

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de
Magíster en Gestión en Proyectos

Maestría en

Gestión en Proyectos

AUTORES

Eco. Madolyn Solange Ruiz Borja

Ing. Erick Mauricio Aguilera Gallardo

Ing. Diego Fernando Rodríguez Chancusi

Ing. Pablo Xavier Cerón Paredes

Ing. Diego Rubén Barros Núñez

Ing. David Alejandro Albán Ortiz

Ing. Wellington Bryan Chipe Ortiz

TUTORES / DOCENTES DE TITULACIÓN:

DBA. José Luis Mercader

PhD (c) Carlos Luis Calderón

Lanzamiento de la empresa “MetalGreen” Minería urbana sostenible: desarrollo, financiamiento
y escalabilidad para la valorización comercial de metales estratégicos a partir de residuos
electrónicos en la ciudad de Quito

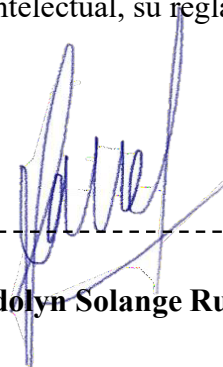
Quito, (Julio 2026)

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Eco. Madolyn Solange Ruiz Borja; Ing. Erick Mauricio Aguilera Gallardo; Ing. Diego Fernando Rodríguez Chancusi; Ing. Pablo Xavier Cerón Paredes; Ing. Diego Rubén Barros Núñez; Ing. David Alejandro Albán Ortiz; Ing. Wellington Bryan Chipe Ortiz** declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Eco. Madolyn Solange Ruiz Borja

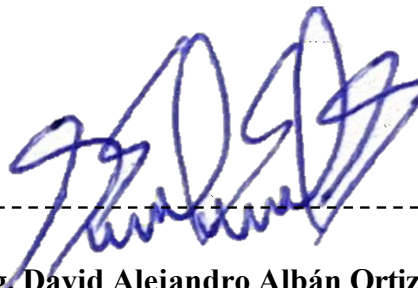
Ing. Erick Mauricio Aguilera Gallardo

Ing. Diego Fernando Rodríguez Chancusi

Ing. Pablo Xavier Cerón Paredes



Ing. Diego Rubén Barros Núñez

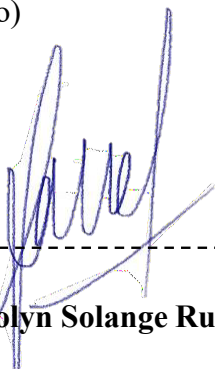


Ing. David Alejandro Albán Ortiz

Ing. Wellington Bryan Chipe Ortiz

AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Nosotros, **Eco. Madolyn Solange Ruiz Borja**; **Ing. Erick Mauricio Aguilera Gallardo**; **Ing. Diego Fernando Rodríguez Chancusi**; **Ing. Pablo Xavier Cerón Paredes**; **Ing. Diego Rubén Barros Núñez**; **Ing. David Alejandro Albán Ortiz**; **Ing. Wellington Bryan Chipe Ortiz**, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado “*Lanzamiento de la empresa “MetalGreen” Minería urbana sostenible: desarrollo, financiamiento y escalabilidad para la valorización comercial de metales estratégicos a partir de residuos electrónicos en la ciudad de Quito*”, autorizamos a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) para hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento en Ecuador. D. M. Quito, (mes año)



Eco. Madolyn Solange Ruiz Borja



Ing. Erick Mauricio Aguilera Gallardo



Ing. Diego Fernando Rodríguez Chancusi

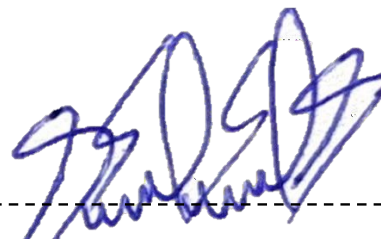


Ing. Pablo Xavier Cerón Paredes

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.



Ing. Diego Rubén Barros Núñez



Ing. David Alejandro Albán Ortiz

Ing. Wellington Bryan Chipe Ortiz

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

APROBACIÓN DE DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN DEL PROGRAMA

Nosotros, **Nombre del director/a EIG y Coordinador/a UIDE**, declaramos que los graduados: **Eco. Madolyn Solange Ruiz Borja; Ing. Erick Mauricio Aguilera Gallardo; Ing. Diego Fernando Rodríguez Chancusi; Ing. Pablo Xavier Cerón Paredes; Ing. Diego Rubén Barros Núñez; Ing. David Alejandro Albán Ortiz; Ing. Wellington Bryan Chipe Ortiz** son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal de ellos.



DBA. José Luis Mercader

Director de la

Maestría en Gestión de Proyectos



Validar Únicamente en FirmaSC.
 Firmado electrónicamente por:
**CARLOS LUIS
 CALDERON ESPINALES**

PhD (c) Carlos Luis Calderón

Coordinador de la

Maestría en Gestión de Proyectos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por permitirme culminar esta importante etapa de crecimiento personal y profesional. A mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y confianza durante el desarrollo de esta maestría. También a mis compañeros del Grupo 5, con quienes compartí experiencias, desafíos y aprendizajes que enriquecieron este proceso académico. Este logro representa el esfuerzo, la perseverancia y el compromiso invertidos para alcanzar una nueva meta en nuestra formación profesional.

Erick Mauricio Aguilera Gallardo

Dedico este logro con todo mi amor a mis padres, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Les doy las gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con disciplina, humildad y fe.

David Albán

Dedico este trabajo a mi familia, por ser mi principal fuente de apoyo, fortaleza e inspiración. A ellos, que me acompañaron en cada desafío y me motivaron a seguir adelante aun cuando el camino presentó dificultades y obstáculos. Este logro es el resultado de la constancia, el esfuerzo y la confianza que siempre depositaron en mí.

Con Dedicación, Diego Fernando Rodríguez Chancusi

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía y fortaleza durante este camino académico. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí en cada etapa de este proceso. Gracias por sus enseñanzas, sacrificios y motivación para nunca rendirme. A mis seres queridos y compañeros, por acompañarme con su amistad, consejos y momentos compartidos que hicieron más significativo este recorrido. Y a mi gatita Mitems, por acompañarme en largas jornadas de clases y estudio, brindándome compañía y tranquilidad en cada omento.

Con amor, Madolyn

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, por su amor infinito, sacrificio y ejemplo de vida. Todo lo que soy y cada logro alcanzado se lo debo a ustedes. A mis hermanos, por ser parte esencial de mi vida y acompañarme siempre con su apoyo y cariño. Y a mis amigos, quienes con su amistad sincera hicieron de este camino una experiencia más enriquecedora y especial. Este logro representa el esfuerzo compartido de todas las personas que han estado a mi lado y me impulsaron a no rendirme nunca.

Pablo Xavier Cerón Paredes

A quienes comparten conmigo el día a día en Sucumbíos, donde aprendí que la gestión pública también puede construirse con visión y con propósito. Y a este proyecto, MetalGreen, que nació como un ejercicio académico y terminó recordándome por qué vale la pena seguir formándose. Esta dedicatoria es un humilde reconocimiento a todos aquellos que, de una u otra forma, han contribuido a que este camino tenga sentido.

Diego Rubén Barros Núñez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad y a los docentes de la Maestría en Gestión de Proyectos por los conocimientos, experiencias y herramientas compartidas a lo largo de este proceso de formación. A mis compañeros del Grupo 5 por su colaboración, responsabilidad y trabajo en equipo durante el desarrollo de esta investigación. Expreso también mi gratitud a mi familia por su apoyo constante, comprensión y motivación, que fueron fundamentales para culminar con éxito esta importante etapa académica.

Erick Mauricio Aguilera Gallardo

Agradezco profundamente a quienes me han acompañado en este camino académico y personal. Gracias por su amor, paciencia, sacrificio y por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudaba de mis propias capacidades.

David Alban

Agradezco principalmente a Dios por permitirme culminar esta etapa académica y brindarme fortaleza durante todo el proceso. Expreso mi gratitud a mis profesores y mentores por su dedicación, enseñanza y guía, especialmente a mi tutor de tesis, por su orientación y apoyo constante en el desarrollo de la

investigación. A mis padres, por su amor, apoyo incondicional y por acompañarme en cada desafío personal y académico. Finalmente, agradezco a mis compañeros del grupo 5 y seres queridos, por su apoyo, motivación y compañía a lo largo de este camino.

Con amor, Madolyn

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su amor, apoyo incondicional y comprensión durante cada etapa de este proceso. Su confianza, paciencia y constante motivación fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Agradezco también a mis profesores, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación académica y profesional; a mis jefes, por la confianza y las oportunidades de aprendizaje brindadas; y a mis compañeros y colegas profesionales, por su colaboración, apoyo y valiosos aportes a lo largo de este camino.

Diego Fernando Rodríguez Chancusi

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y el ejemplo constante de esfuerzo, amor y perseverancia. Gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí aun en los momentos más difíciles y

por brindarme siempre las fuerzas necesarias para seguir adelante. Este logro también les pertenece a ustedes. A mis hermanos, gracias por su compañía, comprensión y motivación durante este proceso. Su apoyo y cariño han sido una fuente importante de inspiración y fortaleza en cada etapa de esta meta académica. A mis amigos, gracias por estar presentes en los momentos de alegría y también en los de cansancio e incertidumbre. Su amistad, palabras de ánimo y confianza hicieron este camino más llevadero y significativo. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de esta maestría y al desarrollo de esta tesis.

Pablo Xavier Cerón Paredes

A mis padres, por su esfuerzo y su ejemplo constante, que son la base de todo lo que he logrado. Gracias por creer en mí incluso cuando el camino se puso difícil.

A mis compañeros del grupo, por el trabajo en equipo, la paciencia y la disposición para resolver cada reto juntos. Aprendí tanto de ustedes como de la maestría misma.

Diego Rubén Barros Núñez

RESUMEN

La presente tesis analiza la viabilidad del lanzamiento de MetalGreen en la ciudad de Quito, como una empresa de minería urbana orientada a la valorización comercial de metales estratégicos a partir de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). El estudio parte de una problemática ambiental y económica concreta: el crecimiento de los residuos electrónicos, la baja recuperación formal de materiales y la necesidad de modelos de negocio locales que integren economía circular, trazabilidad y cumplimiento regulatorio. Desde esta perspectiva, la propuesta combina recolección, clasificación, desmontaje, recuperación de materiales, venta de componentes reutilizables y soporte documental para empresas e instituciones generadoras de RAEE ubicadas en Quito. Metodológicamente, el trabajo se desarrolla como un proyecto de desarrollo empresarial e innovación de tipo aplicado, descriptivo, documental y analítico. El estudio no reporta encuestas, entrevistas ni instrumentos de campo primarios aplicados. En su lugar, utiliza entregables previos del proyecto, literatura técnica, normativa ecuatoriana, datos secundarios y supuestos de prefactibilidad para estructurar el modelo de negocio, el proceso operativo, la ruta legal, los riesgos, el cronograma y el sistema de indicadores. Los resultados muestran que MetalGreen presenta viabilidad estratégica y pertinencia ambiental para Quito bajo los supuestos del proyecto. La viabilidad financiera se presenta como prefactibilidad condicionada: el modelo único de USD 300.318 permite ordenar la inversión y un conjunto consolidado de indicadores —WACC de 12,00%, VAN de USD 35.810,75, TIR de 16,6%, ROI total de 56,23% (11,25% anualizado) y payback de 3 años, 1 mes y 17 días—, los cuales deben recalcularse de forma conjunta con datos reales de abastecimiento de RAEE, rendimiento metalúrgico por tonelada, costo efectivo de procesamiento, precio neto de salida y contratos de clientes ancla. En consecuencia, estos seis indicadores se consideran una unidad teórica de prefactibilidad hasta que el MVP quiteño valide la operación.

Palabras clave: minería urbana, RAEE, economía circular, MetalGreen, Quito, valorización de metales, gestión de proyectos.

ABSTRACT

This thesis analyzes the feasibility of launching MetalGreen in the city of Quito as an urban mining company focused on the commercial valorization of strategic metals recovered from waste electrical and electronic equipment (WEEE). The study responds to an environmental and economic problem: the growth of e-waste, limited formal recovery of valuable materials, and the need for local business models that integrate circular economy, traceability, and regulatory compliance. The proposal combines collection, sorting, dismantling, material recovery, sale of reusable components, and documentary support for companies and institutions that generate WEEE in Quito. The research follows an applied, descriptive, documentary, and analytical business development approach. It does not report primary field instruments such as surveys or interviews. Instead, it relies on prior project deliverables, technical literature, Ecuadorian regulatory references, secondary data, and pre-feasibility assumptions to structure the business model, operational process, legal pathway, risk matrix, macro schedule, and management indicators. The results indicate that MetalGreen is strategically relevant and environmentally pertinent for Quito under the project assumptions. Financial viability is presented as conditional pre-feasibility: the single model of USD 300,318 supports a consolidated set of indicators —WACC of 12.00%, NPV of USD 35,810.75, IRR of 16.6%, total ROI of 56.23% (11.25% annualized), and payback of 3 years, 1 month and 17 days—, which must be jointly recalculated once the Quito MVP generates real data on WEEE supply, metallurgical yield, processing cost, and anchor-customer contracts. Therefore, these six indicators remain a single theoretical pre-feasibility unit until the Quito MVP validates the operation.

Keywords: urban mining, WEEE, circular economy, MetalGreen, Quito, metal recovery, project management.

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	2
AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	4
APROBACIÓN DE DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN DEL PROGRAMA.....	6
DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTOS.....	10
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INDICE GENERAL.....	15
CAPITULO 1	20
1.1 Introducción	20
1.2 Planteamiento del problema.....	21
1.2.1 Pregunta De Investigación	22
1.2.2 Sistematización del problema	22
1.3 Objetivos de investigación	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos	23
1.4 Marco teórico y referencial	24
1.4.1 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	24
1.4.2 Minería urbana y valorización de metales estratégicos.....	25
1.4.3 Economía circular y responsabilidad extendida del productor	26
1.4.4 Gestión de proyectos y viabilidad empresarial	27
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA.....	28
2.1 Enfoque y tipo de investigación.....	28
2.2 Fuentes de Información.....	29
2.3 Supuestos y Limitaciones.....	30
2.4 Plan estratégico	31
2.4.1 Contexto de mercado	31
2.4.2 Cliente idóneo	33

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

2.4.3 Medios de verificación para sustentar la prefactibilidad.....	38
2.4.4 Sistema gerencial e indicadores	40
CAPÍTULO 3: DESARROLLO.....	42
3.1 Propuesta de valor	42
3.1.1 Problema que resuelve MetalGreen	42
3.1.2 Solución propuesta por MetalGreen	42
3.1.3 Beneficios para el cliente	43
3.1.4 Diferenciación competitiva	44
3.2 Misión y Visión de la empresa.....	44
3.2.1 Misión	44
3.2.2 Visión.....	45
3.3 Estudio organizacional y gestión de personas	45
3.3.1 Estructura del talento humano	46
3.3.2 Roles y responsabilidades	47
3.3.3 Capacitación y desarrollo	48
3.3.4 Liderazgo y trabajo en equipo.....	49
3.3.5 Planificación, control y evaluación del desempeño	49
3.3.6 Seguridad y salud ocupacional.....	50
3.4 Modelo de negocio.....	51
3.4.1 Portafolio de productos y servicios.....	52
3.4.2 Comparación frente a exportación de chatarra sin procesar	54
3.5 Estudio técnico, operativo y ambiental	55
3.5.1 Arquitectura del proceso operativo	55
3.5.2 Proceso integral de recuperación de metales	57
3.5.3 Ruta legal y permisos iniciales aplicables en Quito.....	61
3.5.4 Capacidad de MVP y escalamiento modular	63
3.5.5 Consideraciones ambientales y de seguridad	65
3.6 Análisis FODA.....	65
3.6.1 Fortalezas	65

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

3.6.2	Oportunidades	66
3.6.3	Debilidades.....	67
3.6.4	Amenazas.....	68
3.6.5	Estrategias FO, FA, DO y DA	69
3.7	Estudio financiero y escenarios de viabilidad.....	70
3.8	Indicadores financieros de viabilidad.....	73
3.8.1	Escenarios financieros.....	75
3.8.2	Supuestos técnicos para fortalecer el modelo financiero	76
3.8.3	Corrección metodológica del modelo financiero y técnico	77
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		78
4.1	Matriz integral de riesgos.....	78
4.2	Plan de implementación y escalabilidad	81
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
5.1	Conclusiones	85
5.2	Recomendaciones.....	86
REFERENCIAS		89
ANEXOS		92
Anexo A. Fórmulas operativas y financieras sugeridas		92
Anexo B. Plan mínimo de levantamiento de datos para fase piloto Tabla B1.....		92
Anexo C. Criterios de decisión para escalar		93
Anexo D. Modelos de cartas de intención para validar abastecimiento y salida comercial.....		94
Anexo E. Modelos de solicitudes iniciales para trámites aplicables.....		98
Anexo F. Flujo de caja hipotético para sustentar VAN, TIR y payback.....		101
Anexo G. Matriz de medios de verificación para defensa académica		102
Anexo H. Matriz de Control Operativo — triple impacto. Esta matriz amplía la Tabla 6 y la Tabla 12 del documento, incorporando metas numéricas trimestrales en las dimensiones económica, social y ambiental para la fase MVP y la fase de escalamiento modular.		103

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Anexo I. Modelo de Carta de Intención (Letter of Intent — LOI).	103
Anexo J. Formato de Certificación de Gestión y Tratamiento de RAEE.	104

INDICE TABLAS

Tabla 1 Relación entre conceptos teóricos y aplicación en MetalGreen.....	27
Tabla 2 Matriz de integración de documentos fuente	29
Tabla 3 Balance cuantitativo de disponibilidad referencial de RAEE para Quito.	32
Tabla 4 Tasa de captación requerida según escenario de capacidad del MVP	32
Tabla 5 Número estimado de contratos ancla necesarios según tamaño promedio de generador. Se recomienda combinar 3 a 5 contratos de generadores grandes con 10 a 15 de generadores medianos, sin que un cliente concentre más del 25% de la capacidad mensual.	33
Tabla 6 Segmentos prioritarios del mercado.....	34
Tabla 7 Mapa de validación del mercado de RAEE en Quito	36
Tabla 8 Matriz de variables para la validación operativa y comercial de MetalGreen	39
Tabla 9 Indicadores estratégicos de MetalGreen para el MVP en Quito.....	40
Tabla 10 Roles estratégicos del equipo de proyecto	47
Tabla 11 Modelo Canvas resumido de MetalGreen.....	51
Tabla 12 Portafolio comercial de MetalGreen.....	53
Tabla 13 Comparación estratégica: exportar chatarra vs. valorizar localmente	54
Tabla 14 Macroprocesos operativos de MetalGreen.....	56
Tabla 15 Metas operativas preliminares para el MVP en Quito y escalamiento	63
Tabla 16 Plan de inversión inicial y distribución de activos del proyecto MetalGreen	71
Tabla 17 Estructura de financiación del modelo base.....	72
Tabla 18 Indicadores de evaluación financiera del modelo base del proyecto MetalGreen	74

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Tabla 19 Supuestos de escenarios financieros	75
Tabla 20 Resultados comparativos de escenarios de sensibilidad no concluyentes.....	76
Tabla 21 Supuestos técnicos requeridos para el modelo financiero definitivo	77
Tabla 22 Matriz integral de riesgos Matriz por categoría regulatoria, tecnológica, ambiental, de abastecimiento y de precios	79
Tabla 22.1 (nueva) Calendario de cumplimiento regulatorio mínimo antes del arranque operativo.	81
Tabla 23 Cronograma macro de implementación	82
Tabla 24 Flujo de caja hipotético del modelo base descontado al WACC aritmético de 12,00%	101
Tabla 25 Matriz de Control Operativo — Triple Impacto (Fase MVP, meses 6-10). ...	103

CAPITULO 1

1.1 Introducción

El avance tecnológico ha transformado la vida cotidiana, los procesos productivos y la forma en que las instituciones gestionan información, comunicación y operación. Sin embargo, esa misma dinámica ha generado un incremento sostenido de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, conocidos como RAEE. Estos residuos contienen materiales de alto valor económico, como cobre, aluminio, plata y oro, pero también componentes que pueden generar riesgos ambientales y sanitarios cuando no se manejan de forma técnica y trazable.

A escala global, el problema tiene una dimensión relevante. El Global E-waste Monitor 2024 reportó que en 2022 se generaron 62 millones de toneladas de residuos electrónicos y que solo el 22,3% fue documentado como formalmente recolectado y reciclado de forma ambientalmente adecuada (International Telecommunication Union [ITU] & United Nations Institute for Training and Research [UNITAR], 2024). Para Ecuador, la ficha país del mismo sistema estadístico reporta 108 kt de RAEE generado en 2022, 6 kg per cápita y una tasa de recolección formal documentada del 3%, lo cual confirma la magnitud del problema y la brecha de gestión formal que justifica el análisis local en Quito.

Frente a este contexto, MetalGreen se plantea como una empresa de minería urbana sostenible con operación inicial en la ciudad de Quito. Su propósito es transformar los residuos electrónicos generados por empresas, instituciones, universidades, comercios y hogares quiteños en recursos valorizables, mediante un modelo que combina gestión ambiental, recuperación de metales, cumplimiento normativo, trazabilidad documental y generación de ingresos. El proyecto no se limita a recoger residuos; busca resolver un

problema integral de los generadores locales y de los compradores formales de materiales recuperados.

La tesis consolida los avances desarrollados en tres entregables académicos del proyecto: creación de empresas, financiación de proyectos y gestión de personas. A partir de ellos, se construye una propuesta integrada que fortalece la viabilidad técnica, financiera, organizacional y metodológica del lanzamiento de MetalGreen en Quito. Además, se atiende una recomendación central: profundizar el estudio de mercado cuantitativo local, estructurar escenarios financieros con supuestos claros, formalizar la matriz de riesgos, definir cronograma macro e indicadores operativos medibles, y comparar la valorización local frente a la exportación de chatarra sin procesar.

1.2 Planteamiento del problema

El manejo de RAEE en la ciudad de Quito enfrenta una tensión entre riesgo y oportunidad. Por un lado, la disposición inadecuada de residuos electrónicos puede generar contaminación, pérdida de materiales estratégicos y afectaciones a recicladores o comunidades expuestas a prácticas informales. Por otro lado, los RAEE contienen metales y componentes que pueden reinsertarse en cadenas productivas si existe una operación técnica, segura, trazable y económicamente viable a escala local.

El problema central puede formularse de la siguiente manera: Quito requiere modelos empresariales capaces de gestionar RAEE con trazabilidad, cumplimiento ambiental y recuperación de valor, pero la viabilidad de estos modelos depende de validar la disponibilidad real de residuos en la ciudad, el rendimiento técnico de recuperación, la

estabilidad de precios de materiales y la capacidad de cerrar contratos recurrentes con generadores y compradores locales.

En los documentos base del proyecto se identifica una oportunidad clara: crear una empresa de minería urbana en Quito que integre servicios de gestión RAEE, recuperación de metales y comercialización de componentes reutilizables. La proyección nacional se mantiene únicamente como una fase futura de escalamiento, posterior a la validación del MVP en Quito. Para que la propuesta alcance nivel de tesis, se requiere pasar de un planteamiento prometedor a una formulación documental rigurosa, con supuestos explícitos, indicadores verificables a partir de fuentes secundarias y una ruta de implementación local que reduzca la incertidumbre. Esta tesis no levanta datos primarios; toda validación de campo (encuestas, entrevistas o cartas de intención firmadas) queda fuera del alcance metodológico y se traslada como hoja de ruta gerencial posterior a la titulación.

1.2.1 Pregunta De Investigación

¿En qué medida es técnica, financiera, ambiental y organizacionalmente viable el lanzamiento de MetalGreen como empresa de minería urbana sostenible para valorizar metales estratégicos provenientes de RAEE generados y captados en la ciudad de Quito?

1.2.2 Sistematización del problema

- ¿Qué segmentos de clientes y generadores de RAEE ofrecen mayor potencial para una operación inicial delimitada a la ciudad de Quito?

- ¿Qué procesos, recursos y controles técnicos son necesarios para recuperar materiales de forma segura y trazable?
- ¿Qué estructura de inversión y financiación permite sostener la puesta en marcha del proyecto?
- ¿Cuáles son los principales riesgos regulatorios, ambientales, tecnológicos, de abastecimiento y de precios?
- ¿Qué indicadores operativos y financieros deben monitorearse para validar el MVP y escalar el modelo?

1.3 Objetivos de investigación

1.3.1 *Objetivo general*

Evaluar la viabilidad integral del lanzamiento de MetalGreen como empresa de minería urbana sostenible para la valorización comercial de metales estratégicos provenientes de RAEE generados y captados en la ciudad de Quito, mediante el análisis de mercado local, modelo de negocio, estructura técnica, financiación, riesgos, cronograma e indicadores de gestión.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Caracterizar el mercado objetivo de MetalGreen en Quito, identificando segmentos de clientes, generadores de RAEE, compradores de materiales recuperados y variables cuantitativas que deben validarse por zona, tipo de generador y contrato potencial.

- Diseñar el modelo de negocio de la empresa con base en economía circular, cumplimiento regulatorio, trazabilidad y generación de valor económico.
- Definir el proceso técnico-operativo para recolección, clasificación, desmontaje, valorización y comercialización de materiales recuperados.
- Evaluar la viabilidad financiera del proyecto a través de inversión inicial, estructura de financiación, VAN, TIR, WACC, payback y escenarios de sensibilidad.
- Estructurar la gestión de personas, roles, responsabilidades y competencias del equipo directivo del proyecto.
- Construir una matriz integral de riesgos y un cronograma macro con hitos críticos desde la constitución hasta el MVP y el escalamiento modular.
- Formalizar indicadores operativos, financieros, sociales y ambientales con metas preliminares para la fase piloto y el control gerencial.

1.4 Marco teórico y referencial

1.4.1 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

Los RAEE comprenden equipos eléctricos y electrónicos descartados, completos o por componentes, que han llegado al final de su vida útil o han sido reemplazados por obsolescencia tecnológica. Su gestión requiere criterios diferenciados porque contienen materiales aprovechables y, en algunos casos, sustancias o componentes que demandan manejo especializado. Por ello, el RAEE no debe entenderse únicamente como desecho, sino

como una fuente secundaria de recursos que puede ser valorizada dentro de un sistema circular.

El crecimiento global de estos residuos evidencia una brecha entre generación y reciclaje formal. Según ITU y UNITAR (2024), la generación mundial de RAEE ha crecido con mayor velocidad que la recolección y reciclaje documentado, lo que genera pérdidas de recursos y riesgos ambientales. Esta situación abre oportunidades para modelos de minería urbana capaces de recuperar valor y, al mismo tiempo, reducir externalidades negativas.

1.4.2 Minería urbana y valorización de metales estratégicos

La minería urbana consiste en recuperar materiales valiosos presentes en productos, edificios, infraestructuras o residuos urbanos. En el caso de RAEE, su atractivo se encuentra en la presencia de cobre, aluminio, oro, plata y otros materiales con valor comercial. A diferencia de la minería tradicional, la minería urbana parte de residuos ya existentes, por lo que puede reducir presión sobre recursos naturales si se gestiona con tecnologías adecuadas, trazabilidad y control ambiental.

Para MetalGreen, la minería urbana no se plantea solo como una actividad técnica de separación de materiales, sino como un modelo empresarial que integra abastecimiento, logística inversa, desmontaje, tratamiento, control documental, venta de materiales y cumplimiento. La recuperación de valor depende de la calidad de clasificación, del rendimiento metalúrgico, del costo por kilogramo recuperado y de la capacidad de negociar con compradores formales.

1.4.3 Economía circular y responsabilidad extendida del productor

La economía circular propone mantener productos, materiales y recursos en uso durante el mayor tiempo posible, reduciendo la generación de residuos y recuperando valor al final del ciclo de vida. En Ecuador, la gestión RAEE se relaciona con marcos normativos y de política pública que promueven la responsabilidad extendida del productor. El Acuerdo Ministerial MAATE-2022-067 establece el instructivo para aplicar responsabilidad extendida en la gestión integral de RAEE de origen doméstico y alcanza a productores de aparatos eléctricos y electrónicos, incluyendo fabricantes, ensambladores e importadores que ponen productos en el mercado nacional (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2022).

Este marco resulta relevante para MetalGreen porque convierte el cumplimiento ambiental en una necesidad concreta del mercado. Las empresas sujetas a obligaciones de gestión, auditoría o sostenibilidad requieren proveedores capaces de documentar la recepción, tratamiento y destino de los residuos. Por tanto, la propuesta de valor debe enfatizar la trazabilidad y no solo el precio de compra o retiro del material.

La viabilidad comercial del modelo B2B de MetalGreen se fundamenta en que la Responsabilidad Extendida del Productor convierte la gestión documentada de RAEE en una necesidad de cumplimiento, especialmente para fabricantes, ensambladores, importadores y demás actores que ponen aparatos eléctricos y electrónicos en el mercado nacional. En este ecosistema regulatorio, MetalGreen debe posicionarse como un operador formal capaz de entregar trazabilidad, actas, reportes de gestión y certificados de tratamiento o destrucción técnica, siempre que cuente con las autorizaciones ambientales aplicables.

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

1.4.4 Gestión de proyectos y viabilidad empresarial

Desde la dirección de proyectos, el lanzamiento de MetalGreen debe gestionarse como una iniciativa temporal que busca crear una organización operativa con resultados medibles. La Guía del PMBOK establece la importancia de integrar áreas como alcance, cronograma, costos, riesgos, recursos, comunicaciones, interesados y calidad (Project Management Institute [PMI], 2021). En este caso, la complejidad del proyecto aumenta porque combina inversión productiva, permisos, tecnología, mercado B2B/B2G, seguridad industrial y gestión ambiental.

La viabilidad empresarial exige analizar propuesta de valor, segmentos de clientes, recursos clave, estructura de costos, fuentes de ingreso y rentabilidad. El modelo Canvas de Osterwalder y Pigneur (2010) permite ordenar estos componentes de forma visual y estratégica, mientras que los indicadores financieros como VAN, TIR, WACC, ROI y payback permiten evaluar si el proyecto crea valor para los inversionistas (Ross et al., 2019).

Tabla 1

Relación entre conceptos teóricos y aplicación en MetalGreen

Concepto	Aplicación en la tesis	Resultado esperado
RAEE	Fuente de materiales recuperables y pasivo ambiental de empresas e instituciones.	Definición del problema y oportunidad de mercado.
Minería urbana	Recuperación de cobre, aluminio, plata, oro y componentes reutilizables.	Monetización de residuos y reducción de disposición final.

Economía circular	Reinserción de materiales en cadenas productivas.	Modelo sostenible con beneficios ambientales y económicos.
REP y cumplimiento	Servicios documentados para generadores y productores de AEE.	Diferenciación por trazabilidad y soporte regulatorio.
Gestión de proyectos	Control de alcance, cronograma, costos, riesgos y stakeholders.	Implementación ordenada desde MVP hasta escalamiento.

Nota. Tabla elaborada por los autores con base en los entregables del Grupo 5 y en la literatura revisada

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1 Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación se declara de naturaleza documental, con un diseño transaccional-descriptivo. Es documental porque la totalidad de la evidencia utilizada proviene de fuentes secundarias: los tres entregables académicos del Grupo 5, literatura técnica especializada, normativa ecuatoriana vigente, reportes estadísticos internacionales (Global E-waste Monitor 2024) y páginas oficiales de trámites ambientales y municipales. El estudio no aplica, ni planifica aplicar dentro de su alcance, instrumentos de levantamiento primario tales como encuestas, entrevistas estructuradas o grupos focales.

Es transaccional porque la recopilación y el análisis de la información secundaria se realizan en un corte temporal único, correspondiente al periodo de elaboración de la tesis (2026), sin pretensión de seguimiento longitudinal de variables en el tiempo. Es descriptiva porque su propósito es caracterizar el problema, el mercado potencial, el proceso operativo, la estructura financiera, los riesgos y los indicadores de gestión de MetalGreen a partir de la información disponible a la fecha, sin establecer relaciones causales entre variables ni realizar

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

inferencia estadística sobre poblaciones. Las cartas de intención (Anexo D) y el plan de levantamiento documental (Anexo B) se reclasifican como instrumentos de gestión gerencial propuestos para una fase posterior a la titulación, no como resultados de investigación.

2.2 Fuentes de Información

Las fuentes internas corresponden a los tres documentos del Grupo 5: el entregable de creación de empresas, el entregable unificado de financiación de proyectos y el entregable final de gestión de personas. Las fuentes externas incluyen literatura sobre economía circular, RAEE, gestión de proyectos, normativa ecuatoriana y páginas oficiales de trámites ambientales y municipales. Los modelos de cartas, solicitudes y levantamiento documental incluidos en anexos se presentan como herramientas futuras de validación; no constituyen resultados de campo aplicados dentro del alcance de esta tesis

Tabla 2

Matriz de integración de documentos fuente

Documento base	Aporte principal a la tesis	Uso dentro del documento final
Entregable PBL - Creación de Empresas	Cliente idóneo, Canvas, rentabilidad preliminar, escenarios, ESG, procesos,	Base para capítulos de mercado, modelo de negocio, operación, riesgos y control.
	riesgos, cronograma y sistema gerencial.	

Entregable unificado RAEE APA formal - Financiación de Proyectos	Inversión inicial, capital social, estructura propia/ajena, préstamo, WACC, VAN, TIR y payback.	Base para estudio financiero y estructura de financiación.
Tr Final - Gestión de Personas	Equipo multidisciplinario, roles, responsabilidades, competencias, KPIs y cronograma de acciones.	Base para capítulo organizacional, gestión del talento y sistema de indicadores.
Recomendación de fortalecimiento	Profundización de mercado, supuestos financieros, riesgos, cronograma, comparación comercial e indicadores con metas.	Criterio transversal para elevar el trabajo a nivel de tesis.

Nota. Elaboración propia con base en los ejercicios y archivos trabajados durante las sesiones de clase.

2.3 Supuestos y Limitaciones

El estudio reconoce cuatro limitaciones principales. Primero, los documentos base no contienen un levantamiento primario de RAEE para la ciudad de Quito; por ello, no se presentan resultados de encuestas, entrevistas ni cartas reales firmadas como evidencia empírica. Segundo, los rendimientos metalúrgicos y costos por kilogramo recuperado deben comprobarse mediante pruebas piloto con lotes reales captados en Quito. Tercero, la estimación financiera depende de precios de salida, costos de procesamiento, disponibilidad de RAEE y contratos de abastecimiento que todavía deben verificarse. Cuarto, para eliminar la inconsistencia financiera, esta versión adopta un único modelo base de inversión de USD 300.318; cualquier escenario de expansión deberá evaluarse posteriormente como proyecto separado.

2.4 Plan estratégico

2.4.1 Contexto de mercado

En Ecuador, ITU y UNITAR (2024) reportan para 2022 una generación estimada de 108 kt de RAEE. Este dato nacional funciona como referencia de escala, pero no reemplaza un levantamiento local. En consecuencia, el documento no consulta formalmente a empresas o instituciones dentro de su alcance metodológico (sección 2.1); plantea, únicamente como hoja de ruta gerencial posterior a la titulación, una validación futura mediante solicitudes documentales, cartas de intención y pilotos de recolección, sin que ello forme parte de los resultados de esta tesis.

Para una aproximación territorial inicial, la tesis aplica como supuesto demográfico el factor Quito/Ecuador de 16,1%. Bajo ese criterio, 108 kt nacionales x 16,1% equivalen a aproximadamente 17,4 kt de RAEE atribuibles referencialmente al mercado quiteño. Esta cifra no representa demanda capturable por MetalGreen; solo delimita una escala preliminar que debe validarse con inventarios, cartas de intención, convenios de recolección, campañas de acopio y cotizaciones de compradores formales.

Esta cifra no representa demanda capturable por MetalGreen; solo delimita una escala preliminar que debe validarse con inventarios, cartas de intención, convenios de recolección, campañas de acopio y cotizaciones de compradores formales.

Para precisar matemáticamente la disponibilidad de RAEE en Quito, se desarrolla el siguiente balance cuantitativo de oferta:

Tabla 3

Balance cuantitativo de disponibilidad referencial de RAEE para Quito.

Variable	Fórmula	Valor
Generación nacional de RAEE (2022)	Dato ITU/UNITAR (2024)	108.000 t/año
Factor demográfico Quito/Ecuador	Población DMQ ÷ Población nacional	16,1%
RAEE referencial generado en Quito	$108.000 \text{ t} \times 16,1\%$	17.388 t/año ($\approx 17,4 \text{ kt}$)
Fracción formalmente accesible (supuesto conservador)	Techo optimista de canal formal alcanzable vía B2B/B2G, frente a una tasa de recolección formal nacional documentada del 3%	30% del total referencial
Volumen formalmente accesible para Quito	$17.388 \text{ t} \times 30\%$	5.216 t/año ($\approx 435 \text{ t/mes}$)

A partir del volumen formalmente accesible, se calcula la tasa de captación mínima que MetalGreen necesitaría capturar para sostener la meta operativa del MVP (20 a 25 toneladas mensuales): Tasa de captación requerida = $(\text{Demanda del MVP} \div \text{Volumen formalmente accesible}) \times 100$.

Tabla 4

Tasa de captación requerida según escenario de capacidad del MVP.

Escenario MVP	Demanda anual (t)	Volumen accesible (t)	Tasa de captación requerida
Piso (20 t/mes)	240	5.216	4,60%
Techo (25 t/mes)	300	5.216	5,75%
Escalamiento modular (40-50 t/mes)	480 — 600	5.216	9,20% — 11,50%

Para blindar la operación frente a la variabilidad del mercado, se define una política de cobertura contractual mínima equivalente al 150% de la capacidad mensual del MVP:

$$\text{Cobertura contractual mínima} = \text{Capacidad mensual del MVP} \times 1,5.$$

Tabla 5

Número estimado de contratos ancla necesarios según tamaño promedio de generador. Se recomienda combinar 3 a 5 contratos de generadores grandes con 10 a 15 de generadores medianos, sin que un cliente concentre más del 25% de la capacidad mensual.

Perfil de generador	Volumen promedio comprometido	Cobertura objetivo (37,5 t/mes)	Contratos ancla necesarios
Generador pequeño (PYME, comercio tecnológico)	1,0 — 1,5 t/mes	37,5 t/mes	25 a 38 contratos
Generador mediano (institución, universidad)	2,5 — 3,5 t/mes	37,5 t/mes	11 a 15 contratos
Generador ancla (empresa grande, entidad pública)	5,0 — 8,0 t/mes	37,5 t/mes	5 a 8 contratos

Delimitación territorial. La unidad de análisis de esta tesis es la ciudad de Quito, entendida como el mercado inicial para el MVP de MetalGreen. En consecuencia, las proyecciones financieras no deben presentarse como nacionales mientras no exista evidencia de captación fuera de la ciudad. El escalamiento hacia otras provincias se mantiene como una decisión posterior, condicionada a que el piloto quiteño demuestre abastecimiento recurrente, margen por tonelada positivo y trazabilidad documental completa.

2.4.2 Cliente idóneo

El cliente idóneo de MetalGreen en Quito es una organización pública o privada que genera RAEE y necesita una solución formal, segura, documentada y ambientalmente responsable para su recolección, clasificación, tratamiento y valorización. También son

clientes relevantes los gestores autorizados, empresas metalúrgicas, refinerías, recicladores formales o compradores especializados interesados en adquirir materiales recuperados con trazabilidad.

La decisión de compra en este mercado tiende a ser racional. El cliente evalúa cumplimiento normativo, reputación del proveedor, seguridad en el manejo, evidencia documental, capacidad logística, costo total del servicio y posibilidad de recuperar valor económico. Por ello, MetalGreen debe posicionarse como operador especializado de servicio completo: recoge, clasifica, valoriza, documenta y comercializa.

Tabla 6

Segmentos prioritarios del mercado

Segmento	Necesidad principal	Atractivo	Prioridad
Instituciones públicas y universidades de Quito	Gestión formal de equipos obsoletos, campañas y evidencia documental.	Alto	Primaria
Empresas privadas medianas y grandes de Quito	Retiro periódico, orden en bodegas y soporte de cumplimiento.	Alto	Primaria
Empresas tecnológicas, importadores y fabricantes con operación en Quito	Responsabilidad extendida, reputación y cumplimiento ambiental.	Alto	Primaria
Compradores de metales y refinerías	Abastecimiento de material recuperado con calidad y continuidad.	Medio-alto	Secundaria

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Centros de reciclaje y gestores complementarios	Derivación de fracciones, maquila o alianzas de tratamiento.	Medio	Secundaria
Consumidores finales en campañas	Entrega accesible de equipos pequeños y sensibilización.	Medio	Apoyo táctico

Nota. La priorización se fundamenta en recurrencia de generación, urgencia de cumplimiento, facilidad de acceso comercial y potencial de monetización.

La recomendación académica central exige profundizar el estudio de mercado cuantitativo aplicado a Quito. Como en esta etapa no se ejecutaron instrumentos primarios, la tesis estructura una estimación preliminar basada en datos secundarios y define los datos mínimos que deberán levantarse antes del MVP. La validación futura deberá centrarse en volumen disponible, frecuencia de generación, condiciones logísticas, requisitos documentales, precios netos de salida y contratos potenciales.

Como punto de referencia verificable, la tesis adopta el dato de ITU y UNITAR (2024): Ecuador generó aproximadamente 108 kt de RAEE en 2022. Al aplicar el factor demográfico Quito/Ecuador de 16,1%, se obtiene una estimación referencial de 17,4 kt para Quito. Este cálculo no se convierte automáticamente en ingresos proyectados porque debe ajustarse por tasa real de captación, tipo de generador, composición del RAEE, logística urbana y contratos efectivamente firmados.

Por tanto, la estimación local se mantiene como hipótesis de dimensionamiento, no como evidencia de demanda. En esta versión, el mapa de validación del mercado quiteño se centra en identificar generadores, toneladas reales disponibles, frecuencia de retiro,

condiciones logísticas, precios netos de salida y compradores formales de materiales recuperados.

Tabla 7

Mapa de validación del mercado de RAEE en Quito

Zona/segmento	Generadores potenciales	Dato mínimo a levantar	Uso para MetalGreen
Norte y centro-norte	Empresas privadas, universidades, instituciones, edificios corporativos y comercios tecnológicos.	Toneladas acumuladas, frecuencia de baja, tipo de RAEE y condiciones de retiro.	Priorizar clientes ancla y rutas de mayor recurrencia.
Centro institucional	Dependencias públicas, unidades educativas, entidades administrativas y bodegas institucionales.	Inventarios, procesos de baja de activos, requisitos documentales y tiempos de autorización.	Diseñar trazabilidad, actas, reportes y soporte para auditoría.
Sur de Quito	Empresas, talleres, comercios, bodegas, instituciones educativas y generadores domiciliarios organizados.	Volumen por lote, tiempos logísticos, accesibilidad, costos de transporte y frecuencia de campañas.	Determinar costos logísticos urbanos y puntos de acopio tácticos.

Valles DMQ	Comercios, urbanizaciones, centros educativos, empresas de servicios y campañas comunitarias.	Demanda de campañas, puntos de entrega, costos de recolección y volumen por jornada.	Evaluar cobertura complementaria sin sobredimensionar la planta inicial.
Gestores/compradores	Gestores ambientales, recicladores formales, compradores de metales y componentes.	Precios netos, requisitos de calidad, volúmenes mínimos de compra y condiciones de pago.	Validar salida comercial, margen por tonelada y sensibilidad de precios.

Nota. Elaboración propia con base en el análisis del mercado potencial de RAEE en el Distrito Metropolitano de Quito.

Para convertir esta validación en un estudio de mercado robusto, MetalGreen deberá levantar en una fase posterior cuatro datos por zona y tipo de generador en Quito: volumen de RAEE disponible, volumen recuperable, tasa de captura formal posible y precio neto por tipo de material. Sin esta validación, el análisis financiero puede sobreestimar ingresos, subestimar costos logísticos o asumir una capacidad de planta superior al abastecimiento real de la ciudad.

Para convertir esta validación en un estudio de mercado robusto, MetalGreen debe levantar cuatro datos por zona y tipo de generador en Quito: volumen de RAEE disponible, volumen recuperable, tasa de captura formal posible y precio neto por tipo de material. Sin esta validación, el análisis financiero puede sobreestimar ingresos, subestimar costos logísticos o asumir una capacidad de planta superior al abastecimiento real de la ciudad.

2.4.3 *Medios de verificación para sustentar la prefactibilidad*

- Toda cifra usada en el modelo deberá vincularse con una fuente verificable o con un cálculo trazable. En esta tesis, los valores de mercado se mantienen como hipótesis de prefactibilidad cuando no existe evidencia local directa. Para la fase de validación se recomienda usar los siguientes medios de verificación:
- Volumen de RAEE: reportes oficiales del MAATE, bases de importación de equipos del Banco Central del Ecuador, información ambiental del INEC y registros de gestores autorizados, cuando estén disponibles.
- Precios de metales: series históricas de la London Metal Exchange u otras fuentes especializadas verificables, descontando fletes, mermas y costos de comercialización.
- Costos de financiamiento: boletines de tasas de interés del Banco Central del Ecuador, alineados al segmento productivo aplicable al proyecto.
- Demanda B2B: obligaciones de cumplimiento vinculadas a la Responsabilidad Extendida del Productor, programas de gestión integral, actas, reportes y certificados exigidos por clientes sujetos a auditoría ambiental.
- Demanda de materiales recuperados: cotizaciones formales de compradores, gestores ambientales, refinerías o industrias consumidoras de materiales secundarios.

Tabla 8

Matriz de variables para la validación operativa y comercial de MetalGreen

Variable	Dato requerido	Fuente sugerida	Uso en el modelo
Volumen RAEE en Quito	Toneladas disponibles por zona de Quito y tipo de generador.	Inventarios B2B/B2G, gestores autorizados, campañas locales, empresas e instituciones quiteñas.	Definir capacidad del MVP, rutas urbanas y requerimiento de bodega.
Tasa real de captación	Porcentaje de RAEE local que MetalGreen puede contratar, retirar y procesar.	Pilotos en Quito, cartas de intención, contratos y campañas locales.	Proyectar toneladas procesadas en Quito.
Rendimiento de recuperación	kg de metal recuperado por tonelada de RAEE captada en Quito.	Pruebas piloto y caracterización de lotes locales.	Calcular ingresos por valorización.
Precio de salida	USD/kg o USD/t por material recuperado vendido desde Quito.	Compradores locales, refinerías, precios internacionales, fletes y contratos marco.	Proyectar ingresos y sensibilidad.
Costo de procesamiento	USD/kg recuperado y USD/t procesada.	Piloto, costos de energía, mano de obra, reactivos y mantenimiento.	Calcular margen por tonelada.
Contratos potenciales	Número de clientes ancla y toneladas comprometidas.	Prospección comercial B2B/B2G.	Reducir riesgo de abastecimiento.

Nota. Esta matriz define las variables que deberán comprobarse en una fase posterior. No representa resultados de encuestas, entrevistas ni cartas reales aplicadas dentro del alcance metodológico de esta tesis.

2.4.4 Sistema gerencial e indicadores

El sistema gerencial debe conectar estrategia, operación, cumplimiento y finanzas. Se propone un tablero mensual de control con indicadores operativos, financieros, ambientales y sociales. La utilidad del tablero no está en acumular datos, sino en detectar desviaciones y asignar acciones correctivas con responsables y fechas.

Tabla 9

Indicadores estratégicos de MetalGreen para el MVP en Quito

Dimensión	Indicador	Meta preliminar	Frecuencia	Responsable
Operativa	Toneladas de RAEE recibidas	20-25 t/mes en Quito, sujeto a validación en MVP	Mensual	Logística
Operativa	Abastecimiento	Índice de Cobertura de Abastecimiento (ICA)	150%	Comercial
Operativa	Eficiencia de desensamble	$\geq 90\%$	Mensual	Operaciones
Técnica	Rendimiento de recuperación	$\geq 85\%$ piloto; $\geq 95\%$ estabilizado	Mensual	Procesos
Financiera	Margen por tonelada	Positivo y creciente por lote	Mensual	Finanzas
Financiera	Precisión del flujo de caja	Desviación $\leq 5\%$	Mensual	Finanzas
Ambiental	Trazabilidad documental	100% de lotes registrados	Mensual	Compliance
Seguridad	Operaciones sin accidentes incapacitantes	100%	Inmediata / mensual	HSEQ

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Comercial	Renovación de contratos	$\geq 70\%$ de contratos recurrentes	Trimestral	Comercial
Social	Horas de capacitación	Mínimo 8 h/persona/trimestre	Trimestral	RR. HH.
Gobernanza	No conformidades críticas	0 críticas abiertas	Mensual	Gerencia

El sistema de indicadores permitirá evaluar continuamente el desempeño del proyecto durante la fase MVP, facilitando la validación de supuestos financieros, operativos y técnicos antes de una posible etapa de escalamiento.

Índice de Cobertura de Abastecimiento (ICA) = $(\text{Toneladas comprometidas por contrato vigente} \div \text{Capacidad instalada mensual}) \times 100$. Meta operativa: $\text{ICA} \geq 150\%$ de forma sostenida. Alerta temprana: ICA entre 100% y 150% activa gestión comercial proactiva de nuevos contratos. Alerta crítica: $\text{ICA} < 100\%$ activa el protocolo de campañas de acopio complementarias como mecanismo de contingencia inmediata

Asimismo, se establece como escenario financiero base el modelo de inversión de USD 300.318, considerando que los indicadores VAN, TIR, ROI y periodo de recuperación serán recalculados únicamente cuando existan datos reales de operación del MVP en Quito.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO

3.1 Propuesta de valor

3.1.1 *Problema que resuelve MetalGreen*

En la ciudad de Quito existe un crecimiento sostenido en la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), impulsado por el aumento del consumo tecnológico y la rápida obsolescencia de equipos electrónicos. Una parte importante de estos residuos es manejada de forma informal, sin trazabilidad, controles ambientales ni procesos técnicos adecuados, generando riesgos de contaminación, pérdida de materiales valorizables y afectaciones a la salud y al medio ambiente.

Además, muchas empresas e instituciones no cuentan con gestores especializados que garanticen una disposición segura, documentada y alineada con la normativa ambiental vigente. Esta situación provoca dificultades para cumplir requisitos regulatorios, asegurar la cadena de custodia y demostrar una correcta gestión de los residuos tecnológicos.

Frente a esta problemática, MetalGreen surge como una propuesta orientada a formalizar y optimizar la gestión de RAEE mediante procesos seguros, trazables y sostenibles.

3.1.2 *Solución propuesta por MetalGreen*

MetalGreen propone un modelo integral de recuperación y valorización de residuos electrónicos enfocado en la recolección, clasificación, desmontaje y aprovechamiento de materiales recuperables presentes en la RAEE.

El modelo operativo incorpora procedimientos técnicos para la segregación de componentes, recuperación de materiales valorizables y manejo adecuado de residuos

peligrosos o especiales, garantizando trazabilidad documental y cumplimiento ambiental durante todas las etapas del proceso.

Asimismo, la propuesta contempla un esquema de escalamiento modular mediante un MVP (Producto Mínimo Viable), permitiendo validar progresivamente la operación, los costos, el rendimiento técnico y la viabilidad financiera antes de realizar inversiones de expansión.

3.1.3 Beneficios para el cliente

La propuesta de valor de MetalGreen genera beneficios tanto económicos como ambientales para empresas, instituciones y organizaciones generadoras de RAEE.

Entre los principales beneficios se encuentran:

- Gestión formal y regulada de residuos electrónicos.
- Cumplimiento de normativa ambiental vigente.
- Certificados de disposición y destrucción técnica.
- Reducción de riesgos ambientales y reputacionales.
- Recuperación y valorización de materiales aprovechables.
- Seguridad en el manejo y almacenamiento de residuos.
- Contribución a la economía circular y sostenibilidad empresarial.

Adicionalmente, el modelo permite a las organizaciones fortalecer sus políticas de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa mediante prácticas alineadas con principios ambientales y de gestión responsable de residuos.

3.1.4 *Diferenciación competitiva*

MetalGreen se diferencia de los gestores informales y operadores tradicionales debido a que integra componentes técnicos, ambientales, financieros y de trazabilidad dentro de un mismo modelo de negocio.

A diferencia de modelos enfocados únicamente en la compra y venta de chatarra electrónica, MetalGreen prioriza —en línea con los principios de ventaja competitiva (Porter, 2008)—:

- La trazabilidad documental de los residuos.
- El cumplimiento regulatorio y ambiental.
- La seguridad industrial y protocolos HSEQ.
- La valorización técnica de materiales recuperables.
- La transparencia operativa y cadena de custodia.
- El enfoque de economía circular.
- La planificación financiera y control de riesgos.

Esta diferenciación permite generar mayor confianza en clientes corporativos e institucionales, especialmente en sectores que requieren evidencia documental y cumplimiento ambiental para auditorías, certificaciones y controles regulatorios.

3.2 Misión y Visión de la empresa

3.2.1 *Misión*

MetalGreen es una empresa dedicada a la gestión integral, recuperación y valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), mediante procesos técnicos,

seguros y ambientalmente responsables. La organización busca generar valor económico y ambiental a través de la economía circular, garantizando trazabilidad, cumplimiento normativo y sostenibilidad en cada etapa del manejo de residuos electrónicos, contribuyendo al desarrollo responsable y sostenible de la ciudad de Quito.

3.2.2 *Visión*

Consolidarse como una empresa líder en Ecuador en la gestión y valorización sostenible de residuos electrónicos, reconocida por su innovación, trazabilidad, cumplimiento ambiental y eficiencia operativa, promoviendo modelos de economía circular que impulsen la recuperación responsable de materiales y generen impacto positivo en el ámbito ambiental, social y económico.

3.3 Estudio organizacional y gestión de personas

La gestión de personas constituye un componente estratégico dentro del modelo de negocio de MetalGreen, debido a que la operación del proyecto requiere personal multidisciplinario con competencias técnicas, financieras, operativas y de gestión. La correcta planificación del talento humano permite asegurar la ejecución eficiente de las actividades relacionadas con la recuperación y valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), garantizando cumplimiento técnico, sostenibilidad financiera y control operativo.

El modelo organizacional de MetalGreen se encuentra estructurado sobre un equipo interdisciplinario conformado por profesionales especializados en ingeniería, logística,

finanzas, gestión de riesgos y seguridad industrial, permitiendo cubrir los principales ejes del proyecto: técnico, económico y de gestión.

3.3.1 Estructura del talento humano

La estructura del talento humano fue diseñada considerando las necesidades operativas y estratégicas del proyecto, asignando responsabilidades específicas a cada integrante según su experiencia profesional y especialización técnica.

El equipo de trabajo está conformado por siete profesionales con experiencia en sectores industriales, minería, logística, construcción, mantenimiento, finanzas y gestión operativa. Entre las principales áreas de especialización se encuentran:

- Ingeniería de minas y regulación minera.
- Ingeniería electrónica y automatización.
- Ingeniería mecánica y procesos industriales.
- Gestión logística y cadena de suministro.
- Finanzas corporativas y evaluación de proyectos.
- Seguridad industrial y salud ocupacional.
- Planificación técnica y control de proyectos.

Esta diversidad de perfiles permite fortalecer la capacidad técnica y operativa de MetalGreen, facilitando la toma de decisiones y la coordinación entre las distintas áreas del proyecto.

3.3.2 Roles y responsabilidades

El proyecto requiere un equipo multidisciplinario porque combina minería, electrónica, mecánica, logística, obra civil, finanzas, seguridad industrial, regulación y gestión de interesados. Los documentos base identifican siete perfiles profesionales que cubren estas áreas críticas. La gestión de personas no debe entenderse como un componente administrativo secundario; en MetalGreen es un factor de viabilidad porque la operación depende de decisiones técnicas, coordinación, disciplina documental y cultura de seguridad.

Tabla 10

Roles estratégicos del equipo de proyecto

Integrante	Formación	Cargo asignado	Responsabilidad principal
Diego Barros	Ingeniero de Minas	Director de Proyecto y Regulación Minera	Liderazgo estratégico, ruta de permisos y cumplimiento regulatorio.
Wellington Chipe	Ingeniero Electrónico	Responsable de Logística y Suministro	Diseño de cadena de recolección y logística inversa.
Diego Rodríguez	Ingeniero Mecánico	Director de Procesos e Ingeniería de Planta	Diseño de flujo de recuperación y optimización técnica.
Erick Aguilera	Ingeniero en Telecomunicaciones	Gestor de Riesgos y Stakeholders	Gestión de riesgos, interesados y negociación con gestores.

Pablo Cerón	Ingeniero Civil	Coordinador de Planificación Técnica	Control de hitos, cronograma e infraestructura.
Madolyn Ruiz	Economista	Gerente de Finanzas y Sostenibilidad	Evaluación de rentabilidad, costos y financiamiento.
David Albán	Ingeniero Electrónico	Jefe de Infraestructura y Seguridad Industrial	Adecuación de planta, seguridad y continuidad operativa.

***Nota.** Elaboración propia con base en el entregable correspondiente al componente de Gestión de Personas.*

3.3.3 Capacitación y desarrollo

Debido a la naturaleza técnica y ambiental del proyecto, MetalGreen considera fundamental la capacitación continua del personal en temas relacionados con:

- Manejo seguro de residuos electrónicos.
- Seguridad industrial y salud ocupacional.
- Gestión ambiental y normativa vigente.
- Procesos hidrometalúrgicos y recuperación de materiales.
- Gestión de riesgos operativos.
- Uso adecuado de equipos de protección personal (EPP).
- Mejora continua y optimización de procesos.

El fortalecimiento de capacidades técnicas y gerenciales permitirá mejorar la eficiencia operativa, reducir riesgos y garantizar el cumplimiento de estándares ambientales y de seguridad industrial.

3.3.4 Liderazgo y trabajo en equipo

El modelo de gestión de personas de MetalGreen promueve un enfoque colaborativo y multidisciplinario, orientado a fortalecer la comunicación efectiva, la coordinación técnica y la toma de decisiones basada en evidencia.

El liderazgo dentro del proyecto se enfoca en:

- Coordinación eficiente entre áreas técnicas y administrativas.
- Resolución de problemas operativos.
- Cumplimiento de objetivos estratégicos.
- Gestión proactiva de riesgos.
- Cultura de mejora continua.
- Adaptabilidad y sostenibilidad organizacional.

Asimismo, el trabajo en equipo representa un elemento clave para garantizar el cumplimiento de metas técnicas, financieras y ambientales del proyecto.

3.3.5 Planificación, control y evaluación del desempeño

MetalGreen implementa un sistema de seguimiento y evaluación basado en indicadores clave de desempeño (KPIs), con el objetivo de medir la eficiencia operativa, productividad y cumplimiento de metas estratégicas.

Entre los principales indicadores definidos se encuentran:

- Índice de cumplimiento regulatorio.
- Índice de desempeño del cronograma (SPI).
- Tasa de abastecimiento de RAEE.
- Eficiencia logística.

- Rendimiento teórico de recuperación.
- Índice de optimización de reactivos.
- Disponibilidad operativa de equipos.
- Índice de cumplimiento ambiental.
- Precisión del flujo de caja proyectado.
- Índice de rentabilidad del proyecto.

Estos indicadores permiten identificar desviaciones, implementar acciones correctivas y fortalecer el sistema de control de gestión del proyecto.

3.3.6 *Seguridad y salud ocupacional*

Considerando que el proyecto involucra manipulación de residuos electrónicos, equipos industriales y sustancias químicas, MetalGreen incorpora protocolos de seguridad industrial y salud ocupacional orientados a minimizar riesgos laborales y garantizar condiciones seguras de trabajo.

Entre las principales medidas implementadas se encuentran:

- Uso obligatorio de equipos de protección personal.
- Procedimientos seguros de manipulación y almacenamiento.
- Gestión de riesgos eléctricos y químicos.
- Capacitación en seguridad industrial.
- Protocolos de respuesta ante incidentes.
- Cumplimiento de normativa ambiental y ocupacional.

El enfoque preventivo de seguridad contribuye a proteger la integridad del personal y asegurar la continuidad operativa del proyecto.

3.4 Modelo de negocio

MetalGreen se plantea como una empresa de servicios ambientales y valorización de residuos electrónicos con enfoque de economía circular. Su actividad principal consiste en recolectar, recibir, clasificar, desmontar, tratar y recuperar materiales provenientes de RAEE, generando ingresos por servicios de gestión, contratos de cumplimiento ambiental, venta de metales recuperados y comercialización de componentes reutilizables.

La misión propuesta es gestionar y valorizar RAEE de manera segura, eficiente y trazable, transformando residuos electrónicos de Quito en recursos aprovechables para clientes que buscan cumplimiento ambiental, sostenibilidad y reducción de riesgos. La visión es posicionarse primero como un referente local en minería urbana y economía circular en Quito, con capacidad de escalar modularmente hacia otras ciudades solo después de validar el modelo técnico-financiero local.

Tabla 11

Modelo Canvas resumido de MetalGreen

Bloque Canvas	Definición para MetalGreen
Segmentos de clientes	Empresas tecnológicas con operación en Quito, instituciones públicas, universidades, empresas privadas, gestores ambientales, compradores de metales y consumidores en campañas de acopio local.

Propuesta de valor	Gestión formal, segura y trazable de RAEE, con recuperación de valor, soporte documental y reducción de impacto ambiental.
Canales	Prospección directa, convenios, centros de acopio, campañas institucionales, redes profesionales y plataformas digitales.
Relación con clientes	Contratos de servicio, reportes de trazabilidad, asistencia técnica, certificados de tratamiento y seguimiento postservicio.
Fuentes de ingreso	Venta de metales recuperados, servicios RAEE, contratos REP/ESG y venta de componentes reutilizables.
Recursos clave	Planta, maquinaria, vehículos, personal técnico, licencias, software de trazabilidad y red de proveedores.
Actividades clave	Recolección, pesaje, clasificación, desmontaje, tratamiento, recuperación, almacenamiento, venta y reporting.
Socios clave	Municipios, universidades, empresas tecnológicas, gestores formales, recicladores de base, compradores de metales y entidades financieras.
Estructura de costos	Maquinaria, infraestructura, salarios, logística, energía, mantenimiento, cumplimiento, marketing e investigación.

Nota. Síntesis construida a partir del Canvas y la propuesta estratégica de los documentos base.

3.4.1 Portafolio de productos y servicios

El portafolio de MetalGreen debe equilibrar ingresos por servicio e ingresos por valorización. Esta diversificación es importante porque los precios de metales pueden ser

volátiles; en cambio, los contratos de gestión y trazabilidad pueden generar recurrencia y estabilidad de caja.

Tabla 12

Portafolio comercial de MetalGreen

Línea	Descripción	Cliente objetivo	Valor generado
Recolección y logística	Retiro programado de RAEE con actas, pesaje y cadena de custodia.	Empresas e instituciones.	Orden, trazabilidad y reducción de riesgo operativo.
Clasificación y tratamiento	Segregación, desmontaje, almacenamiento temporal y tratamiento según tipo de residuo.	Generadores de RAEE.	Cumplimiento y manejo técnico.
Valorización de materiales	Recuperación y venta de cobre, aluminio, plata, oro y otros materiales.	Compradores y refinerías.	Monetización del residuo.
Componentes reutilizables	Revisión y comercialización de tarjetas, fuentes, repuestos y piezas funcionales.	Mercado técnico y reparadores.	Extensión de vida útil.
Soporte documental	Reportes, certificados, evidencias y soporte para auditoría ESG/REP.	Empresas con exigencias de cumplimiento.	Respaldo reputacional y legal.

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Campañas de acopio	Puntos de recolección y jornadas educativas con aliados.	Municipios, universidades y comunidades.	Posicionamiento y abastecimiento complementario.
--------------------	--	--	--

Nota: Elaboración propia derivada de la estructuración del portafolio de servicios comerciales de MetalGreen.

3.4.2 Comparación frente a exportación de chatarra sin procesar

Una recomendación clave para robustecer la tesis es comparar la valorización local en Quito con la exportación de chatarra sin procesar. En esta etapa no se dispone de precios reales por lote captado en la ciudad, por lo que el análisis se presenta como matriz de decisión. La comparación debe cerrarse en el MVP mediante cotizaciones de exportación, precios locales por metal, costos logísticos desde Quito, rendimiento de recuperación y costos de cumplimiento.

Tabla 13

Comparación estratégica: exportar chatarra vs. valorizar localmente

Criterio	Exportación sin procesar	Valorización local con MetalGreen
Ingreso unitario	Depende del precio del comprador y puede castigar material mezclado.	Puede capturar mayor valor si se separan metales y componentes.
Trazabilidad	Riesgo de menor control sobre destino final si no existe documentación robusta.	Mayor control de cadena de custodia, reportes y certificación.
Impacto ambiental local	Reduce inventarios, pero traslada parte del valor y tratamiento fuera del país.	Fomenta capacidad local de tratamiento y circularidad.

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Empleo y capacidades	Menor generación de capacidades técnicas internas.	Mayor generación de empleo especializado y aprendizaje industrial.
Riesgo de precio	Exposición directa a precio de chatarra y flete.	Exposición a metales, pero con posibilidad de diversificar ingresos por servicios.
Escalabilidad	Depende de compradores externos y logística internacional.	Escalable por módulos si se aseguran contratos de abastecimiento y compradores.

Nota. La decisión final debe tomarse con margen neto por tonelada: ingreso por material menos costo logístico, procesamiento, cumplimiento y comercialización.

3.5 Estudio técnico, operativo y ambiental

3.5.1 Arquitectura del proceso operativo

La arquitectura operativa de MetalGreen debe asegurar trazabilidad desde la generación del residuo hasta la salida del material valorizado. El flujo inicia con la captación del cliente y levantamiento de inventario, continúa con programación de retiro, recepción, pesaje, registro, desmontaje, clasificación y recuperación, y finaliza con la venta de materiales y emisión de reportes de cierre documental.

Tabla 14

Macroprocesos operativos de MetalGreen

Macroproceso	Actividad principal	Salida clave	Responsable líder
Comercial	Prospección, diagnóstico y formalización contractual.	Contrato, inventario y cronograma de retiro.	Coordinación comercial.
Logística de entrada	Retiro, transporte, recepción, pesaje e identificación de lotes.	Acta de recepción y registro de ingreso.	Responsable de logística.
Clasificación y desmontaje	Segregación por tipo, condición y aprovechamiento.	Fracciones clasificadas.	Jefatura de operaciones.
Recuperación y valorización	Extracción, acondicionamiento o preparación de materiales aprovechables.	Metales y componentes para venta.	Dirección técnica.
Comercialización de salida	Negociación, despacho y facturación de materiales recuperados.	Ingreso comercial y cierre de lote.	Comercial y finanzas.
Cumplimiento y trazabilidad	Control documental, reportes, auditorías y evidencias.	Certificado o reporte de gestión.	HSEQ/compliance.
Soporte	Compras, RR. HH., mantenimiento, TI y finanzas.	Continuidad operativa.	Administración.

Nota. Elaboración propia derivada del análisis y definición de macroprocesos del sistema operativo de MetalGreen.

3.5.2 *Proceso integral de recuperación de metales*

Para fortalecer la coherencia técnica del proyecto, MetalGreen debe describirse no solo como una empresa de recolección de RAEE, sino como una operación integral de valorización. El proceso propuesto para Quito se estructura como una cadena cerrada de recepción, clasificación física y mecánica, preparación de fracciones, recuperación metalúrgica, control de calidad, comercialización y cierre documental. Cada etapa debe generar evidencia verificable para conectar la operación con el modelo financiero y con los indicadores de rendimiento por lote.

Recepción, pesaje y registro del RAEE: El proceso inicia con la programación del retiro o recepción del material en planta. Al ingresar el RAEE, el equipo operativo debe verificar el origen del residuo, registrar al generador, emitir el acta de recepción, pesar el lote, fotografiar la carga y asignar un código único de trazabilidad. Este registro permite mantener cadena de custodia desde el generador hasta el destino final de los materiales valorizados. En esta fase también se identifican equipos completos, componentes reutilizables, residuos especiales y materiales que requieren manejo diferenciado por seguridad ambiental.

Clasificación física y mecánica: Una vez recibido el lote, se realiza una clasificación física por tipo de equipo, composición aparente, estado de conservación y potencial de aprovechamiento. Esta etapa separa computadoras, tarjetas electrónicas, cables, fuentes, motores, carcasas metálicas, plásticos, baterías, pantallas y otros componentes. Posteriormente, la clasificación mecánica permite acondicionar las fracciones mediante desmontaje manual, separación de piezas, corte controlado, trituración o reducción de tamaño

cuando sea técnicamente conveniente, y separación magnética, gravimétrica o por densidad para diferenciar materiales ferrosos, no ferrosos, plásticos y fracciones de alto valor.

La finalidad de esta fase no es recuperar todavía el metal refinado, sino concentrar materiales y reducir la mezcla que disminuye el valor comercial del residuo. Por ello, los componentes con mayor contenido de cobre, aluminio, acero, tarjetas electrónicas y conectores deben registrarse por peso y calidad, ya que esos datos alimentan el cálculo del rendimiento real por tonelada procesada en Quito.

Desmontaje, segregación y preparación de fracciones valorizables: El desmontaje técnico separa los componentes que pueden comercializarse directamente de aquellos que requieren tratamiento posterior. Los cables se destinan a recuperación de cobre y recubrimientos; las carcasas metálicas se derivan a chatarra ferrosa o no ferrosa; las tarjetas electrónicas y conectores se clasifican como fracción de mayor valor; y los plásticos se separan según posibilidad de reciclaje o disposición autorizada. Las piezas funcionales o reutilizables, como fuentes, memorias, ventiladores, tarjetas específicas o repuestos en buen estado, deben evaluarse antes de enviarlas a destrucción, porque la reutilización puede generar mayor valor que la recuperación de material.

En esta etapa se elabora una ficha técnica por lote con entradas, salidas, mermas y residuos no valorizables. La ficha debe indicar peso inicial, peso por fracción, tiempo de desensamble, mano de obra utilizada, observaciones de seguridad y destino previsto. Esta información permite comparar el rendimiento esperado con el rendimiento real y evita que las proyecciones financieras se basen únicamente en supuestos generales.

Proceso metalúrgico de recuperación del metal: La recuperación metalúrgica corresponde a la etapa en la que las fracciones previamente clasificadas se transforman en materiales con mayor pureza y valor comercial. Para metales base, como cobre, aluminio y acero, el proceso puede concentrarse en separación física, limpieza, compactación, acondicionamiento y venta como material clasificado. Para fracciones de mayor valor, como tarjetas electrónicas, conectores y contactos, se requiere una ruta técnica más rigurosa que puede incluir concentración mecánica y, en una fase posterior validada, procesos hidrometalúrgicos o envío a refinerías especializadas.

Dado que el tratamiento químico de RAEE puede generar riesgos por reactivos, emisiones, lodos y efluentes, el MVP de Quito no debe asumir recuperación química completa sin pruebas piloto, permisos, protocolos HSEQ y balance ambiental. La alternativa más prudente es iniciar con desmontaje, concentración y comercialización de fracciones de alto valor a compradores o refinerías autorizadas, mientras se ejecutan ensayos controlados para medir recuperación real de oro, plata, cobre u otros metales por tonelada. Solo cuando existan resultados técnicos, permisos y costos verificados se debería incorporar una línea metalúrgica propia de mayor complejidad.

Para efectos del modelo financiero, esta etapa debe producir datos medibles: kilogramos recuperados por tipo de metal, porcentaje de recuperación frente al material teórico disponible, costo de procesamiento por lote, consumo energético, costo de insumos, merma, residuo no valorizable y precio neto de venta. Sin esta medición, los ingresos por recuperación metálica deben mantenerse como hipótesis preliminares y no como evidencia concluyente de rentabilidad.

Control de calidad, almacenamiento y trazabilidad de salida: Los materiales recuperados o concentrados deben pasar por control de calidad antes de su almacenamiento y venta. El control incluye verificación de peso, limpieza, homogeneidad de la fracción, ausencia de contaminantes evidentes, rotulado del lote y registro fotográfico. El almacenamiento debe separar metales ferrosos, aluminio, cobre, tarjetas electrónicas, plásticos, componentes reutilizables y residuos especiales, evitando mezclas que reduzcan valor comercial o generen riesgos de seguridad.

La trazabilidad de salida debe vincular cada venta o despacho con el lote de origen. De esta manera, MetalGreen puede demostrar al cliente generador qué ocurrió con su RAEE, qué porcentaje fue valorizado, qué fracción fue enviada a disposición autorizada y qué materiales ingresaron nuevamente a una cadena productiva.

Comercialización de metales y componentes recuperados: La comercialización constituye la etapa final del ciclo operativo. Los metales base clasificados, las fracciones concentradas, los componentes reutilizables y los materiales con potencial de refinación deben venderse a compradores formales, gestores autorizados, recicladores especializados, industrias consumidoras de material secundario o refinerías. La negociación debe considerar precio por kilogramo o tonelada, pureza, volumen mínimo, costos de transporte, condiciones de pago, documentación requerida y estabilidad del comprador.

Para mejorar la estabilidad de ingresos, MetalGreen debe evitar depender de una sola salida comercial. Se recomienda estructurar contratos marco para cobre, aluminio y acero; acuerdos específicos para tarjetas electrónicas o concentrados de alto valor; y canales diferenciados para componentes reutilizables. La empresa también debe emitir reportes de

cierre para los clientes generadores, integrando pesos recibidos, pesos valorizados, destino de materiales, evidencias y certificado de gestión. Este cierre documental refuerza la propuesta de valor porque combina recuperación económica con cumplimiento ambiental y trazabilidad.

La operación debe evitar compras informales sin trazabilidad y asegurar cadena de custodia sobre los residuos recibidos. Los procesos de desmontaje, almacenamiento y valorización requieren protocolos de seguridad, equipos de protección personal, segregación de fracciones peligrosas o especiales, capacitación y control de incidentes. La legitimidad del modelo depende tanto de recuperar valor económico como de demostrar que el manejo ambiental es superior a las prácticas informales.

3.5.3 Ruta legal y permisos iniciales aplicables en Quito

Antes de operar, MetalGreen deberá iniciar la regularización ambiental y municipal correspondiente a su actividad real, ubicación, capacidad instalada, procesos de tratamiento y tipo de residuos manejados. El tipo exacto de autorización será determinado por la categorización en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) y por la autoridad competente. De forma preliminar, la ruta legal mínima debería considerar lo siguiente:

- Categorización ambiental en SUIA y obtención de la autorización administrativa ambiental que corresponda. En el Distrito Metropolitano de Quito, los proyectos de impacto ambiental no significativo tramitan certificado ambiental; los de mediano o alto impacto pueden requerir licencia ambiental, siempre que no sean competencia exclusiva del MAATE o se ubiquen en áreas de protección.

- Registro de generador de residuos y desechos peligrosos y especiales ante el MAATE, si la operación genera, almacena o transfiere fracciones peligrosas o especiales. Este registro permite controlar la trazabilidad desde la generación hasta el tratamiento, reciclaje o disposición final.
- Permiso o autorización ambiental como gestor o prestador de servicios de gestión, cuando MetalGreen realice almacenamiento, transporte, tratamiento, reciclaje, aprovechamiento o disposición de residuos/desechos peligrosos o especiales. Esta condición debe validarse directamente en SUIA y con la autoridad ambiental competente.
- Plan de Manejo Ambiental, bitácoras de almacenamiento, manifiestos únicos de entrega-recepción, actas de destrucción técnica o certificados de gestión, según el alcance autorizado y las obligaciones de seguimiento.
- Licencia Metropolitana Única para el Ejercicio de Actividades Económicas (LUAE), patente municipal y compatibilidad de uso de suelo del establecimiento donde opere la planta o bodega de MetalGreen.
- Permiso de funcionamiento y revisión de prevención contra incendios por el Cuerpo de Bomberos de Quito, cuando el trámite municipal o la actividad económica lo requiera.

Esta ruta legal debe tratarse como punto de partida. No reemplaza la revisión de un especialista ambiental ni el pronunciamiento formal de la autoridad competente; su función dentro de la tesis es mostrar que el modelo operativo reconoce los permisos críticos antes de comprometer inversión y escalamiento.

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

3.5.4 Capacidad de MVP y escalamiento modular

La fase MVP debe validar que el modelo funciona antes de realizar inversiones de expansión. Por ello, se propone iniciar con un módulo operativo de baja complejidad, centrado en recolección, clasificación, desmontaje, venta de componentes reutilizables y preparación de fracciones metálicas. Los procesos de recuperación avanzada o refinación deben incorporarse gradualmente, una vez validados rendimiento, permisos, seguridad y margen por tonelada.

Como meta preliminar de trabajo para Quito, se plantea que el MVP aspire a procesar entre 20 y 25 toneladas mensuales de RAEE durante la etapa inicial de operación. Esta cifra no debe tratarse como demanda comprobada ni como capacidad definitiva, sino como una meta de control para diseñar rutas, personal, bodega, equipos básicos y pruebas de trazabilidad. La capacidad final debe depender del levantamiento local, permisos, acuerdos de abastecimiento firmados y caracterización de residuos captados en la ciudad.

Tabla 15

Metas operativas preliminares para el MVP en Quito y escalamiento

Indicador	MVP inicial		Escalamiento modular	Condición de avance
Toneladas sujeto a desensamble	20-25 t/mes	40-50 t/mes	Contratos de procesadas	en Quito,
	por módulo	abastecimiento y validación	adicional, solo con contratos validados	capacidad logística validada.
	≥ 90%	≥ 92%		Lotes clasificados y medición de material útil.

Rendimiento de recuperación	$\geq 85\%$ en fase piloto	$\geq 95\%$ en proceso estabilizado	Pruebas técnicas por tipo de RAEE y metal.
Disponibilidad de equipos	$\geq 90\%$	$\geq 95\%$	Mantenimiento preventivo y repuestos críticos.
Incidentes de seguridad	0 incidentes incapacitantes	0 incidentes incapacitantes	Capacitación, EPP y protocolos HSEQ.
Trazabilidad registrados recepción, loteo y	100% de lotes	100% de lotes	Sistema digital de documental registrados salida.

Nota. Matriz construida a partir de la planificación operativa del MVP y la estrategia de crecimiento modular del proyecto MetalGreen.

La tesis adopta como único modelo financiero base la inversión inicial de USD 300.318 presentada en el entregable de Financiación de Proyectos. Esta decisión elimina la dualidad detectada en versiones anteriores y permite que la evaluación económica se lea bajo una sola estructura de inversión, costos y financiamiento. El monto se distribuye en maquinaria y equipos, equipos de computación, muebles de oficina, instalaciones, vehículos y capital corriente. La estructura de financiamiento combina patrimonio, préstamo bancario de largo plazo y financiación operativa de corto plazo.

3.5.5 Consideraciones ambientales y de seguridad

La operación debe evitar compras informales sin trazabilidad y asegurar cadena de custodia sobre los residuos recibidos. Los procesos de desmontaje, almacenamiento y valorización requieren protocolos de seguridad, equipos de protección personal, segregación de fracciones peligrosas o especiales, capacitación y control de incidentes. La legitimidad del modelo depende tanto de recuperar valor económico como de demostrar que el manejo ambiental es superior a las prácticas informales.

3.6 Análisis FODA

El análisis FODA permite identificar los factores internos y externos que influyen en la viabilidad y sostenibilidad del proyecto MetalGreen. A través de esta herramienta estratégica se analizan las fortalezas y debilidades internas del modelo de negocio, así como las oportunidades y amenazas presentes en el entorno operativo, ambiental y financiero del sector de gestión de residuos electrónicos (RAEE).

3.6.1 Fortalezas

Equipo multidisciplinario especializado: MetalGreen cuenta con profesionales con experiencia en minería, ingeniería, logística, finanzas, seguridad industrial y gestión de proyectos, lo que fortalece la capacidad técnica y operativa del modelo.

Enfoque de economía circular: El proyecto se encuentra alineado con principios de sostenibilidad y recuperación de materiales valorizables, promoviendo el aprovechamiento responsable de residuos electrónicos.

Modelo formal y trazable: La propuesta incorpora trazabilidad documental, cumplimiento ambiental y cadena de custodia, elementos diferenciadores frente al manejo informal de RAEE.

Integración técnica y financiera: El modelo considera simultáneamente aspectos operativos, ambientales y económicos, permitiendo evaluar la viabilidad integral del proyecto.

Potencial de valorización de materiales: Los residuos electrónicos contienen metales y componentes con valor económico que pueden ser recuperados mediante procesos técnicos especializados.

Enfoque preventivo de seguridad industrial: El proyecto incorpora protocolos HSEQ, manejo seguro de residuos y control de riesgos operativos y ambientales.

Capacidad de escalamiento modular: La implementación mediante un MVP permite validar progresivamente el modelo y reducir riesgos antes del escalamiento total.

3.6.2 Oportunidades

Crecimiento de generación de residuos electrónicos: El incremento del consumo tecnológico genera una mayor disponibilidad de RAEE para procesos de valorización y reciclaje.

Mayor interés en sostenibilidad empresarial: Las empresas buscan fortalecer sus políticas ambientales y requieren gestores formales para disposición de residuos electrónicos.

Regulaciones ambientales más estrictas: El fortalecimiento normativo puede aumentar la demanda de servicios formales de gestión de RAEE.

Desarrollo de la economía circular en Ecuador: Existe una tendencia creciente hacia modelos sostenibles y recuperación de materiales reutilizables.

Posibilidad de alianzas estratégicas: El proyecto puede establecer convenios con empresas, municipios, gestores ambientales y entidades públicas.

Acceso a financiamiento verde: Los proyectos sostenibles y ambientales pueden acceder a líneas de crédito, fondos verdes o incentivos ambientales.

Potencial de expansión nacional: El modelo podría replicarse en otras ciudades del país con alta generación de residuos electrónicos.

3.6.3 Debilidades

Alta inversión inicial: La implementación del proyecto requiere inversión en infraestructura, logística, equipos y adecuaciones técnicas.

Dependencia de abastecimiento constante de RAEE: La continuidad operativa depende de asegurar volúmenes mínimos de residuos electrónicos.

Falta de datos reales de operación: Al encontrarse en fase de prefactibilidad y validación del MVP, algunos indicadores financieros y técnicos aún requieren validación práctica.

Complejidad regulatoria: La obtención de permisos ambientales, regulatorios y operativos puede generar retrasos en la implementación.

Dependencia de procesos técnicos especializados: La recuperación eficiente de materiales requiere conocimiento técnico y control operativo riguroso.

Riesgo asociado a variabilidad de recuperación metalúrgica: Los rendimientos reales de recuperación pueden variar según calidad y composición de los residuos procesados.

3.6.4 Amenazas

Competencia informal: El manejo informal de RAEE representa una amenaza debido a menores costos operativos y ausencia de regulación.

Variación de precios internacionales de metales

La rentabilidad del proyecto puede verse afectada por fluctuaciones del mercado internacional.

Cambios regulatorios: Nuevas exigencias legales o ambientales podrían incrementar costos operativos.

Riesgos ambientales y operativos: El manejo inadecuado de residuos peligrosos podría generar sanciones, accidentes o afectaciones ambientales.

Dificultad para asegurar abastecimiento continuo: La competencia por acceso a residuos electrónicos puede afectar la disponibilidad de materia prima.

Avances tecnológicos acelerados: Los cambios tecnológicos pueden modificar la composición de los residuos electrónicos y afectar procesos de recuperación.

Riesgos financieros: Factores macroeconómicos, inflación o incremento de tasas de interés pueden afectar el flujo financiero del proyecto.

3.6.5 Estrategias FO, FA, DO y DA

Estrategias FO (Fortalezas – Oportunidades)

- Aprovechar el equipo multidisciplinario para desarrollar alianzas estratégicas con empresas y entidades públicas.
- Utilizar el enfoque de economía circular para acceder a financiamiento verde y programas ambientales.
- Fortalecer la trazabilidad y cumplimiento ambiental para posicionarse como gestor formal de referencia.

Estrategias FA (Fortalezas – Amenazas)

- Diferenciarse de la competencia informal mediante certificación, trazabilidad y cumplimiento regulatorio.
- Implementar controles técnicos y financieros para reducir impacto de variaciones del mercado.
- Fortalecer protocolos de seguridad y gestión ambiental para minimizar riesgos operativos.

Estrategias DO (Debilidades – Oportunidades)

- Utilizar el MVP para validar datos técnicos y financieros antes del escalamiento.
- Gestionar alianzas estratégicas que permitan asegurar abastecimiento continuo de RAEE.
- Buscar financiamiento externo para reducir presión de inversión inicial.

Estrategias DA (Debilidades – Amenazas)

- Implementar planificación financiera conservadora frente a fluctuaciones del mercado.
- Establecer contratos de abastecimiento para reducir dependencia operativa.
- Fortalecer capacitación técnica y control de procesos para minimizar errores operativos y ambientales.

3.7 Estudio financiero y escenarios de viabilidad

El análisis financiero considera un WACC aritmético de 12,00% como tasa mínima de rendimiento para el escenario base. El cálculo se obtiene con los propios datos de financiación:

$$K_e 14\% \times 58,27\% + K_d 12\% \times (1 - 25\%) \times 33,30\% + K_{cp} 10\% \times 8,43\% \\ = 11,9978\%$$

redondeado a 12,00%. Bajo la inversión única de USD 300.318, el flujo hipotético de prefactibilidad presentado en el Anexo F reporta VAN de USD 35.810,75, TIR aproximada de 16,6% y payback aproximado de 3 años, 1 mes y 17 días. Estos indicadores respaldan una prefactibilidad financiera inicial, pero no equivalen todavía a viabilidad definitiva, porque los ingresos deben validarse con toneladas reales captadas en Quito, rendimiento metalúrgico por tonelada, costo de procesamiento y precio neto de venta por material recuperado.

Sobre esta misma fuente de datos se calcula formalmente el ROI, como indicador complementario de retorno nominal a corto y mediano plazo:

- $ROI \text{ total} = (\text{Utilidad neta acumulada} \div \text{Inversión inicial}) \times 100 = (\text{USD}$

$$168.882,17 \div \text{USD } 300.318,00) \times 100 = 56,23\%$$

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

- $\text{ROI anualizado} = \text{ROI total} \div 5 \text{ años} = 56,23\% \div 5 = 11,25\% \text{ anual promedio}$

El ROI anualizado (11,25%) se ubica ligeramente por debajo del WACC (12,00%), mientras que la TIR (16,6%) sí lo supera; esta diferencia es metodológicamente esperable porque el ROI no descuenta el valor del dinero en el tiempo. Por ello, los indicadores se reportan como una unidad indivisible (ver Tabla).

La tesis adopta una sola base financiera para la toma de decisiones: inversión inicial de USD 300.318, financiada con 58,27% de capital propio, 33,30% de préstamo bancario de largo plazo y 8,43% de financiación de corto plazo. Cualquier escalamiento posterior se mantiene como decisión futura y deberá evaluarse con una hoja financiera independiente, sin mezclar flujos, costos, impuestos, capital de trabajo ni horizontes de evaluación del modelo base.

Tabla 16

Plan de inversión inicial y distribución de activos del proyecto MetalGreen

Categoría	Inversión (USD)	% del total
Maquinaria y equipos	157.678,00	52,50%
Equipos de computación	1.820,00	0,61%
Muebles de oficina	3.130,00	1,04%
Instalaciones	30.000,00	9,99%
Vehículos	39.990,00	13,32%

Capital corriente	67.700,00	22,54%
Total activos	300.318,00	100,00%

Nota. Elaboración propia derivada de la estructura de inversión requerida para la implementación operativa del proyecto MetalGreen.

Para cumplir con el nivel de rigurosidad recomendado, el modelo financiero final debe incorporar variables técnicas por tonelada procesada. Sin esta capa, los indicadores pueden lucir favorables, pero quedan desconectados de la realidad metalúrgica. En particular, cualquier proyección de ingresos o margen debe provenir de la relación entre toneladas captadas en Quito, composición del RAEE, rendimiento de recuperación, costo de tratamiento, merma, disposición de residuos no valorizables y precio neto de venta.

Tabla 17

Estructura de financiación del modelo base

Fuente	Monto (USD)	Participación	Costo referencial
Patrimonio neto	175.000,00	58,27%	Ke: 14%
Préstamo bancario largo plazo	100.000,00	33,30%	Kd: 12%
Financiación corto plazo	25.318,00	8,43%	Kcp: 10%
Total	300.318,00	100,00%	WACC: 12,00%

Nota. La estructura combina aportes de socios, deuda bancaria y financiación operativa de corto plazo.

3.8 Indicadores financieros de viabilidad

La corrección metodológica principal consiste en adoptar una sola base financiera para la toma de decisiones. En esta versión, la inversión de USD 300.318 es el escenario base definitivo. Por tanto, el documento no compara indicadores provenientes de modelos de inversión diferentes ni utiliza paybacks alternativos para sostener la viabilidad.

La segunda corrección consiste en cerrar el vacío técnico entre finanzas y metalurgia aplicado a Quito. El modelo financiero definitivo debe partir de toneladas efectivamente captadas en la ciudad, composición de los RAEE locales, rendimiento de recuperación por metal, costo de procesamiento, merma, disposición de residuos no valorizables y precio neto de venta. Solo después de esa conversión física a flujo monetario se pueden recalcular VAN, TIR, ROI y payback con rigor.

Hasta que esta matriz técnica sea completada con datos piloto de Quito, las proyecciones financieras deben leerse como hipótesis de prefactibilidad. No constituyen evidencia concluyente para aprobar deuda, inversión adicional o escalamiento fuera de la ciudad.

Tabla 18

Indicadores de evaluación financiera del modelo base del proyecto MetalGreen

Indicador	Resultado base	Interpretación
WACC	12,00%	Costo promedio ponderado de capital calculado con la estructura financiera del modelo base: 11,9978%, redondeado a 12,00%.
VAN	USD 35.810,75	Resultado del flujo hipotético de prefactibilidad del Anexo F, descontado al WACC de 12,00%. No sustituye los flujos reales del MVP.
TIR	Aprox. 16,6%	Superior al WACC aritmético de 12,00% en el flujo hipotético; no debe extrapolarse a escenarios de expansión no recalculados.
Payback	Aprox. 3 años, 1 mes y 17 días	Corresponde al modelo base de USD 300.318 y al flujo hipotético del Anexo F. Debe recalcularse con datos reales del MVP.
ROI total	56,23%	Utilidad neta acumulada (USD 168.882,17) ÷ Inversión inicial (USD 300.318,00); retorno nominal acumulado en 5 años, sin descuento temporal.
ROI anualizado	11,25%	ROI total ÷ 5 años; referencia comparable de forma directa con el WACC (12,00%).

Nota. El Anexo F incorpora una tabla numérica de flujo de caja para que el VAN no quede declarado de forma genérica. La tabla es una hipótesis de prefactibilidad y debe recalcularse cuando el MVP genere datos reales de toneladas captadas, rendimiento metalúrgico, costos por tonelada y precios netos de salida.

3.8.1 Escenarios financieros

El análisis de escenarios permite observar la sensibilidad del negocio ante cambios en volumen procesado, precios netos de venta, costos operativos, gastos administrativos, inversión incremental y capital de trabajo. Estos escenarios se tratan como hipótesis comerciales preliminares, no como evidencia final de rentabilidad, porque todavía no existen pruebas reales de recuperación metalúrgica, costos de procesamiento por lote ni contratos de salida comercial que permitan convertir las proyecciones en resultados concluyentes.

Tabla 19

Supuestos de escenarios financieros

Escenario	Volumen procesado	Precio neto de venta	Costo operativo	Gastos administrativos	CAPEX incremental
Base	Toneladas reales del MVP	Cotización vigente por material	Costo real por tonelada	Crecimiento controlado	Solo reposición necesaria
Optimista	+15% a +20% sobre volumen validado	+10% a +15% precio neto	-5% a -10% por eficiencia	Crecimiento moderado	Inversión modular si hay contratos
Pesimista	-15% a -20% sobre volumen validado	-10% a -15% precio neto	+10% a +15% por ineficiencia	Crecimiento conservador	Sin expansión hasta margen positivo

Nota. Los supuestos se presentan como sensibilidad del modelo base; no sustituyen pruebas piloto, contratos reales ni cotizaciones formales.

Tabla 20

Resultados comparativos de escenarios de sensibilidad no concluyentes

Variable crítica	Base definitivo	Optimista	Pesimista
Toneladas procesadas	Dato real del MVP	+20% con contratos ancla	-20% por baja captación
Rendimiento metalúrgico	Resultado de prueba piloto	+10% por mejora técnica	-10% por composición desfavorable
Precio neto de venta	Cotización formal vigente	+15% por mercado favorable	-15% por caída de precios
Costo de procesamiento	Costo real por lote	-10% por eficiencia operativa	+15% por energía, reactivos o logística
Margen por tonelada	Positivo y verificable	Mayor margen por escala	Riesgo de margen negativo
Payback	Recalculado con flujos reales	Disminuye si mejora margen	Aumenta si baja captación o precio

Nota. Estos resultados corresponden a la modelación de expansión ampliada y no se utilizan como prueba definitiva de viabilidad. Deben recalcularse en una hoja financiera única y validarse con toneladas reales procesadas, rendimiento metalúrgico por tipo de RAEE, costo químico por lote y precios netos de venta.

3.8.2 Supuestos técnicos para fortalecer el modelo financiero

Para cumplir con el nivel de rigurosidad recomendado, el modelo financiero final debe incorporar variables técnicas por tonelada procesada. Sin esta capa, los indicadores pueden lucir favorables, pero quedan desconectados de la realidad metalúrgica. En particular, cualquier ingreso proyectado o margen operativo debe derivarse de cuántos kilogramos de oro, plata, cobre u otros materiales pueden recuperarse físicamente de los RAEE locales, cuánto cuesta procesarlos y a qué precio neto pueden venderse.

Tabla 21

Supuestos técnicos requeridos para el modelo financiero definitivo

Supuesto	Fórmula o dato requerido	Uso financiero
Rendimiento metalúrgico por tonelada	kg reales de Au, Ag, Cu y otros materiales recuperados / t RAEE procesada	Convertir toneladas procesadas en ingresos físicamente posibles.
Costo por tonelada procesada	Costo operativo total, reactivos, energía, seguridad y disposición / t procesadas	Determinar margen operativo real por lote.
Costo por kg recuperado	Costo atribuible de procesamiento / kg de metal o material recuperado	Verificar si la recuperación es rentable frente al precio de venta.
Precio neto de venta	Precio bruto - descuentos - flete - mermas - costos de comercialización	Estimar ingreso real, no solo precio de mercado.
Margen por tonelada	Ingreso neto por t - costo total por t	Validar rentabilidad antes de escalar.
Sensibilidad de precio	Variación de $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ y $\pm 30\%$ por metal y por tipo de RAEE	Medir exposición a volatilidad internacional y riesgo de margen negativo.

3.8.3 Corrección metodológica del modelo financiero y técnico

La primera corrección consiste en adoptar una sola base financiera para la toma de decisiones. En este documento, la inversión de USD 300.318 se conserva como modelo base de prefactibilidad. Cualquier inversión futura de escalamiento deberá evaluarse como un proyecto separado, con flujos, costos, impuestos, capital de trabajo y horizonte de evaluación propios.

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

La segunda corrección consiste en cerrar el vacío técnico entre finanzas y metalurgia aplicado a Quito. El modelo financiero definitivo debe partir de toneladas efectivamente captadas en la ciudad, composición de los RAEE locales, rendimiento de recuperación por metal, costo de procesamiento químico, merma, disposición de residuos no valorizables y precio neto de venta. Solo después de esa conversión física a flujo monetario se pueden recalcular VAN, TIR, ROI y payback con rigor.

Hasta que esta matriz técnica sea completada con datos piloto de Quito, cualquier proyección de ingresos, margen operativo o rentabilidad debe leerse como hipótesis de planificación. No constituye evidencia concluyente para aprobar inversión, deuda o escalamiento fuera de la ciudad.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Matriz integral de riesgos

La propuesta MetalGreen es viable conceptualmente para Quito porque responde a una necesidad ambiental y empresarial real: manejar RAEE de forma formal, trazable y con potencial de recuperación económica. La alineación con economía circular, responsabilidad extendida, trazabilidad y sostenibilidad fortalece la pertinencia del modelo. Sin embargo, la evidencia financiera todavía debe tratarse como prefactibilidad, porque los flujos dependen de datos técnicos y comerciales que deberán validarse en el MVP.

La principal debilidad metodológica ya no es la existencia de dos modelos financieros, porque esta versión adopta una sola inversión base de USD 300.318. El punto crítico pendiente es conectar ese modelo con evidencia operativa: kilos de oro, plata, cobre u otros materiales recuperables por tonelada de RAEE captada en Quito, costos de

procesamiento por lote, mermas, costos logísticos urbanos y precios netos de salida. Esta situación no invalida la idea de negocio, pero sí impide presentar VAN, TIR y payback como resultados definitivos antes del piloto.

Tabla 22

Matriz integral de riesgos Matriz por categoría regulatoria, tecnológica, ambiental, de abastecimiento y de precios

Categoría	Riesgo	Valor. inicial	Mitigación	Riesgo residual	Indicador
Regulatorio	Demora u objeción en la categorización ambiental (SUIA) o en la licencia/certificado ambiental aplicable	P=2;I=3;N=6	Trámite de orientación ante SUIA desde la Fase 1; asesoría legal-ambiental permanente; cronograma con holguras de 30 días	P=1;I=3;N=3	N.º de días de retraso vs. cronograma macro (Tabla 20)
Regulatorio	Cambio normativo en la Responsabilidad Extendida del Productor (REP)	P=2;I=2;N=4	Monitoreo trimestral de boletines del MAATE; cláusulas de ajuste regulatorio en convenios B2B/B2G	P=1;I=2;N=2	N.º de actualizaciones normativas no incorporadas en 30 días
Tecnológico	Rendimiento metalúrgico real inferior al teórico por tipo de RAEE	P=2;I=3;N=6	Pruebas piloto por tipo de RAEE; fichas técnicas entrada-salida; ajuste de precio de compra según composición	P=1;I=2;N=2	% de rendimiento real vs. teórico (Tabla 6)
Tecnológico	Obsolescencia o cambio en la composición de los RAEE	P=1;I=2;N=2	Capacitación técnica continua; revisión semestral de	P=1;I=1;N=1	N.º de fichas de clasificación actualizadas por semestre

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Categoría	Riesgo	Valor. inicial	Mitigación	Riesgo residual	Indicador
			fichas de clasificación		
Ambiental	Manejo inadecuado de fracciones peligrosas (baterías, tóner, plomo)	P=2;I=3;N=6	Registro de generador de residuos peligrosos MAATE; protocolos HSEQ; segregación obligatoria desde recepción	P=1;I=3;N=3	N.º de no conformidades ambientales abiertas
Ambiental	Incidente de seguridad industrial en desmontaje o almacenamiento	P=2;I=3;N=6	EPP obligatorio; auditorías HSEQ mensuales; mantenimiento preventivo	P=1;I=2;N=2	N.º de incidentes incapacitantes (meta: 0)
Abastecimiento	Volumen captado inferior al mínimo para sostener el margen por tonelada	P=2;I=3;N=6	Cobertura contractual $\geq 150\%$ (Tabla 3.3); diversificación de generadores; campañas de acopio	P=1;I=2;N=2	Índice de Cobertura de Abastecimiento (ICA)
Abastecimiento	Concentración excesiva en pocos clientes ancla	P=2;I=3;N=6	Límite interno: ningún cliente supera el 25% de la capacidad mensual comprometida	P=1;I=2;N=2	% de capacidad concentrada en el cliente ancla más grande
Precios	Volatilidad internacional de precios de metales (referencia LME)	P=3;I=2;N=6	Contratos marco con precio referenciado; diversificación de ingresos por servicio; sensibilidad trimestral	P=2;I=1;N=2	Desviación % del precio neto vs. cotización de referencia
Precios	Costo de procesamiento por tonelada superior al estimado	P=2;I=2;N=4	Control de costos por lote; tarifas eléctricas industriales;	P=1;I=2;N=2	Costo real por tonelada vs. presupuestado

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Categoría	Riesgo	Valor. inicial	Mitigación	Riesgo residual	Indicador
			mantenimiento preventivo		

Nota. Escala de valoración: 1 = bajo, 2 = medio y 3 = alto. El nivel de riesgo se calcula como Probabilidad x Impacto, conforme a una lógica de priorización compatible con la gestión de riesgos recomendada por el PMBOK 7. La matriz debe actualizarse mensualmente durante MVP y trimestralmente durante escalamiento.

Adicionalmente a la matriz de riesgos, se establece un calendario de cumplimiento regulatorio que vincula cada permiso identificado en la sección 3.5.3 con un responsable, un plazo y una consecuencia operativa si no se obtiene a tiempo:

Tabla 22.1 (nueva).

Calendario de cumplimiento regulatorio mínimo antes del arranque operativo.

Permiso o registro	Entidad	Plazo objetivo (desde Fase 1)	Consecuencia si no se obtiene
Categorización ambiental SUIA / Certificado o Licencia Ambiental	Secretaría de Ambiente del DMQ / MAATE	Mes 2 a 4	No se puede formalizar la operación de planta; bloquea Fase 2
Registro de Generador de Residuos Peligrosos y Especiales	MAATE	Mes 3 a 4	No se puede recibir, almacenar ni transferir fracciones peligrosas
LUAE, patente municipal y compatibilidad de uso de suelo	Municipio del DMQ	Mes 2 a 5	No se puede operar legalmente el establecimiento
Permiso de funcionamiento / prevención de incendios	Cuerpo de Bomberos de Quito	Mes 4 a 5	Bloquea el permiso de funcionamiento municipal

4.2 Plan de implementación y escalabilidad

La implementación debe ser escalonada para evitar inversión pesada antes de validar permisos, abastecimiento y mercado. El plan macro se organiza en cinco fases: constitución y

validación, diseño y permisos, MVP operativo, y escalamiento modular. Cada fase tiene hitos críticos que permiten tomar decisiones de continuar, ajustar o detener.

Desde el enfoque financiero, el proyecto mantiene una prefactibilidad preliminar para Quito bajo un único modelo base de USD 300.318. El WACC, VAN, TIR, ROI y payback deben leerse dentro de esa misma estructura. La viabilidad definitiva dependerá de validar rendimiento metalúrgico, costos por tonelada, costos de procesamiento por lote, precios netos de venta y contratos de abastecimiento en Quito.

Tabla 23

Cronograma macro de implementación

Fase	Periodo referencial	Hitos críticos	Resultado de salida
Fase 1: Constitución y validación estratégica	Meses 1-2	Constitución societaria, acuerdos entre socios, mapeo de clientes y hoja de ruta legal.	Empresa lista para gestionar permisos y contratos preliminares.
Fase 2: Diseño, permisos y abastecimiento	Meses 3-5	Ubicación validada, permisos en trámite, layout técnico, convenios iniciales de RAEE.	Condiciones mínimas para iniciar inversión operativa.
Fase 3: MVP operativo	Meses 6-8	Equipos básicos instalados, personal capacitado, pilotos de recolección y trazabilidad.	Validación de operación, costos y recuperación.
Fase 4: Arranque comercial	Meses 9-10	Contratos recurrentes, compradores de material y reportes de desempeño.	Operación formal con indicadores mensuales.

Fase 5: Escalamiento modular	Meses 11-18	Ampliación de capacidad, nuevos centros de acopio y contratos regionales.	Crecimiento controlado según margen y abastecimiento.
------------------------------	-------------	---	---

Nota. El cronograma integra los hitos de los documentos base y la recomendación de escalamiento modular.

En términos generales, el trabajo sí presenta viabilidad estratégica, porque articula un modelo de negocio coherente con la economía circular, incorpora una lectura social, tecnológica, ambiental, regulatoria y financiera del problema, y propone indicadores de gestión para controlar su evolución. No obstante, esta viabilidad debe entenderse como preliminar y condicionada, ya que todavía depende de una validación más sólida del mercado quiteño y de los supuestos técnicos que conectan la operación con los resultados financieros.

Por esa razón, el estudio debe fortalecer con mayor precisión el análisis cuantitativo de mercado en la fase posterior: volumen estimado de RAEE disponible por zona, tasa real de captación, demanda proyectada de materiales recuperados, contratos potenciales y capacidad de abastecimiento recurrente. También se recomienda profundizar los escenarios financieros con supuestos técnicos claros, como rendimiento metalúrgico por tonelada procesada, costo por kilogramo recuperado y sensibilidad ante variaciones de precios internacionales.

Discusión

La propuesta MetalGreen es viable conceptualmente para Quito porque responde a una necesidad ambiental y empresarial real: manejar RAEE de forma formal y recuperar valor económico. La alineación con economía circular, responsabilidad extendida, trazabilidad y sostenibilidad fortalece la pertinencia del modelo. Sin embargo, la evidencia financiera todavía no permite afirmar una viabilidad definitiva en la ciudad, debido a que los

documentos base mezclaban dos modelos de inversión y retorno que deben permanecer separados hasta su recálculo integrado y porque falta validar el abastecimiento local de RAEE.

La principal debilidad metodológica detectada es doble. En primer lugar, ningún escenario alternativo puede compararse con la inversión base de USD 300.318 si no se usan los mismos flujos, costos, impuestos, capital de trabajo y horizonte de evaluación. En segundo lugar, los ingresos proyectados deben conectarse con datos metalúrgicos reales: kilos de oro, plata, cobre u otros materiales recuperables por tonelada de RAEE captado en Quito, costos de procesamiento por lote, mermas, costos logísticos urbanos y precios netos de salida. Esta situación no invalida la idea de negocio, pero sí impide presentar VAN, TIR y payback como resultados concluyentes.

El mayor aporte de MetalGreen está en proponer un modelo de negocio que no compite únicamente por precio, sino por confianza técnica. Frente a recicladores informales o exportadores de chatarra, la empresa puede diferenciarse con cadena de custodia, reportes, cumplimiento y valorización local. Esta diferenciación es relevante para empresas e instituciones que necesitan evidencia ante auditorías, políticas ESG o compromisos de sostenibilidad.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

MetalGreen presenta viabilidad estratégica para Quito porque se alinea con tendencias de economía circular, gestión RAEE, responsabilidad extendida y valorización de materiales estratégicos. La propuesta resuelve una necesidad del mercado local: disponer de una alternativa formal, segura y trazable para residuos electrónicos.

Desde el enfoque financiero, el proyecto mantiene una prefactibilidad preliminar para Quito únicamente bajo el modelo base de USD 300.318, con indicadores que deben ser recalculados en una hoja financiera única. No es metodológicamente correcto comparar escenarios alternativos si sus supuestos de ingresos, costos, impuestos, capital de trabajo y horizonte de evaluación no están integrados con el modelo base. Por ello, la tesis corrige la conclusión financiera: VAN, TIR, ROI y payback son indicadores teóricos hasta validar rendimiento metalúrgico, costos por tonelada, costos de procesamiento por lote, precios netos de venta y contratos de abastecimiento en Quito.

La estructura organizacional propuesta es coherente con la complejidad del proyecto. El equipo multidisciplinario cubre áreas técnicas, financieras, regulatorias, logísticas y de seguridad, lo cual fortalece la capacidad de implementación.

La matriz de riesgos evidencia que los factores críticos son abastecimiento de RAEE, permisos, volatilidad de precios, rendimiento técnico, seguridad y dependencia de clientes ancla. Estos riesgos son gestionables si se implementan convenios, pilotos, contratos marco, protocolos HSEQ y seguimiento gerencial.

En términos generales, el trabajo sí presenta viabilidad, porque articula un modelo de negocio coherente con la economía circular, incluye una lectura social, tecnológica, ambiental y regulatoria del problema, y propone indicadores financieros y de gestión que permiten evaluar su evolución. No obstante, esta viabilidad debe entenderse como preliminar y condicionada, ya que todavía depende de una validación más sólida del mercado quiteño y de los supuestos técnicos que conectan la operación con los resultados financieros.

Por esa razón, el estudio debe fortalecer con mayor precisión el análisis cuantitativo de mercado: volumen estimado de RAEE disponible por zona, tasa real de recuperación, demanda proyectada de metales refinados, contratos potenciales y capacidad de abastecimiento recurrente. También se recomienda profundizar los escenarios financieros con supuestos técnicos claros, como rendimiento metalúrgico por tonelada procesada, costo por kilogramo recuperado y sensibilidad ante variaciones de precios internacionales.

Con estos ajustes, MetalGreen puede consolidarse como un trabajo de titulación estratégico, innovador y con impacto económico y ambiental para Quito. La clave será mantener coherencia entre mercado, proceso metalúrgico, costos, riesgos, cronograma e indicadores operativos, de modo que la viabilidad no dependa únicamente de proyecciones financieras, sino de evidencia técnica verificable y de una implementación metodológicamente rigurosa.

5.2 Recomendaciones

- Planificar la ejecución, en fase posterior a la titulación, de un estudio de mercado cuantitativo para Quito, segmentado por zona, tipo de generador, volumen disponible,

tasa de captación, contratos potenciales y compradores de materiales recuperados, sin que ello forme parte de los resultados de esta tesis.

- Desarrollar pruebas piloto con RAEE captado en Quito para medir rendimiento metalúrgico por tonelada, kilos recuperados de oro, plata, cobre u otros materiales, costo químico por lote, eficiencia de desensamble, mermas, costo logístico urbano y margen real por tonelada procesada.
- Unificar el modelo financiero en una sola hoja de cálculo, seleccionando una base de inversión principal y separando cualquier escenario alternativo de escalamiento. Los indicadores VAN, TIR, ROI y payback deben recalcularse sin mezclar la inversión de USD 300.318 con el escenario de una inversión futura de expansión.
- Formalizar contratos o cartas de intención con al menos tres grupos de clientes ancla ubicados en Quito antes de comprometer inversiones de escalamiento.
- Implementar desde el MVP un sistema digital de trazabilidad por lote, con actas, pesos, fotografías, destino de materiales y reportes para clientes.
- Mantener una matriz de riesgos viva, revisada mensualmente, con responsables, acciones preventivas y planes de contingencia.
- Comparar periódicamente la rentabilidad de exportar chatarra sin procesar frente a valorizar localmente, usando margen neto por tonelada como criterio principal e incorporando rendimiento real de recuperación, flete, mermas, costos químicos y cumplimiento ambiental.

- No presentar ingresos proyectados, márgenes operativos, VAN o TIR como concluyentes mientras no exista una relación explícita entre toneladas procesadas en Quito, composición metalúrgica del RAEE local, rendimiento de recuperación y costos reales de procesamiento.
- Mantener la cobertura nacional como una fase futura, no como supuesto inicial de ingresos, hasta que el MVP de Quito demuestre abastecimiento recurrente, margen por tonelada positivo y contratos de salida de materiales.

REFERENCIAS

Boeni, H., Silva, U., & Ott, D. (2009). *Reciclaje de residuos electrónicos en América Latina:*

Panorama general, desafíos y potencial. <http://www.residuoselectronicos.net>

De Bono, E. (2017). *Seis sombreros para pensar.* Paidós.

Grupo 5 – Maestría en Gestión de Proyectos UIDE-EIG. (2026). *Creación de una empresa de minería urbana para la valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Quito, como modelo de negocio sostenible.*

Creación de una empresa de minería urbana para la valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Quito, como modelo de negocio sostenible.

Creación de una empresa de minería urbana para la valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Quito, como modelo de negocio sostenible.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001: Environmental management systems - Requirements with guidance for use.*

International Telecommunication Union & United Nations Institute for Training and Research. (2024). *The global e-waste monitor 2024.* International

Telecommunication Union & United Nations Institute for Training and Research.

<https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/>

Global E-waste Statistics Partnership. (2024). *Ecuador - 2022 - E-waste statistics.* Global E-waste Statistics Partnership.

<https://globalewaste.org/statistics/country/ecuador/2022/>

Emisión del Registro de generador de residuos y desechos peligrosos y especiales para las actividades que generan desechos peligrosos y especiales. (n.d.). Emisión del Registro de generador de residuos y desechos peligrosos y especiales para las actividades que

generan desechos peligrosos y especiales. *Guía Oficial De Trámites Y Servicios*.

<https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-registro-generator-residuos->

[desechospeligrosos-especiales-actividades-generan-desechos-peligrosos-especiales](https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-registro-generator-residuos-)

Emisión de licencia ambiental para proyectos, obras o actividades considerados de mediano o alto impacto y riesgo ambiental. (n.d.). Emisión de licencia ambiental para proyectos, obras o actividades considerados de mediano o alto impacto y riesgo ambiental. *Guía Oficial De Trámites Y Servicios*. <https://url-shortener.me/qr/NLMT>

Acuerdo Ministerial No. MAATE-2022-067: Instructivo para la aplicación de la responsabilidad extendida en la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) de origen doméstico. (2022). Acuerdo Ministerial No. MAATE2022-067: Instructivo para la aplicación de la responsabilidad extendida en la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) de origen doméstico. *Agua Y Transición Ecológica*.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024). *Emisión de Certificado Ambiental para proyectos, obras o actividades con impacto ambiental no significativo en el DMQ*. Recuperado el 19 de mayo de 2026.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

https://pam.quito.gob.ec/MDMQ_Tramites/Operativas/FrmFichaTramite?codtt=34

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024b). *Emisión de Licencia Ambiental para proyectos, obras o actividades de mediano o alto impacto ambiental en el DMQ*. Recuperado el 19 de mayo de 2026. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

(s. f.-b).

https://pam.quito.gob.ec/MDMQ_Tramites/Operativas/FrmFichaTramite?codtt=36

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024c). Licencia Metropolitana Única para el Ejercicio de Actividades Económicas - LUAE. Recuperado el 19 de mayo de 2026. (n.d.). *Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (s. f.-c). Licencia Metropolitana Única para el Ejercicio de Actividades Económicas - LUAE. Recuperado el 19 de mayo de 2026.*

https://pam.quito.gob.ec/MDMQ_Tramites/Operativas/FrmFichaTramite?codtt=363

Grupo 5 – Maestría en Gestión de Proyectos UIDE-EIG. (2026b). *Plan posterior de levantamiento documental para validar el MVP en Quito.*

Nota, . (n.d.). *Este anexo no corresponde a resultados de campo ya ejecutados. Se incluye como hoja de ruta para que MetalGreen levante evidencia primaria después de la entrega académica y antes de comprometer inversión de escalamiento.*

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers.* John Wiley & Sons.

Porter, M. E. (2008). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors.* Free Press.

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide (7th ed.)).* Project Management Institute.

Ross, S. A., Westerfield, R., & Jordan, B. D. (2019). *Fundamentals of corporate finance (12th ed.).* McGraw-Hill Education.

ANEXOS

Anexo A. Fórmulas operativas y financieras sugeridas

Tasa de abastecimiento de RAEE (%) = (RAEE abastecido / RAEE requerido) x 100.

Eficiencia logística (%) = (material recolectado / material planificado) x 100.

Rendimiento de recuperación (%) = (metal recuperado real / metal recuperado teórico) x 100.

Disponibilidad operativa (%) = (tiempo operativo real / tiempo operativo programado) x 100.

Margen por tonelada = ingreso neto por tonelada - costo total por tonelada.

VAN = suma de flujos descontados - inversión inicial.

TIR = tasa que hace que el VAN sea igual a cero.

Anexo B. Plan mínimo de levantamiento de datos para fase piloto Tabla B1

Plan de levantamiento primario para validar el MVP en Quito

Actividad	Dato a levantar	Responsable	Evidencia
Formulario prospectivo B2B/B2G	Volumen de RAEE acumulado en Quito, frecuencia de generación y tipo de equipos. No aplicado en esta tesis; se propone para la fase posterior.	Comercial / Stakeholders	Base de datos de prospectos, inventarios o respuestas documentadas en fase de validación.
Cartas de intención futuras	Toneladas comprometidas, condiciones de retiro y necesidad de certificados. No se presentan como evidencia real hasta su firma.	Gerencia / Comercial	Cartas firmadas o correos formales.

Piloto de recolección	Peso real, tipo de residuo, costo logístico y tiempos.	Logística	Actas, fotografías y registro digital.
Prueba de desensamble	Material útil recuperado y tiempo por lote.	Operaciones	Hoja de control técnico.
Cotización de compradores	Precio neto por <u>metal o componente.</u>	Finanzas / Comercial	Cotizaciones o contratos marco.
Reporte HSEQ	Incidentes, EPP, no conformidades y residuos no valorizables.	Seguridad Industrial	Informe de cumplimiento.

Anexo C. Criterios de decisión para escalar

- Escalar únicamente si el margen por tonelada es positivo durante al menos tres meses consecutivos.
- Escalar si existe abastecimiento comprometido suficiente para utilizar al menos 70% de la capacidad del módulo adicional.
- Escalar si la trazabilidad documental alcanza 100% de lotes y no existen no conformidades críticas abiertas.
- Escalar si la caja operativa cubre capital de trabajo, mantenimiento y contingencia sin comprometer pagos esenciales.
- No escalar si los permisos, protocolos HSEQ o contratos de salida de materiales no están formalmente cerrados.

Anexo D. Modelos de cartas de intención para validar abastecimiento y salida comercial

Nota. Los siguientes textos son modelos editables. No deben presentarse como cartas reales hasta que sean firmadas por representantes autorizados de las organizaciones correspondientes.

Quito, fecha

Señores

MetalGreen

Presente.

Asunto: Carta de intención para entrega de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

Por medio de la presente, **nombre de la empresa/institución**, con RUC **número**, manifiesta su interés preliminar en explorar una alianza con MetalGreen para la gestión formal, trazable y ambientalmente responsable de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos generados en nuestras instalaciones ubicadas en **dirección/sector**.

De manera referencial, la organización mantiene o genera RAEE correspondientes a [computadoras, monitores, cables, fuentes, tarjetas, impresoras, equipos de comunicación u otros], cuyo volumen estimado será confirmado mediante inventario interno. La intención de entrega estará condicionada a la revisión de requisitos técnicos, documentación ambiental, condiciones logísticas, confidencialidad de información, protección de datos, costos aplicables y autorizaciones ambientales vigentes de MetalGreen.

Esta carta no constituye contrato definitivo ni obligación de entrega, pero sí expresa la disposición de iniciar conversaciones formales para evaluar un retiro piloto, acta de recepción, pesaje, trazabilidad, certificado de gestión y reporte de cierre.

Atentamente,

[Firma]

Nombre del representante Cargo Empresa/institución Correo y teléfono

Quito, fecha

Señores

MetalGreen

Presente.

Asunto: Carta de intención para evaluación de campaña institucional de acopio RAEE **Nombre de la institución**, en el marco de sus políticas de sostenibilidad, gestión ambiental y disposición responsable de activos tecnológicos dados de baja, manifiesta su interés preliminar en evaluar junto con MetalGreen una campaña de acopio o retiro programado de RAEE.

La posible colaboración tendría como objetivos: identificar equipos obsoletos, ordenar inventarios, ejecutar pesaje y clasificación, asegurar cadena de custodia, obtener reportes de trazabilidad y fortalecer la sensibilización ambiental de la comunidad institucional. La ejecución dependerá de la validación de permisos, requisitos de contratación pública o privada aplicables, protocolos de seguridad, responsabilidades de cada parte y disponibilidad presupuestaria.

La presente comunicación tiene carácter no vinculante y busca habilitar el intercambio de información técnica para una eventual prueba piloto.

Atentamente,

[Firma]

Nombre del responsable Cargo Institución Correo y teléfono

D.3 Modelo de carta de intención comprador de materiales recuperados

Quito, fecha

Señores

MetalGreen

Presente.

Asunto: Carta de intención para compra de materiales recuperados o fracciones clasificadas **Nombre del comprador/gestor/refinería**, con RUC **número**, manifiesta su interés preliminar en evaluar la compra de materiales recuperados o fracciones clasificadas provenientes de RAEE gestionados por MetalGreen, tales como cobre, aluminio, acero, cables, tarjetas electrónicas, conectores u otros materiales sujetos a revisión técnica.

La compra estará condicionada a la calidad del material, peso, homogeneidad de la fracción, ausencia de contaminantes no aceptados, documentación de origen, permisos ambientales aplicables, condiciones de pago, logística y precio vigente al momento de cada operación. Esta carta no constituye contrato de compraventa, pero permite iniciar una validación comercial para estimar precios netos de salida y condiciones mínimas de aceptación del material.

Atentamente,

[Firma]

Nombre del representante Cargo Empresa Correo y teléfono

Anexo E. Modelos de solicitudes iniciales para trámites aplicables

Nota. Estos modelos deben ser revisados por un especialista legal o ambiental antes de ser presentados. La autoridad competente puede solicitar requisitos adicionales según la actividad, ubicación, capacidad, residuos manejados y categorización ambiental.

E.1 Solicitud inicial de orientación y categorización ambiental en SUIA/Secretaría de Ambiente del DMQ

Quito, fecha

Señores

Autoridad ambiental competente / Secretaría de Ambiente del DMQ
 Presente.

Asunto: Solicitud de orientación para categorización ambiental del proyecto MetalGreen

Por medio de la presente, **nombre del representante legal**, en representación de MetalGreen **razón social en constitución o constituida**, solicito orientación técnica inicial para la categorización ambiental del proyecto de recepción, clasificación, desmontaje, almacenamiento temporal, valorización y comercialización de materiales provenientes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), a implementarse en **dirección/sector de Quito**.

La actividad proyectada contempla: recepción de RAEE, pesaje, registro de lotes, segregación física, desmontaje manual y mecánico, almacenamiento diferenciado, preparación de fracciones valorizables y despacho a compradores o gestores autorizados. En esta fase no se prevé refinación química industrial sin autorización previa.

Solicitamos se indique el procedimiento aplicable en SUIA, el tipo de autorización ambiental que correspondería según categorización, los requisitos técnicos iniciales, la necesidad de Plan de Manejo Ambiental y cualquier condición previa relacionada con uso de suelo, residuos peligrosos o especiales.

Atentamente,

[Firma]

Nombre Cargo Teléfono y correo

E.2 Solicitud de Registro de Generador de Residuos y Desechos Peligrosos y Especiales

Quito, fecha

Señores

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - MAATE

Presente.

Asunto: Solicitud de información para Registro de Generador de Residuos y Desechos Peligrosos y Especiales

Yo, **nombre del representante legal**, en representación de MetalGreen **razón social**, solicito información y lineamientos para iniciar, a través del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), el Registro de Generador de Residuos y Desechos Peligrosos y Especiales, en caso de que la actividad proyectada genere, almacene o transfiera fracciones clasificadas como peligrosas o especiales derivadas de RAEE.

El proyecto contempla una operación de recepción, clasificación, desmontaje, almacenamiento temporal y valorización de RAEE en Quito, con trazabilidad documental por lote. Agradeceremos se confirme el procedimiento, requisitos, tasas aplicables, información técnica requerida, formatos de almacenamiento, etiquetado, manifiestos, declaración anual y responsabilidades del operador.

Atentamente,

[Firma]

Nombre Cargo Teléfono y correo

E.3 Solicitud inicial para LUAE, patente y compatibilidad de uso de suelo

Quito, [fecha]

Señores

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito

Presente.

Asunto: Solicitud de orientación para LUAE y compatibilidad de uso de suelo

Por medio de la presente, solicito orientación para iniciar el trámite de Licencia

Metropolitana Única para el Ejercicio de Actividades Económicas (LUAE), patente municipal y verificación de compatibilidad de uso de suelo para el establecimiento donde operaría MetalGreen, ubicado tentativamente en **dirección/sector**.

La actividad económica proyectada corresponde a recepción, clasificación, desmontaje, almacenamiento temporal y valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, con despacho de materiales recuperados a compradores o gestores autorizados. Solicitamos se indique la categoría de actividad, requisitos municipales, inspecciones aplicables, condiciones de seguridad, prevención contra incendios y documentación previa necesaria.

Atentamente,

[Firma]

Nombre Cargo Teléfono y correo

Anexo F. Flujo de caja hipotético para sustentar VAN, TIR y payback

Este anexo responde a la posible pregunta financiera del tribunal: “¿cuánto es el VAN exactamente y cuáles son los flujos descontados?”. Los valores se presentan como hipótesis de prefactibilidad del modelo base de USD 300.318. No son resultados empíricos del MVP ni sustituyen una hoja financiera validada con datos reales de toneladas captadas, rendimiento metalúrgico, costos por tonelada y precios netos de salida.

Tabla 24

Flujo de caja hipotético del modelo base descontado al WACC aritmético de 12,00%

Año	Flujo neto (USD)	Factor descuento 12,00%	Valor presente (USD)	Flujo acumulado no descontado (USD)
0	-300.318,00	1,0000	-300.318,00	-300.318,00
1	80.000,00	0,8929	71.428,57	-220.318,00
2	95.000,00	0,7972	75.733,42	-125.318,00
3	114.873,56	0,7118	81.764,73	-10.444,44
4	80.000,00	0,6355	50.841,45	69.555,56
5	99.326,61	0,5674	56.360,59	168.882,17
Resultado	VAN		35.810,75	TIR: 16,6%; payback: 3 años, 1 mes y 17 días

Nota. El VAN resulta de sumar los valores presentes de los años 0 a 5. La TIR aproximada de 16,6% se obtiene con los mismos flujos netos. El payback simple se alcanza en el año 4: al cierre del año 3 faltan USD 10.444,44 por recuperar; dividido para el flujo del año 4 de USD 80.000,00 equivale a 0,1306 años, es decir, aproximadamente 1 mes y 17 días. Estos datos son defendibles como hipótesis aritmética, pero deben recalcularse con evidencia real del MVP.

Sobre el flujo acumulado del año 5 (USD 168.882,17), se calcula el ROI:

$$\text{ROI total} = (\text{USD } 168.882,17 \div \text{USD } 300.318,00) \times 100 = 56,23\%$$

$$\text{ROI anualizado} = 56,23\% \div 5 = 11,25\% \text{ anual promedio}$$

Nota Sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

Estos dos valores son coherentes con la Tabla 15 (sección 3.7) y deben actualizarse junto con ella si el flujo de caja se recalcula con datos reales del MVP.

Anexo G. Matriz de medios de verificación para defensa académica

Esta matriz permite responder de forma ordenada a preguntas del tribunal sobre el origen de los datos. Su finalidad es separar hechos documentados, hipótesis de prefactibilidad y datos pendientes de validación.

Afirmación o variable	Medio de verificación recomendado	Uso en defensa
Volumen de RAEE	Reportes del MAATE, datos ambientales del INEC, importaciones del BCE y registros de gestores autorizados.	Demostrar que el dimensionamiento parte de fuentes secundarias y que Quito requiere validación local.
Precios de oro, plata, cobre y aluminio	Series históricas de LME u otras fuentes especializadas verificables, más cotizaciones locales.	Evitar usar precios sin fuente y calcular precio neto de salida.
Costo de financiamiento / WACC	Boletines de tasas del Banco Central del Ecuador y <u>condiciones bancarias reales.</u>	Justificar la tasa de descuento y el costo de deuda.
Disposición a pagar B2B	Obligaciones REP, Programas de Gestión Integral, requerimientos de auditoría y cartas de intención firmadas.	Sustentar que el cliente paga por cumplimiento, trazabilidad y reducción de riesgo.
Demanda de materiales recuperados	Cotizaciones de compradores, gestores, refinerías o industrias consumidoras de material secundario.	Validar precio neto, volumen mínimo de compra y condiciones de pago.
Rendimiento metalúrgico	Pruebas piloto por lote, fichas técnicas de entrada/salida y balances de masa.	Convertir toneladas procesadas en ingresos físicamente posibles.

Nota. La tesis no debe afirmar cifras definitivas que no estén respaldadas por una fuente verificable, un cálculo trazable o una prueba piloto.

Anexo H. Matriz de Control Operativo — triple impacto. Esta matriz amplía la Tabla 6 y la Tabla 12 del documento, incorporando metas numéricas trimestrales en las dimensiones económica, social y ambiental para la fase MVP y la fase de escalamiento modular.

Tabla 25.

Matriz de Control Operativo — Triple Impacto (Fase MVP, meses 6-10).

Dimensión	Indicador	Meta trimestral MVP	Responsable
Económica	Toneladas procesadas	60 a 75 t/trimestre (20-25 t/mes)	Logística
Económica	Margen por tonelada	Positivo y creciente; $\geq$ USD 15/t al cierre del trimestre 2	Finanzas
Económica	Índice de Cobertura de Abastecimiento (ICA)	$\geq 150\%$	Comercial
Económica	ROI acumulado del trimestre	Comparado contra el 11,25% anual de referencia	Finanzas
Social	Empleos directos formales generados	7 directivos + mínimo 4 operativos por trimestre 2	RR. HH.
Social	Horas de capacitación por persona	≥ 8 horas/persona/trimestre	RR. HH.
Ambiental	Trazabilidad documental de lotes	100% de lotes con acta, pesaje y registro fotográfico	Compliance / TI
Ambiental	Incidentes ambientales o de seguridad	0 incidentes incapacitantes; 0 no conformidades críticas	HSEQ

Anexo I. Modelo de Carta de Intención (Letter of Intent — LOI).

CARTA DE INTENCIÓN (LETTER OF INTENT)

- Objeto.** Las Partes expresan su intención preliminar y no vinculante de explorar una relación comercial relacionada con la gestión, recolección, clasificación, valorización y/o comercialización de materiales provenientes de RAEE.
- Volumen referencial.** Volumen estimado: ____t/mes. Tipo de RAEE: _____. Frecuencia referencial: _____. Cifras sujetas a verificación posterior.
- Condiciones suspensivas.** No genera obligación de entrega, compra ni pago; condicionada a permisos vigentes, contrato definitivo y verificación de calidad y precio.

4. Vigencia y carácter no vinculante. Vigencia de ____ días; documento de expresión de interés, sin obligaciones exigibles más allá de la confidencialidad pactada.

Por MetalGreen: _____ Por La Contraparte: _____

Anexo J. Formato de Certificación de Gestión y Tratamiento de RAEE.

CERTIFICADO DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RAEE — N.º MG-____-2026

Generador: _____ RUC: _____ Código de lote: _____

Peso bruto recibido (kg): _____ Peso valorizado (kg): _____ % valorizado: _____ %

Destino final: ☐ Valorización local ☐ Venta a comprador formal ☐ Disposición autorizada

MetalGreen certifica que el lote indicado fue recibido, clasificado, tratado y/o dispuesto conforme a los protocolos internos de trazabilidad, seguridad industrial y cumplimiento ambiental vigentes.

Emitido por: _____ Firma y sello: _____