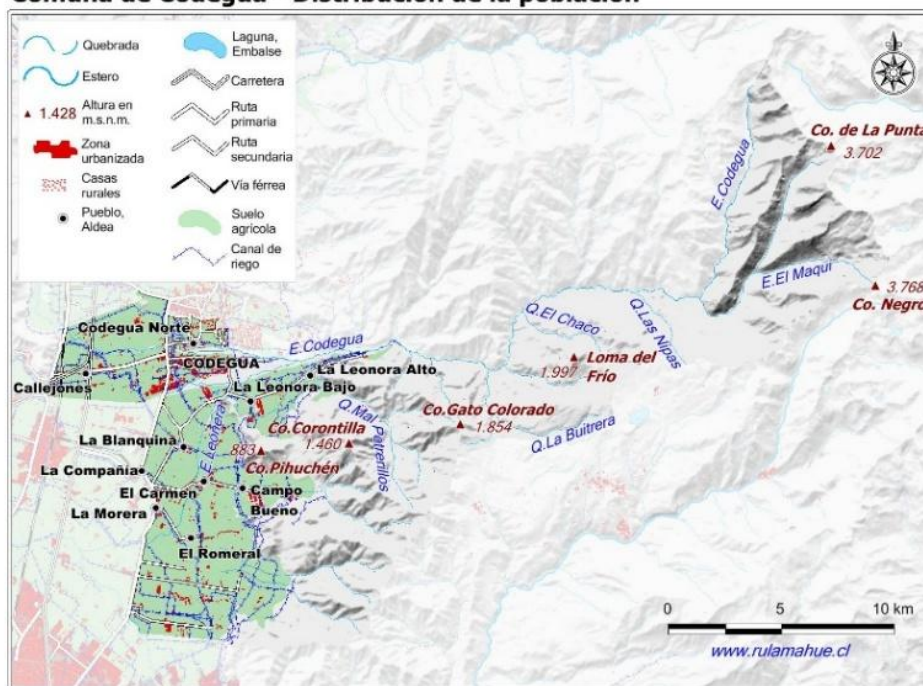


Figura 9.2 Mapa poblacional de la comuna de Mostazal.

Fuente: Rulamahue (<https://www.rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06110.html>)

Comuna de Mostazal - Distribución de la población

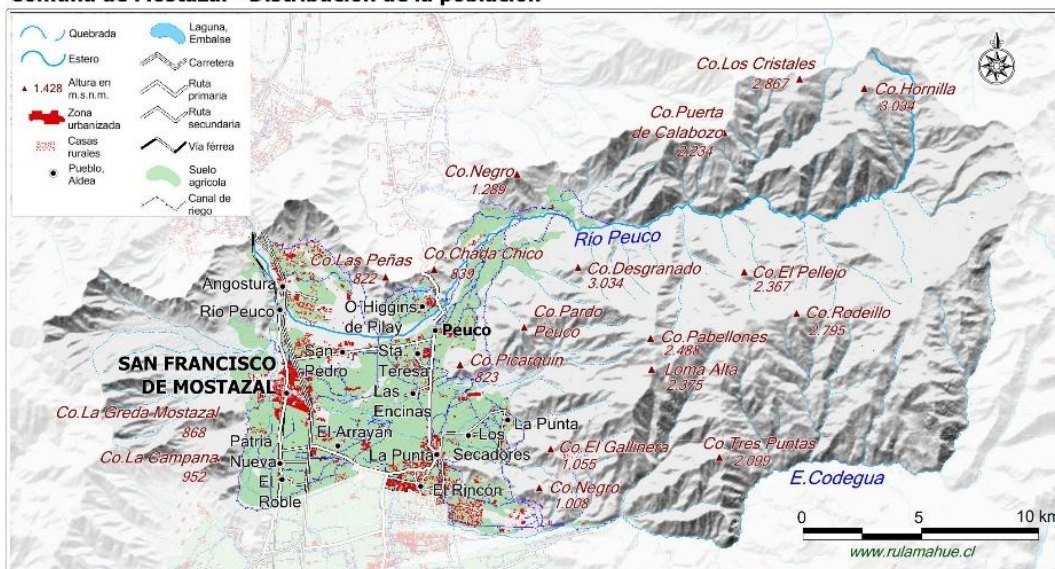


Figura 9.3 Mapa poblacional de la comuna de Codegua

Fuente: Rulamahue (<https://www.rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06102.html>)

5.11

5.12 ANEXO 3 Cuestionario

Entre las figuras 9.4 y 9.7 se muestran las figuras señaladas la estructura y visualización de preguntas de la encuesta realizada a las comunidades de Mostazal, Graneros y Codegua.

Encuesta Estimación de RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) por núcleo familiar

Este formulario tiene como objetivo recopilar información relevante para el desarrollo de un Sistema de Gestión de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). A través de sus preguntas, se busca evaluar el manejo actual de los RAEE en las comunas. La información proporcionada es anónima y será utilizada para estructurar propuestas que contribuyan a una gestión más eficiente y sostenible de los residuos electrónicos.

¿En que comuna vive?

Elige

¿Cuántas personas viven con usted en su domicilio? (Considerándose a usted, bebés, niños, jóvenes, adultos y adultos mayores)

Tu respuesta

Figura 9.4 Título y primeras dos preguntas para establecer la comuna y la composición familiar.

En los últimos 2 años ¿Cómo se han desecho de los equipos eléctricos y electrónicos que están es desuso?

☐ Basura con el retiro municipal
☐ Bateas de residuos no tradicionales
☐ En un basural de la población
☐ Vendiéndola al chatarrero
☐ Se regala a algún conocido
☐ Otro:

¿Estarías dispuesto/a a llevar tus equipos a un lugar específico para su recepción un día específico o preferiría un retiro directo en su hogar?

☐ Recepción de los equipos
☐ Retiro en el hogar

Si la respuesta fue que preferiría un retiro ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar?

☐ Sí - \$10.000
☐ Sí - \$15.000
☐ Sí - \$20.000
☐ Depende de las dimensiones de los equipos

Figura 9.5 Preguntas para identificar como las personas manejan sus residuos y evaluar la existencia de un mercado

...

¿Qué Aparatos Eléctricos o electrónicos ves en tu COCINA? ¿Cada cuánto los renueva? (Por favor si no posees un aparato, no llenes la antigüedad)

	1-2 años	3-4 años	5-6 años	7-8 años	9 o más
Horno	☐	☐	☐	☐	☐
Microondas	☐	☐	☐	☐	☐
Freidora de Aire	☐	☐	☐	☐	☐
Tostadora	☐	☐	☐	☐	☐
Licuada	☐	☐	☐	☐	☐
Cafeteras	☐	☐	☐	☐	☐
Hervidores	☐	☐	☐	☐	☐
Refrigerador	☐	☐	☐	☐	☐
Congeladora	☐	☐	☐	☐	☐
Batidora	☐	☐	☐	☐	☐
Mini Pimer	☐	☐	☐	☐	☐
Sandwichera	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 9.6 Cuestionario sobre la presencia y el tiempo de renovación de los Aparatos presentes en el hogar

Se realizó el cuestionario para el Baño, Cocina, Living-Comedor y la Habitación/Telecomunicación

¿Cuántos de estos aparatos hay en su hogar?

	1	2	3	4	5 o más
Celulares	☐	☐	☐	☐	☐
Laptop o notebook	☐	☐	☐	☐	☐
Ventilador	☐	☐	☐	☐	☐
Televisor	☐	☐	☐	☐	☐
Equipo de música	☐	☐	☐	☐	☐
Table	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 9.7 Cuestionario sobre cantidad de aparatos que hay en un hogar

5.13 ANEXO 4 Tabla de distritos censales

Se presenta un extracto de tabla de distritos censales para las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua proporcionada por INE, 2019.

Tabla 9.2 Distritos censales, superficie y población de las comunas de Graneros, Mostazal y Codegua

Distrito Censal	Superficie (km ²)	Población	Hombres	Mujeres	Viviendas	Ocupadas	Desocupadas
Comuna Codegua	285,5	12988	7019	5969	4402	2364	2038
Codegua	29,8	8.564	6.659	1.905	2.930	2.246	684
Tunca	103,5	4.125	345	3.780	1.337	111	1.226
La Leonera	152,2	284	0	284	128	0	128
Rezagados	-	15	15	0	7	7	0
Comuna Graneros	112,2	33437	29821	3616	11391	10169	1222
Graneros	13	19.206	18.870	336	6.774	6.657	117
La Compañía	26,7	2.379	1.084	1.295	788	366	422
Las Higueras	34,3	2.700	2.027	673	1.022	797	225
Tuniche	38,2	9.094	7.782	1.312	2.794	2.336	458
Rezagados	-	58	58	0	13	13	0
Comuna Mostazal	524,7	25343	20954	4389	9100	7224	1876
San Francisco	71,4	458	0	458	164	0	164
Angostura	51,3	15.274	13.954	1.320	5.269	4.729	540
Peuco	250,3	2.079	0	2.079	846	0	846
La Punta	151,7	7.522	6.990	532	2.817	2.491	326
Rezagados	-	10	10	0	4	4	0

5.14 ANEXO 5 Resultados cuestionario RAEE

Se presenta, desde la Tabla 93 hasta la 9.7, el total de respuestas del cuestionario para cada espacio del hogar y la cantidad de equipos presentes en el hogar, y los aparatos que cumplían con la representatividad requerida están marcados con amarillo.

Tabla 9.3 Presencia y renovación de los aparatos eléctricos y electrónicos del Baño

BAÑO	1-2 años	3-4 años	5-6 años	7-8 años	9 o más	Total	Presencia en los Hogares
Máquina de afeitar	7	18	24	6	0	55	57,9%
Máquina de cortar	3	13	13	10	2	41	43,2%
Secador de pelo	2	16	46	19	6	89	93,7%
Depiladora	5	9	25	21	5	65	68,4%
Plancha de Pelo	3	15	33	22	4	77	81,1%
Calefactor	4	18	26	10	7	65	68,4%
Lavadora	1	0	8	27	51	87	91,6%
Secadora	1	1	7	20	32	61	64,2%

Tabla 9.4 Presencia y renovación de los aparatos eléctricos y electrónicos de la Cocina

COCINA	1-2 años	3-4 años	5-6 años	7-8 años	9 o más	Total	Presencia en los Hogares
Horno eléctrico	0	6	24	29	27	86	90,5%
microondas	1	7	21	34	24	87	91,6%
freidora	2	13	21	5	6	47	49,5%
tostadora	3	19	22	13	7	64	67,4%
licuadora	6	15	26	18	11	76	80,0%
cafeteras	0	10	13	6	5	34	35,8%
hervidores	22	47	15	5	1	90	94,7%
Refrigerador	0	5	6	22	57	90	94,7%
congeladora	0	3	3	17	25	48	50,5%
batidora	2	12	24	11	13	62	65,3%
Mini pimer	7	24	15	9	6	61	64,2%
Sandwichera	6	27	9	10	7	59	62,1%

Tabla 9.5 Presencia y renovación de los aparatos eléctricos y electrónicos del Living-Comedor

LIVING	1-2 años	3-4 años	5-6 años	7-8 años	9 o más	Total	Presencia en los Hogares
Televisor	1	8	18	29	39	95	100%
Teléfono fijo	0	5	7	4	15	31	32,6%
Equipo de música	5	21	25	7	18	76	80,0%
Decodificador TV	4	16	20	15	5	60	63,2%
Consola	0	5	13	12	23	53	55,8%
Ventilador	3	28	31	6	18	86	90,5%
Aspiradora	5	17	37	14	8	81	85,3%

Tabla 9.6 Presencia y renovación de los aparatos eléctricos y electrónicos de la Habitación/Telecomunicación

HABITACIÓN	1-2 años	3-4 años	5-6 años	7-8 años	9 o más	Total	Presencia en los Hogares
Laptop	1	14	38	21	10	84	88,4%
Celular	21	44	17	9	4	95	100%
PC	1	4	10	17	6	38	40%
Monitor	1	5	11	18	2	37	38,9%
Teclado	2	11	21	10	2	46	48,4%
Mouse	16	26	12	1	0	55	57,9%
Impresora	2	8	17	23	13	63	66,3%
Tablet	2	18	28	15	7	70	73,7%
Cargadores	47	18	16	3	1	85	89,5%
Router Wifi	2	17	26	22	7	74	70,5%
Lámparas	7	15	18	11	15	66	69,5%

Tabla 9.7 Cantidades de los aparatos eléctricos y electrónicos por hogar

Tipo	Cantidad					Total
	1	2	3	4	5 o más	
Celulares	0	6	21	40	28	95
Laptop	23	30	20	9	2	84
Ventilador	14	43	24	3	2	86
Televisor	12	26	34	16	7	95
Equipo de música	21	42	10	2	1	76
Tablet	46	17	5	1	1	70

Anexo 5 Proyección de la valorización de los aparatos

Se presenta en la Tabla 9.8 la proyección anual de los RAEE según su tasa de valorización y la proyección del número de familia.

Tabla 9.8 Proyección de la valorización de los RAEE

Años	N° familias	N° f. nuevas	Tasa de valorización	Secador de pelo	Lavadora	Plancha de pelo	Horno eléctrico	Microondas	Licuada	Hervidor	Refrigerador
2025	28.585										
2026	28.888	303	0,04	231	128	231	165	165	231	381	128
2027	29.194	609	0,13	759	422	759	542	542	759	1.239	422
2028	29.503	919	0,22	1298	721	1298	927	927	1298	2118	721
2029	29.816	1.231	0,31	1849	1027	1849	1320	1320	1849	3017	1027
2030	30.132	1.547	0,40	2424	1339	2424	1722	1722	2424	3934	1339
2031	30.452	1.867	0,43	2659	1461	2659	1878	1878	2659	4292	1461
2032	30.774	2.190	0,46	2901	1585	2901	2038	2038	2901	4656	1585
2033	31.101	2.516	0,50	3150	1712	3150	2201	2201	3150	5030	1712
2034	31.430	2.846	0,53	3405	1693	3405	2368	2368	3405	5409	1693
2035	31.764	3.179	0,56	3668	1814	3668	2537	2537	3668	5796	1814
2036	32.100	3.515	0,59	3937	1937	3937	2710	2710	3937	6191	1937
2037	32.440	3.856	0,63	4282	2096	4282	2932	2932	4282	6699	2096
2038	32.784	4.200	0,69	4718	2298	4718	3215	3215	4718	7345	2298
2039	33.132	4.547	0,72	5013	2430	5013	3399	3399	5013	7766	2430
2040	33.483	4.898	0,75	5315	2565	5315	3587	3587	5315	8196	2565

Tabla 7.9 Proyección de la valorización de los RAEE

AÑO	N° familias	Tasa de valorización	Televisor	Equipo de música	Ventilador	Aspiradora	Laptop	Celular	Cargador	Total de Unidades
2025	28.585									
2026	28.888	303	128	231	231	231	231	381	578	3673
2027	29.194	609	422	759	759	759	759	1.239	1898	12038
2028	29.503	919	721	1298	1298	1298	1298	2.118	3245	20587
2029	29.816	1.231	1027	1849	1849	1849	1849	3.017	4622	29317
2030	30.132	1.547	1339	2424	2424	2424	2424	3.934	6026	38324
2031	30.452	1.867	1461	2659	2659	2659	2659	4.292	6575	41911
2032	30.774	2.190	1585	2901	2901	2901	2901	4.656	7134	45583
2033	31.101	2.516	1712	3150	3150	3150	3150	5.030	7705	49353
2034	31.430	2.846	1693	3405	3405	3405	3405	5.409	8287	52755
2035	31.764	3.179	1814	3668	3668	3668	3668	5.796	8879	56661
2036	32.100	3.515	1937	3937	3937	3937	3937	6.191	9484	60658
2037	32.440	3.856	2096	4282	4282	4282	4282	6.699	10263	65786
2038	32.784	4.200	2298	4718	4718	4718	4718	7.345	11252	72288
2039	33.132	4.547	2430	5013	5013	5013	5013	7.766	11898	76608
2040	33.483	4.898	2565	5315	5315	5315	5315	8.196	12556	81025

Anexo 6 Estimación componentes RAEE

En la Tabla 9.10 se muestra el desglose anual del total de todos los componentes encontrados en los RAEE en gramos.

Tabla 9.10 Flujo másico de los RAEE

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Metales ferroso	0	36069276	118407334	202505688	288373623	377001769	412326417	448500432	485635049	514514926	552672084	591719960	641816427	705322615	747550352	790729606
Fe	0	593911,926	1945788,37	3327777,07	4738845,31	6205630,71	6798244,97	7406609,98	8032592,11	8671761,72	9328783,87	10002556,8	10865065,1	11957093,9	12690667	13442134,4
Acero inoxidable	0	1111199,55	3647596,94	6238288,64	8883493,16	11614283,4	12703127,6	13818233,2	14963029	15861709,7	17038782,9	18243408,9	19788781,2	21747743	23050732,2	24383154,7
Acero de baja aleación	0	34364164,5	112813949	192939623	274751285	359181855	392825044	427275589	462639428	489981454	526304517	563473994	611162580	671617778	711808953	752904317
Metales no ferrosos	0	1323821,85	4345020,06	7431053,85	10582023,3	13838727,8	15140190,1	16473590,3	17843026,7	18960606,3	20372758,7	21818485,8	23672457,2	26022111,2	27587700,4	29189156,1
Al	0	1240848,26	4073207,64	6966187,7	9920041,28	12973032,3	14193098,7	15443107,9	16726902	17767133,5	19090443,5	20445220,5	22182553,1	24384379,1	25851493,6	27352223,2
As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Be	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bi	0	69,3307682	227,713442	389,446038	554,581779	727,214628	797,710657	870,219026	944,96178	1021,59231	1100,33054	1181,20914	1284,56412	1415,29535	1503,81506	1594,62124
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0	15397,114	50564,486	86477,7177	123146,629	161469,308	177110,312	193196,26	209776,418	226773,809	244237,229	262173,902	285097,193	314093,709	333719,892	353851,632
Cr	0	529,111897	1729,96359	2958,66358	4213,21763	5511,54241	6031,67535	6564,81381	7112,59575	7672,37525	8245,77658	8833,01087	9585,79843	10539,6617	11176,2796	11827,6747
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	4057,33254	13268,334	22692,1173	32314,1938	42276,415	46270,8798	50365,861	54573,9378	58874,8211	63280,9841	67794,0586	73578,6301	80907,7181	85802,4666	90811,4242
Pb	0	4159,91071	13639,3848	23326,7054	33217,8646	43491,1616	47635,3492	51888,4867	56263,6256	60501,5988	65074,974	69763,8961	75767,6826	83370,132	88471,5558	93696,4135
Pd	0	52,7899901	172,204386	294,511889	419,392963	547,965754	598,962217	651,138111	704,654014	759,245903	815,073114	872,154795	945,453517	1038,41937	1099,9795	1162,87973
Sb	0	507,213637	1661,97884	2842,39292	4047,64504	5301,0224	5807,82497	6328,17349	6863,66411	7411,7607	7974,04517	8550,73741	9288,87365	10223,3645	10851,4925	11495,0117
Sn	0	30661,0122	100637,599	172115,066	245096,548	320407,164	350410,821	381133,462	412669,568	437267,862	469672,806	502831,809	545376,365	599311,445	635162,431	671818,946
Zn	0	27539,7777	89910,7556	153769,524	218971,996	285963,681	312427,913	339484,007	367215,289	393189,737	421914,003	451264,565	488979,574	536832,425	568418,86	600674,341
Cu	0	2702436,95	8866841,19	15164481	21594634,6	28241980,8	30899525,1	33622490,5	36419245,8	38759020,9	41647515	44604866,1	48397069	53202991,7	56406162,1	59682889,5
Ag	0	326,385297	1068,7137	1827,7635	2602,78507	3407,49835	3731,92268	4064,84038	4407,27317	4757,58905	5116,80078	5485,04627	5956,6112	6553,78247	6954,27839	7364,42467
Au	0	134,607828	441,456182	754,998737	1075,13879	1408,7143	1544,09519	1683,1871	1826,41641	1973,11012	2123,69069	2278,21839	2475,88636	2726,05184	2894,67074	3067,50617
Vidrio	0	1563961,51	5136308,27	8784351,46	12509156,1	16387251,6	17958851,9	19573105,2	21234961,3	22805319,9	24542227,8	26324318	28604390,2	31490345,7	33433736,5	35425393,7
Vidrio	0	644072,519	2115396,41	3617848,58	5151915,04	6741798,48	7380501,35	8035504,48	8708819,28	9277147,86	9974023,59	10688068	11602934,5	12761827,2	13537163,8	14330841,1
Vidrio blanco de baja cal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vidrio blanco de alta cal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vidrio LCD	0	32021,9544	105120,675	179782,231	256014,8	335618,2	368056,231	401407,634	435774,578	470996,968	507176,013	544326,54	591817,423	651898,976	692517,691	734174,2
Cono de vidrio CTR	0	256570,063	842691,543	1441209,97	2052322,3	2691178,93	2952061,24	3220390,54	3496988,56	3780572,6	4071956,54	4371261,28	4753743,63	5237536,31	5565118,26	5901161,65
Pantalla de cristal CTR	0	518062,611	1701550,74	2910070,61	4144019,92	5433990,11	5960759,93	6502566,64	7061069,41	7633678,26	8222036,55	8826388,4	9598691,32	10575558,6	11237007,4	11915541,4
Cerámicas	0	113158,135	371301,161	635016,383	904280,648	1183879,12	1296614,87	1412304,66	1531303,52	1641842,4	1765875,91	1893035,65	2055863,53	2262055,68	2400376,11	2542036,18
Cristales líquidos	0	76,2261893	247,735115	423,688028	603,343307	786,759673	858,309722	931,288231	1005,92046	1081,82508	1159,22586	1238,14598	1339,78463	1468,90506	1553,24922	1639,21644
Plásticos	0	13050562,1	42822978,2	73237833,7	104292673	136385368	149207169	162343005	175833254	186968569	200887452	215136638	233410354	256570380	271998745	287779959
ABS	0	310832,944	1020915,26	1746016,4	2486374,98	3260345,58	3576402,78	3901481,97	4236578,65	4580138,85	4933148,57	5295754,29	5759129,15	6345240,8	6742104,17	7149218,54
Epoxi	0	21791,8418	71495,4351	122274,793	174122,64	228192,506	250171,89	272760,266	296026,861	319862,722	344336,434	369457,883	401584,246	442236,909	469670,78	497796,601
Otros plásticos	0	2078,33449	6795,98682	11622,8103	16551,1989	21652,7898	23697,5465	25793,6111	27947,4228	30148,5885	32403,4934	34712,9705	37673,3014	41424,1941	43928,4937	46491,0905
Plásticos generales	0	12257347,3	40218013,6	68782703,1	97948445,1	128079110	140109478	152433083	165087807	175475537	188525471	201883734	219016721	240732286	255191288	269979668
PE (HD)	0	36745,3072	120688,124	206406,4	293928,343	385423,753	422786,648	461216,084	500829,744	541443,923	583175,185	626040,842	680818,985	750106,534	797021,98	845149,255
PET	0	7349,06143	24137,6248	41281,28	58785,6686	77084,7506	84557,3297	92243,2168	100165,949	108288,785	116635,037	125208,168	136163,797	150021,307	159404,396	169029,851
PS (poliestireno)	0	130,554119	427,48548	731,105398	1041,11403	1362,99934	1492,76907	1625,93615	1762,90927	1903,03562	2046,72031	2194,01851	2382,64448	2621,51299	2781,71136	2945,76987
PUR	0	177564,46	583198,965	997413,787	1420344,44	1856691,64	2030469,4	2208399,71	2391029,77	2527116,62	2714300,15	2905829,7	3151584,21	3463144,28	3670189,13	3881876,66
PVC	0	236722,315	777305,659	129384,01	1893079,09	2475503,71	2708112,11	2946401,85	3191105,44	3384128,99	3635935,94	3893705,78	4224296,99	4643298,9	4922356,25	5207783,51
Otros	0	12838475,5	42164031,4	72110872,6	102687849	134239730	146809243	159679828	172891064	182826367	196374882	210238634	228026526	250576831	265565980	280891884
Br	0	1256,89668	4107,20638	7024,33391	10002,8431	13081,4139	14311,7772	15572,3501	16867,0069	18189,4622	19543,5586	20929,7865	22707,5422	24960,6637	26461,601	27996,8631
Cl	0	460,993125	1510,16988	2582,76223	3677,92386	4816,21265	5276,01787	5748,02748	6233,68959	6730,69916	7240,49148	7763,26465	8432,49756	9279,83432	9848,94912	10431,9308
Aceite	0	5961,25665	19537,4335	33413,8205	47582,1917	62265,3374	68163,4183	74211,9173	80429,4085	86279,5536	92757,4844	99394,6918	107899,015	118672,038	125877,862	133253,835
Polvo fluorescente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCB	0	734,392582	2412,07572	4125,24322	5874,45885	7679,1,476										

Anexo 8 Flujo de Caja

En la Figura 9.8 se muestra la licitación para la recolección y transporte de los residuos, la cual se utilizó para comparar los precios y volúmenes

Rut : 69.051.400-1 **Demandante :** I MUNICIPALIDAD DE SAN ESTEBAN

Dirección Demandante : AV/DA. 26 DE DICIEMBRE #654 **Unidad de Compra :** Adquisiciones

Teléfono : 56-34-2482184 **Fecha Envío OC. :** 20-11-2024 08:39:22

Estado : Recepcion Conforme

ORDEN DE COMPRA N°: 3661-914-SE24

SEÑOR (ES) : SERVICIOS GEA LIMITADA

RUT : 78.591.180-6

NOMBRE ORDEN DE COMPRA : SERVICIO DISPOSICION FINAL RESIDUOS VOLUMINOSOS CAMPAÑA DIA DEL CACHUREO, CORRESPONDIENTE AL MES DE OCTUBRE 2024, SEGUN DECRETO TRATO DIRECTO N°4121 DE FECHA 18.11.2024.

FECHA ENTREGA PRODUCTOS :

DIRECCION DE ENVIO FACTURA : AVENIDA 26 DE DICIEMBRE 654 San Esteban Región de Valparaíso

DIRECCION DE DESPACHO : AVENIDA 26 DE DICIEMBRE 654 San Esteban Región de Valparaíso

METODO DE DESPACHO : Despachar a Dirección de envío

FORMA DE PAGO : 30 días contra la recepción conforme de la factura

Código	Producto	Cantidad / Unidad	Especificaciones Comprador	Especificaciones Proveedor	Precio Unitario	Descuento	Cargos	Valor Total
76121501	Recolección, destrucción, transformación o elimina	51,39 Unidad no definida	toneladas residuos voluminosos	toneladas residuos voluminosos	31.617,00	0,00	0,00	1.624.798
Orden de Compra Si solo existe un proveedor del bien o servicio					Neto	\$		1.624.798
					Dcto.	\$		0
					Cargos	\$		0
					Subtotal	\$		1.624.798
					19% IVA	\$		308.712
					Total	\$		1.933.510

Disponibilidad Presupuestaria: Esta orden de compra cuenta con disponibilidad presupuestaria. Folio ingresado 215.22.08.001.002.002 del sistema SIFIN.

Fuente Financiamiento: 215.22.08.001.002.002

Observaciones:

SERVICIO DISPOSICION FINAL RESIDUOS VOLUMINOSOS CAMPAÑA DIA DEL CACHUREO, CORRESPONDIENTE AL MES DE OCTUBRE 2024, SEGUN DECRETO TRATO DIRECTO N°4121 DE FECHA 18.11.2024.

Derechos del Proveedor del Mercado Público

1. Derecho a entender los resultados de cada proceso.
2. Derecho a participar en mercado público igualitariamente y sin discriminaciones arbitrarias.
3. Derecho a exigir el pago convenido en el tiempo y forma establecido en las bases de licitación.
4. Derecho a impugnar los actos de los organismos compradores del sistema.
5. A difundir y publicitar sus productos y servicios entre los organismos compradores, previo o no relacionados con procesos de compra o contratación en desarrollo.
6. Derecho a inscribirse en el registro oficial de contratistas de la Administración del Estado, ChileProveedores y a no entregar documentación que se encuentre acreditada en éste.

Para revisar en detalle sus derechos como proveedor visite <https://www.mercadopublico.cl/Portal/MP2/secciones/leyes-y-reglamento/derechos-del-proveedor.html>



AUTORIZASE, la procedencia del trato directo Disposición final de los residuos voluminosos recolectados en la campaña del día del Cachureo, correspondiente al mes de octubre del 2024.

SAN ESTEBAN, lunes 18 de noviembre de 2024
DECRETO ALCALDICIO N° 4121 /

VISTOS:

Memorándum N°598 del Director de Seguridad Pública de fecha 11 de noviembre 2024, donde se informa de la disposición final de los residuos voluminosos; Decreto Alcaldicio N° 4523 de fecha 27 diciembre 2023; se declaró como Programa Social Medio Ambiente de la Ilustre Municipalidad de San Esteban"; Certificado Presupuestario N°1190 de fecha 14 de noviembre 2024; La ley N° 19.886, de Bases sobre Contratos Administrativos de Suministro y Prestación de Servicios; el decreto N° 250, de 2004, del Ministerio de Hacienda, que aprueba el reglamento del citado cuerpo legal; Decreto N°2029 de fecha 29 de Julio de 2021 mediante el cual se nombra como Alcalde de San Esteban a Don Christian Ortega Villagras; Decreto Alcaldicio N°4555 de junio de 2022 en el cual designa Subrogancias de la Dirección de Control; Decreto Alcaldicio N°4121 del 20.11.2023 que establece Subrogancia del Alcalde; Decreto Alcaldicio N°3956 de fecha 05.11.2023 que establece Subrogancia Administrador Municipal; Normas pertinentes de la Ley N°18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades; Resoluciones N°s 6 y 7 de 2019 de la Contraloría General de la República, que establece normas sobre exención del trámite de toma de razón;

CONSIDERANDO:

1. Que, mediante Memorándum N°598 del Director de Seguridad Pública de fecha 11 de noviembre 2024, donde se informa de la disposición final de los residuos voluminosos recolectados en la campaña del día del cachureo en distintos sectores de la comuna, los cuales deben ser dispuestos en la CTI La Hormiga, administrado por la empresa Servicios Gea Limitada, único proveedor de la provincia de San Felipe y Los Andes para disposición final de residuos domiciliarios y sólidos voluminosos, según consta en la Resolución N°939 del 23 de Diciembre 2014 y N°361 del 26 de Julio de 2018, ambas otorgadas por el Seremi de Salud Región de Valparaíso;
2. Que, con la finalidad de mejorar la gestión institucional, con relación a residuos voluminosos recolectados en campañas día del Cachureo en distintos sectores de la comuna, contando con batea para depositar electrodomésticos, muebles, colchones en desuso y así contribuir a una comuna limpia;
3. Que, mediante Decreto Alcaldicio N°4523 de fecha 27 diciembre 2023; se declaró Programa Social Medio Ambiente de la Ilustre Municipalidad de San Esteban";
4. Que estos servicios no se encuentran en el Catálogo Electrónico de Convenios Marco y son necesarios para el cumplimiento de los fines del Servicio, es necesario recurrir a otro procedimiento de contratación de los establecidos en la Ley N°19.886 sobre Bases de Contratos Administrativos de Suministro y Prestación de Servicios;
5. Que, conforme a la naturaleza de lo requerido y por tratarse de un Servicio de Contratación de disposición final de residuos voluminosos ingresados al CTI La Hormiga, es procedente el trato directo cuyo monto es \$1.933.510.- IVA incluido;
6. Que, la Ley 19.886 contenida en el D.S. N°250 de 2004, del Ministerio de Hacienda, en el artículo 8 letra D) en relación con el artículo 10 numeral 4 del Reglamento de Compras Públicas, permite el Trato Directo o Contratación directa "si sólo existe un proveedor del bien o servicio";
7. Que, la empresa Gea Ltda. Rut: 78.591.180-6, es el único proveedor de la provincia de San Felipe y Los Andes para disposición final de residuos domiciliarios y sólidos voluminosos, según consta en la Resolución N°939 del 23 de diciembre 2014 y N°361 del 26 de Julio de 2018, ambas otorgadas por el Seremi de Salud Región de Valparaíso;
8. Que, según lo estipulado en el Art. 51 Procedimiento de Trato o Contratación Directa: "Los tratos directos que se realicen en virtud de lo dispuesto en el artículo 10 requerirán de un mínimo de tres cotizaciones de diferentes proveedores, con excepción de aquellos tratos o contrataciones directas contenidas en los números 3,4,6 y 7;
9. Que, por lo anteriormente expuesto y no requerirse en este caso un mínimo de tres cotizaciones previas, se procedió a solicitar cotización a la empresa, en forma directa, la que ha resultado ser conveniente para los intereses de esta entidad, por lo que procede emitir el presente acto administrativo que autoriza la contratación de los servicios solicitados;
10. Que, según Certificado Presupuestario N°1190 de fecha 14 de noviembre 2024, en los cuales visan la existencia de disponibilidad Presupuestaria.



SECRETARÍA MUNICIPAL

AV. 26 DE DICIEMBRE 6



Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la Ley N° 19.799.



AUTORIZASE, la procedencia del trato directo Disposición final de los residuos voluminosos recolectados en la campaña del día del Cachureo, correspondiente al mes de octubre del 2024.

SAN ESTEBAN, lunes 18 de noviembre de 2024
DECRETO ALCALDICIO Nº 4121 /

DECRETO

- AUTORIZASE**, la procedencia del trato directo Disposición final de los residuos voluminosos recolectados en la campaña del día del Cachureo en distintos sectores de la comuna, los cuales deber ser dispuestos en la CTI La Hormiga, administrado por la empresa **SERVICIOS GEA LTDA.**, de conformidad a lo dispuesto por el artículo 8 letra D de la Ley Nº19.886, en relación con el artículo 10 numeral 4 del Reglamento de Compras Públicas.
- PÁGUESE** a **SERVICIOS GEA LIMITADA.**, RUT N°78.591.180-6, por un valor total de **\$1.933.510.-** IVA incluido. (un millón novecientos treinta y tres mil quinientos diez pesos) Valor correspondiente al mes de octubre 2024, con cargo al ítem 215.22.08.001. Servicio de Aseo, según el siguiente detalle:

SECTOR	TONELADAS	PRECIO POR TONELADA	TOTAL
Sectores: Río Colorado, Villa San José, Municipalidad, Villa San Esteban, 26 de Diciembre, Villa el Corazón, Tocornal 2, Villa Glorias Navales, El Cobre, Villa Las Flores, Primera Quebrada, El Gredal, El Molino.	51.390	\$31.617.-	1.624.798.-
		I.V.A	308.712.-
		TOTAL	1.933.510.-

- PROCÉDASE** la Dirección de Administración y Finanzas al pago de la cantidad señalada dentro de los 30 días siguientes a la fecha de recepción de la factura correspondiente, previa constancia de la conformidad con lo requerido.
- INFÓRMESE**, al Concejo Municipal de conformidad a lo establecido en el artículo 8 inciso penúltimo de la Ley N°18.695 "Orgánica Constitucional de Municipalidades".
- IMPÚTESE**, el gasto que genera la presente resolución al ítem 215.22.08.001 Servicio de Aseo microbasural y otros.
- GÍRESE**, la respectiva orden de compra a través del portal Mercado Público.

ANÓTESE, COMUNÍQUESE, REGÍSTRESE Y HECHO ARCHÍVESE.

ANÓTESE, REGÍSTRESE, NOTIFIQUESE Y ARCHIVESE.

 Firmado electrónicamente
Gabriela Fernandez
Montenegro
Administrador Municipal
(S)
19-11-2024 08:52
Administrador Municipal

 Firmado electrónicamente
Fernando Andres Marin Vega
Secretario Municipal
19-11-2024 12:15
Secretario Municipal



Lo que transcribo a Ud., para su conocimiento y fines

SECRETARIA MUNICIPAL

AV. 26 DE DICIEMBRE 6

Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la Ley N° 19.799.



ANEXO 9 Flujo de caja

- Escenario favorable

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos cobre		196	642	949	1628	2007	2238	2436	2638	2808	3017	3231	3506	3854	4086	4323
Ingresos Metales ferrosos		99	326	558	794	1.039	1.136	1.236	1.338	1.417	1.522	1.630	1.768	1.943	2.059	2.178
Ingresos por placas		55	181	310	441	577	631	\$687	\$744	\$791	\$850	\$910	\$988	\$1.086	\$1.151	\$1.218
Costos fijos		-1339	-1339	-1339	-1339	-1725	-1725	-1725	-1725	-1725	-1725	-1725	-2111	-2111	-2111	-2111
Costos variables		-151	-306	-518	-697	-952	-1010	-1070	-1131	-1179	-1243	-1344	-1423	-1528	-1597	-1852
Inversión Inicial	-5949															
Inversión					-698,8							-698,8				
Reposición							-218,9	-71,5		-4,5	-402,5	-71,5	-218,9	-4,5	-255,1	-207,5
Valor de desecho																2848,4
Flujo de caja neto	-5949	-1140	-495	-40	129	946	1052	1492	1864	2107	2019	1932	2509	3240	3332	6397
VALOR ACTUAL	13202,2															
VAN	7253,0															

- Escenario desfavorable

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos cobre		179	588	869	1491	1837	2049	2230	2415	2570	2762	2958	3210	3528	3741	3958
Ingresos Metales ferrosos		66	217	372	530	692	757	824	892	945	1.015	1.087	1.179	1.295	1.373	1.452
Ingresos por placas		23	74	127	181	236	259	\$282	\$305	\$324	\$348	\$373	\$404	\$445	\$471	\$499
Costos fijos		-1472	-1472	-1472	-1472	-1897	-1897	-1897	-1897	-1897	-1897	-1897	-2322	-2322	-2322	-2322
Costos variables		-167	-336	-570	-766	-1047	-1111	-1177	-1244	-1297	-1367	-1478	-1566	-1681	-1757	-2038
Inversión Inicial	-5949															
Inversión					-698,8							-698,8				
Reposición							-218,9	-71,5		-4,5	-402,5	-71,5	-218,9	-4,5	-255,1	-207,5
Valor de desecho																2848,4
Flujo de caja neto	-5949	-1370,7	-929,7	-674,6	-736,0	-179	-162	190	471	640	458	272	686	1261	1250	4190

VALOR ACTUAL	1151,5
VAN	-4797,7