

Maestría en

Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social Organizacional

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de
Magister en Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social Organizacional

AUTORES:

Kimberly Alexandra Caiza Herrera
Christian Andrés Goyes Godoy
Cristhoper Eduardo Sánchez Vinuesa
Nathaly Zuleyka García Bautista
María Morayma Urbano Vergara
Gianni Carolina Défaz Visuete

TUTORES:

Profesor PBL1. Marcelo Fabian Cabrera Jara
Profesor PBL2. Beatriz Zambruno Fernández
Profesor PBL3. Cecilia del Carmen Puertas Donoso

**Propuesta para la generación de energía a partir de residuos sólidos orgánicos
municipales: diseño de una guía de viabilidad de toma de decisiones para los GADM de la
Sierra ecuatoriana.**

Quito, junio 2026

Certificación de autoría

Nosotros, **Kimberly Alexandra Caiza Herrera, Christian Andrés Goyes Godoy, Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza, Nathaly Zuleyka García Bautista, María Morayma Urbano Vergara, Gianni Carolina Défaz Visuete**, 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.



Firma del graduando
Kimberly Alexandra Caiza Herrera



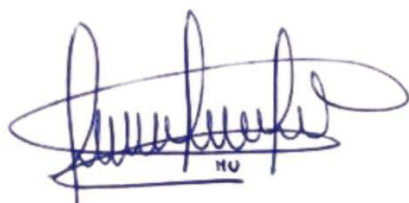
Firma del graduando
Christian Andrés Goyes Godoy



Firma del graduando
Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza



Firma del graduando
Nathaly Zuleyka García Bautista



Firma del graduando
María Morayma Urbano Vergara



Firma del graduando
Gianni Carolina Défaz Visuete

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.

Autorización de Derechos de Propiedad Intelectual

Nosotros, Kimberly Alexandra Caiza Herrera, Christian Andrés Goyes Godoy, Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza, Nathaly Zuleyka García Bautista, María Morayma Urbano Vergara, Gianni Carolina Défaz Visuete, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado ***Generación de energía a partir de residuos sólidos orgánicos municipales: diseño de una guía de viabilidad de toma de decisiones para GADs de la Sierra Ecuatoriana***, 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, junio 2026.



Firma del graduando
Kimberly Alexandra Caiza Herrera



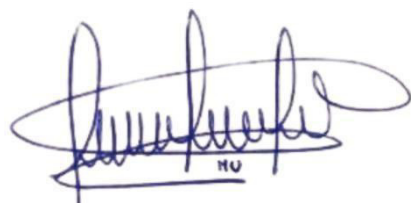
Firma del graduando
Christian Andrés Goyes Godoy



Firma del graduando
Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza



Firma del graduando
Nathaly Zuleyka García Bautista



Firma del graduando
María Morayma Urbano Vergara



Firma del graduando
Gianni Carolina Défaz Visuete

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, Alberto Martínez EIG y Cecilia Puertas UIDE, declaramos que los graduandos: Kimberly Alexandra Caiza Herrera, Christian Andrés Goyes Godoy, Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza, Nathaly Zuleyka García Bautista, María Morayma Urbano Vergara, Gianni Carolina Défaz Visuete son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal de ellos.



Alberto Martínez
Director/a de la
Maestría en Desarrollo Sostenible y
Responsabilidad Social Organizacional



Cecilia Puertas
Coordinador/a de la
Maestría en Desarrollo Sostenible y
Responsabilidad Social Organizacional

DEDICATORIA

Para mi padre, quien desde el momento en que supo que iniciaba este importante camino académico quiso ser parte de este pequeño logro y compartió conmigo su emoción e ilusión de que alcanzara esta meta. Hoy, aunque ya no se encuentre físicamente a mi lado, sé que desde el cielo me acompaña y observa con orgullo y felicidad cuanto ha crecido su pequeña.

Kimberly Alexandra Caiza Herrera

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza. A la Virgen del Cisne, por su amparo y guía en cada paso. A mis padres, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo. A mi novia, por su paciencia, apoyo constante y por creer en mí cuando más lo necesitaba para alcanzar esta meta. Este trabajo es una muestra de mi gratitud hacia ustedes.

Christian Andrés Goyes Godoy

Dedico este logro a mi abuela y a mi madre, por ser mi apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, gracias por su amor, sacrificio, confianza y por enseñarme a perseverar ante cada desafío. Ustedes han sido mi inspiración, mi fortaleza y el motor que me impulsa a seguir creciendo personal y profesionalmente.

Nathaly Zuleyka García Bautista

Dedico este logro a mi familia, por su amor, apoyo y confianza incondicional durante mi formación académica. Su motivación ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

María Morayma Urbano Vergara

Dedico este trabajo a mis padres por su esfuerzo y apoyo incondicional; a mis hermanas, por su cariño, compañía y constante motivación; y a mi tío Ángel, por su apoyo y confianza. Gracias por acompañarme en cada desafío y por ser el pilar fundamental que me impulsó a alcanzar esta meta.

Gianni Carolina Défaz Visuete

A mi madre y a mis abuelos, por ser la base de mis principios, mis sueños y mis logros. Gracias por acompañarme en cada etapa de mi vida con amor, paciencia y dedicación. Su confianza en mí ha sido una fuente constante de motivación para seguir adelante y alcanzar esta meta. Este trabajo es una muestra de mi gratitud hacia ustedes.

Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza,

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la fortaleza y sabiduría para superar cada desafío y llegar hasta aquí. A mi querida tía Dalia, por ser mi apoyo incondicional desde el primer instante, su cariño, confianza y palabras de aliento siempre me motivaron a seguir adelante. A mi querida madre, Ruth Merizalde, por estar siempre a mi lado, por cuidarme, consentirme y acompañarme en cada etapa de mi vida, sin importar las circunstancias.

Kimberly Alexandra Caiza Herrera

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por regalarme la vida, la salud y la bendición de tener los mejores padres. A la Virgen del Cisne, le doy gracias por su constante protección, su guía luminosa y el consuelo que me brindó en los momentos de incertidumbre. A mis padres, gracias por ser mi ejemplo, mi refugio y mi sostén. Su sacrificio, sus enseñanzas y la confianza que depositaron en mí han sido la base sobre la cual construí mis sueños; este logro es también suyo. A mi novia, gracias por tu amor inquebrantable, tu paciencia y por acompañarme en los momentos difíciles. Gracias por ayudarme a enfrentar mis miedos; tu apoyo emocional y tus palabras de aliento fueron decisivos para sobrellevar y vencer los retos de este proceso.

Christian Andrés Goyes Godoy

A Dios, por guiar mi camino y darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para alcanzar esta meta. A mi madre y a mi abuela, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en cada paso de mi vida; gracias por ser mi inspiración y el motor que me impulsa a seguir creciendo.

Nathaly Zuleyka García Bautista

Expreso mi sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación académica y al desarrollo de este trabajo de titulación. Su apoyo, orientación y motivación fueron fundamentales para alcanzar esta importante meta

María Morayma Urbano Vergara

Agradezco a Dios por bendecirme con la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi vida. De igual manera, expreso mi sincero agradecimiento a todas las personas que, con su apoyo, orientación y confianza, contribuyeron al desarrollo de este trabajo y al logro de este importante objetivo académico.

Gianni Carolina Défaz Visuete

Mi más sincero agradecimiento a mi madre y a mis abuelos, por su apoyo incondicional y por estar presentes en cada desafío y aprendizaje. Su ejemplo, esfuerzo y acompañamiento han sido fundamentales en este camino. Asimismo, agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar con éxito esta importante etapa académica.

Cristhoper Eduardo Sánchez Vinueza,

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.

RESUMEN

Este trabajo propone cómo una herramienta de toma de decisiones para los GAD puede alinearse con los criterios de sostenibilidad y responsabilidad social al integrar variables técnicas, operativas y económicas para evaluar la viabilidad de proyectos de captura de metano y generación eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos. La metodología combinó revisión normativa y documental, técnica-económica (CAPEX/OPEX y producción de biogás), análisis PESTEL, benchmarking, mapeo de stakeholders, FODA, las cinco fuerzas de Porter y un ACV simplificado, articulados en bloques PBL sobre desarrollo sostenible, sistemas integrados de gestión y diseño para la sostenibilidad.

Los resultados incluyen un diagnóstico externo integral que identifica condicionantes políticos, económicos, sociales y tecnológicos; estrategias de gobernanza y responsabilidad social orientadas a la aceptación comunitaria e inclusión de recicladores; y un diagnóstico estratégico que prioriza riesgos, oportunidades y líneas de acción. Se proponen indicadores KPI para seguimiento operativo y ambiental, un esquema de Sistema Integrado de Gestión y un ACV con escenarios proxy por kWh que facilitan comparaciones entre alternativas.

La guía diseñada es replicable y ofrece un marco para estructurar proyectos municipales y explorar modelos de financiamiento climático y mancomunados; sin embargo, su implementación requiere validación empírica mediante mediciones locales, pilotaje operativo y fortalecimiento institucional para asegurar captura eficiente de metano, viabilidad financiera y aceptación social. Se recomiendan fases piloto, protocolos operativos detallados, mecanismos de financiamiento y monitoreo participativo, locales, sostenibles y permanentes.

Palabras Clave: Valorización energética, biogás, sostenibilidad, Análisis de ciclo de vida.

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.

ABSTRACT

This work proposes how a decision-making tool for gads can align with sustainability and social responsibility criteria by integrating technical, operational, and economic variables to evaluate the feasibility of methane capture and electricity generation projects from organic municipal solid waste. The methodology combined regulatory and documentary review, techno-economic modeling (CAPEX/OPEX and biogas production), PESTEL analysis, benchmarking, stakeholder mapping, SWOT, Porter's five forces and a simplified LCA, articulated in PBL blocks on sustainable development, integrated management systems and design for sustainability.

The results include an integrated external diagnosis that identifies political, economic, social and technological constraints; governance and social responsibility strategies aimed at community acceptance and inclusion of waste pickers; and a strategic diagnosis that prioritizes risks, opportunities and lines of action. Proposed KPI indicators for operational and environmental monitoring, an Integrated Management System framework and an LCA with proxy scenarios per kWh are presented to facilitate comparisons among alternatives.

The designed guide is replicable and provides a framework to structure municipal projects and explore climate finance and intermunicipal (joint) models; however, its implementation requires empirical validation through local measurements, operational piloting and institutional strengthening to ensure efficient methane capture, financial viability and social acceptance. Pilot phases, detailed operating protocols, financing mechanisms and participatory, local, sustainable and permanent monitoring are recommended.

Keywords: Energy valorization; Biogas; Sustainability; Life Cycle Assessment (LCA)

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.

CONTENIDOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Planteamiento del problema e importancia del estudio.....	14
1.2 Perfil de la organización.....	15
1.3 Metodología.....	18
CAPITULO 2. DESARROLLO SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL ORGANIZACIONAL (PBL1).....	19
2.1 Análisis externo para la propuesta de solución.....	19
2.2 Monetización y Go to Market.....	22
CAPITULO 3. SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN.....	27
3.1 Análisis de Porter al microentorno competitivo de la organización.....	27
3.2 La cadena de valor de Porter adaptada a ISO 9001.....	28
3.3 La estrategia, requisitos y alcance.....	30
3.4 Requisitos legales ambientales aplicables al GADM de Santa Ana de Cotacachi.....	32
3.5 Objetivos ambientales.....	33
3.6 Plan de acción detallado.....	33
3.7 Sistema de evaluación y seguimiento.....	35
3.8 Información y estudio sobre la Implantación o evaluación de un SGI.....	36
3.9 Desarrollo del Plan del Trabajo para la implementación de un SGI.....	38
3.10 Definición del contexto de la organización.....	41
3.11 Establecimiento de políticas, objetivos y compromisos.....	41
3.12 Documentos necesarios.....	43
3.13 Diseño e implementación de controles operativos y protocolos de seguimiento.....	44
3.14 Diseño e implementación de planes de respuesta a emergencias.....	45
3.15 Establecimiento de necesidades de capacitación y formación.....	46
3.16 Comunicación a todas las partes interesadas.....	47
3.17 Programa de auditorías internas.....	48
3.18 Ejemplo de no conformidad y acción correctiva.....	49
CAPITULO 4. DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD Y SU CONTEXTO GLOBAL.....	50
4.1 Gobernanza: visión, misión, políticas, estructura organizacional.....	50
4.2 Aspectos: económicos, sociales y ambientales.....	52
4.3 Estrategias propuestas, acciones, planes y/o estrategias a adoptar para lograr una empresa más sostenible.....	54
4.4 Impactos ambientales.....	56
4.5 Fases del ACV.....	59
4.5.1 Definición del objetivo y alcance.....	59
4.6 Beneficios del ACV para la gestión organizacional.....	61
4.6.1 Análisis de mejoras que se pueden implementar.....	62
4.7 Unidad funcional, alcance y ACV simplificado.....	63
4.8 Análisis de Ciclo de Vida con valores cuantitativos proxy.....	64

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.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES	67
5.1 <i>Conclusiones generales.....</i>	67
5.2 <i>Conclusiones específicas.....</i>	67
CAPITULO 6. REFERENCIAS.....	69
6 ANEXOS	71

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.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de hallazgos del análisis PESTEL	20
Tabla 2	Resumen de hallazgos del benchmarking entre El Inga (Quito) y Pichacay (Cuenca).	21
Tabla 3	Microentorno competitivo de la organización a través de las 5 fuerzas de Porter	27
Tabla 4	Fortalezas y debilidades por bloques de la cadena de valor	29
Tabla 5	Matriz FODA (ESG – GADM Cotacachi) para un proyecto de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos.	29
Tabla 6	Identificación de aspectos ambientales GADM de Cotacachi.	31
Tabla 7	Requisitos legales ambientales aplicables al GADM de Santa Ana de Cotacachi.	32
Tabla 8	Objetivos Ambientales.	33
Tabla 9	Plan de Acción Detallado	34
Tabla 10	Sistema de evaluación y seguimiento	35
Tabla 11	Definición del alcance y los objetivos.	37
Tabla 12	Análisis de brechas para la implantación del SIG.	38
Tabla 13	Recursos y responsables necesarios para la implementación del SIG	40
Tabla 14	Factores internos y externos del contexto organizacional.	41
Tabla 15	Documentación prioritaria del SIG	43
Tabla 16	Controles operativos para la implementación del SIG	44
Tabla 17	Propuesta para el establecimiento de un programa de capacitación y formación por niveles organizacionales.	46
Tabla 18	Propuesta para el programa de comunicación con partes interesadas	48
Tabla 19	Proceso para auditorías externas.	49
Tabla 20	Impactos actuales y potenciales identificados.	56
Tabla 21	Evaluación general del PMA frente a impactos actuales y potenciales	58
Tabla 22	Inventario del proceso (LCI) para el ACV del sistema de generación eléctrica a partir de biogás	59
Tabla 23	Análisis de mejoras que se pueden implementar	62
Tabla 24	Proxi utilizados para la estimación del ACV	64
Tabla 25	Escenarios considerando 1 kWh de electricidad entregada en sitio	65

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Ubicación del GADM Santa Ana de Cotacachi 16
- Figura 2** The Business Model Canvas23
- Figura 3** Mapa de Procesos Integrado.43
- Figura 4** Flujograma de actuación del Plan de Emergencias46
- Figura 5** Estructura Orgánica GADM de Santa Ana de Cotacachi.51
- Figura 6** Flujo del proceso decisional del GADM Municipal de Santa Ana de Cotacachi.52
- Figura 7** ACV del proceso de generación de electricidad61

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) municipales de Ecuador, a quienes el gobierno central cedió las competencias exclusivas de gestión de residuos sólidos mediante el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) (Presidencia de la República, 2015), fundamentados en el Artículo 264 numeral 4 de la Constitución de 2008 (Asamblea Nacional Constituyente, 2008), enfrentan un problema estructural de baja valorización energética de los residuos sólidos orgánicos (RSO). Según datos del INEC (INEC, 2022), el país genera 14.194 toneladas diarias de RSO, de las cuales el 50.5% son orgánicas (7.168 ton/día RSO), pero solo entre el 3 % y el 5 % se aprovecha energéticamente, mientras el 90% restante no tiene aprovechamiento energético.

Esta ineficiencia genera a los GADs un costo superior a los \$500 millones anuales solo en operación, principalmente en la recolección de basura alrededor de \$660 por tonelada recolectada al año (Sánchez Jumbo, 2025). Además, implica la pérdida de ingresos por venta de energía a la Corporación Nacional de Electricidad y por la generación de créditos de carbono, ya que el metano, según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) posee un potencial de calentamiento global 28 veces mayor que el CO₂ en un horizonte de 100 años (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

De los 222 cantones de Ecuador, alrededor del 70 % (unos 155) corresponde a cantones pequeños y medianos con menos de 50.000 habitantes) y producen menos de 20 toneladas diarias de residuos orgánicos (Ministerio del Ambiente, 2024). Esto significa que el país pierde unos \$2.400 millones al año en energía que podría venderse a \$0.11/kWh (tarifa del Servicio Público de Energía Eléctrica), calculado a \$3.37 millones anuales por cada ton/día de RSO aprovechado.

Por lo tanto, la propuesta que plantea este documento se orienta específicamente a trabajar con los GAD municipales pequeños y medianos de la Sierra ecuatoriana, que gestionan entre 25 y 400 toneladas diarias de residuos y cuentan con estructuras técnicas básicas, presupuestos superiores a 5 millones de dólares y la necesidad urgente de mejorar la sostenibilidad de sus servicios. Estos gobiernos locales podrían disponer de una masa crítica de generación de residuos suficiente para viabilizar proyectos de captura de metano y valorización energética, pero aún enfrentan limitaciones técnicas, financieras y de planificación que dificultan su implementación. En este contexto, el proyecto se plantea como una herramienta estratégica para apoyar a estos GAD en su transición hacia modelos de gestión más eficientes, alineados con los ODS 11 y 12, y coherentes con los instrumentos de política climática nacional que permiten acceder a financiamiento climático y mercados de carbono. De esta manera, la iniciativa no solo responde a una problemática ambiental y operativa, sino que se convierte en una oportunidad real para que los municipios consoliden su sostenibilidad técnica y financiera en el mediano plazo.

El presente documento se estructura siguiendo la lógica de los PBL desarrollados —Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social Organizacional, Sistemas Integrados de Gestión y Diseño para la Sostenibilidad y su Contexto Global—, los cuales abordan de manera complementaria los principios, enfoques y herramientas vinculados a la sostenibilidad y la responsabilidad social en el ámbito municipal. Cada bloque desarrolla conceptos específicos y presenta los resultados obtenidos los cuales permiten dimensionar la gestión pública del GADM articulando dimensiones institucionales, ambientales, sociales y económicas. La construcción de estos contenidos se realizó aplicando la metodología descrita en la sección 1.3, basada en la revisión normativa, técnica e institucional, así como en el análisis de información operativa y documentos especializados. Esta lógica de trabajo garantiza que la propuesta final se alinee con los conceptos de desarrollo sostenible y responsabilidad social vigentes en el país, asegurando coherencia con los marcos legales nacionales y con los compromisos internacionales asumidos por Ecuador.

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.

1.1 Planteamiento del problema e importancia del estudio

1.1.1. Definición del proyecto

El proyecto consiste en la propuesta de diseño de una herramienta de toma de decisiones dirigida a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) municipales de la Sierra ecuatoriana, cuyo propósito es determinar el umbral mínimo de generación de metano ($\text{m}^3/\text{día}$ y toneladas de RSO/día) necesario para implementar de forma viable sistemas de captura activa de metano y generación eléctrica. La herramienta integra variables técnicas, operativas y económicas para producir un diagnóstico rápido y un informe ejecutivo que permita decidir entre implementar el sistema, buscar alternativas como compostaje, biometanización o promover soluciones regionales (mancomunidades).

1.1.2. Naturaleza o tipo de proyecto

La naturaleza del proyecto es multidimensional y modular, es decir, combina: i) revisión y síntesis documental; ii) modelación técnica-económica (parámetros de producción de biogás, eficiencia de captura, conversión a energía eléctrica, CAPEX/OPEX); iii) análisis de contexto institucional y social (PESTEL, benchmarking); iv) análisis de la aplicación de un sistema integrado de gestión, y vi) diseño para la Sostenibilidad y su Contexto Global.

El tipo de proyecto es de investigación aplicada y desarrollo tecnológico-operativo con componente de política pública.

1.1.3. Objetivos

1.1.3.1. Objetivo general

Desarrollar guía de viabilidad de toma de decisiones que determine, mediante variables operativas, técnicas y económicas, el umbral mínimo de generación de metano necesario para implementar de manera viable sistemas de captura activa de metano y generación de energía bajo el esquema del Servicio Público de Energía Eléctrica con el fin de asistir a los GADs municipales de la Sierra ecuatoriana en la evaluación de la viabilidad técnica y financiera de dichos proyectos.

1.1.3.2. Objetivo específico

- i. Realizar un diagnóstico externo integral que identifique y analice las condiciones políticas, económicas, socioculturales, tecnológicas, legales y ecológicas que afectan la viabilidad de proyectos de valorización energética de residuos en los GADs de la Sierra, mediante matriz PESTEL, benchmarking y mapeo de stakeholders.
- ii. Diseñar estrategias de responsabilidad social y gobernanza local que promuevan la aceptación comunitaria, la inclusión de actores vulnerables (recicladores, comunidades indígenas) y la alineación con políticas públicas, de modo que faciliten la implementación sostenible de proyectos de captura de metano y generación eléctrica.
- iii. Diagnosticar la posición estratégica y operativa del GAD frente a proyectos de valorización energética mediante análisis de las cinco fuerzas de Porter y una matriz FODA, con el fin de definir prioridades estratégicas y riesgos críticos.

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.

- iv. Diseñar un plan operativo para la implementación de un Sistema de Gestión Integrado (SGI) que incluya la identificación y priorización de aspectos e impactos ambientales, requisitos regulatorios, controles operativos, planes de respuesta a emergencias, y un programa de formación y comunicación para las partes interesadas.
- v. Definir el marco de gobernanza, visión, misión, políticas y estructura organizacional necesarios para sostener proyectos de valorización energética, y establecer un conjunto de indicadores económicos, sociales y ambientales que permitan monitorear el desempeño y la contribución a la sostenibilidad local.
- vi. Evaluar los impactos ambientales de las alternativas tecnológicas mediante un análisis de ciclo de vida simplificado y su articulación con el Plan de Manejo Ambiental del GAD, de modo que se prioricen las estrategias de mitigación, adaptación y financiamiento alineadas con compromisos nacionales e internacionales.

1.1.4. Justificación e importancia del trabajo de investigación

La presente investigación responde a la necesidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) de la Sierra ecuatoriana de disponer de criterios técnicos y económicos robustos para decidir sobre la implementación de sistemas de captura de metano y generación eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos. Al integrar modelación técnica-económica, análisis institucional y evaluación ambiental (incluido un ACV simplificado), la herramienta propuesta reduce la incertidumbre asociada a inversiones en infraestructura, permite estimar umbrales mínimos de viabilidad y facilita la comparación entre alternativas (inversión directa, cooperación intermunicipal o soluciones no energéticas), optimizando el uso de recursos públicos.

Además, el estudio aporta beneficios ambientales y sociales relevantes: disminuye emisiones de gases de efecto invernadero al mitigar fugas de metano, mejora la gestión operativa de los rellenos sanitarios y crea oportunidades de ingresos por venta de energía y créditos de carbono. Al considerar gobernanza, aceptación comunitaria y requisitos normativos, la investigación ofrece una solución práctica y replicable que fortalece la capacidad de decisión municipal, favorece el acceso a financiamiento climático y contribuye a la sostenibilidad territorial.

1.2 Perfil de la organización.

1.2.1. Nombre de la empresa

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Ana de Cotacachi (GADM Cotacachi).

1.2.2. Misión, visión, valores

- i. Misión: Promover y ejecutar el desarrollo sostenible del cantón mediante la planificación territorial, la prestación eficiente de servicios públicos y la articulación con la comunidad para mejorar la calidad de vida.
- ii. Visión: Ser un gobierno local reconocido por la gestión integral, la innovación en servicios públicos y la sostenibilidad ambiental y social.
- iii. Valores: Transparencia, responsabilidad ambiental, participación ciudadana, eficiencia operativa y mejora continua.

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.

1.2.3. Actividades, marcas, productos y servicios

- i. Actividades principales. prestación de servicios públicos locales y la gestión del territorio, lo que incluye planificación urbana, prestación de servicios básicos (recolección y disposición de residuos, agua, alcantarillado, alumbrado, vías), regulación local y la ejecución de políticas públicas municipales.
- ii. Productos/servicios relevantes al proyecto. Gestión integral de residuos sólidos (recolección, transporte y disposición final), planificación territorial, gestión ambiental, prestación de servicios públicos municipales, educación ambiental y promoción de proyectos de valorización energética. Operación del relleno sanitario, programas de separación en la fuente, monitoreo ambiental, gestión de permisos y trámites, campañas de educación ambiental y coordinación para proyectos energéticos municipales.

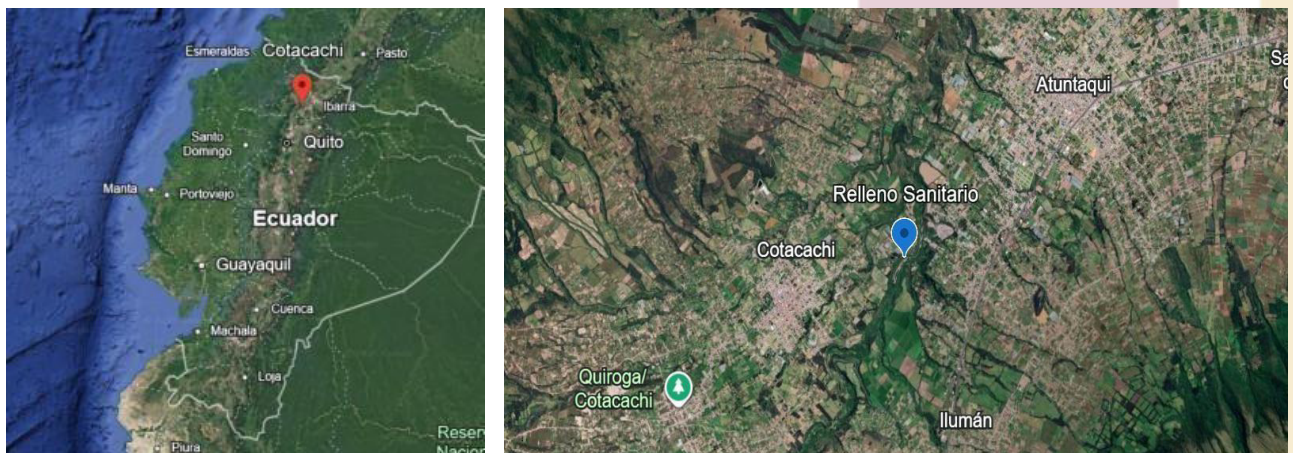
1.2.4. Ubicación de la sede y Ubicación de las operaciones

La sede se encuentra en la Ciudad de Santa Ana de Cotacachi, provincia de Imbabura, Ecuador.

Las operaciones se encuentran en el territorio cantonal de Cotacachi; sitio de disposición final (relleno sanitario) ubicado dentro del cantón. Las actividades de recolección cubren zonas urbanas, rurales y comunidades indígenas del cantón. La Figura 1 muestra la ubicación tanto del GADM de Santa Ana de Cotacachi como del relleno sanitario.

Figura 1

La imagen de la derecha muestra la ubicación del GADM Cotacachi dentro del mapa del Ecuador. La imagen de la izquierda presenta la localización del relleno sanitario dentro del cantón, destacando su posición respecto a las principales áreas pobladas.



1.2.5. Propiedad y forma jurídica

Entidad pública territorial; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, con personería jurídica pública y competencias definidas por el COOTAD y normativa ambiental nacional.

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.

1.2.6. Mercados servidos o ubicación de sus actividades de negocio

Prestación de servicios municipales al conjunto de la población del cantón Cotacachi, interlocución con organismos nacionales (MAE, Ministerio de Ambiente y Energía), asociaciones municipales (AME), proveedores técnicos y potenciales socios regionales (mancomunidades).

1.2.7. Tamaño de la organización e Información sobre empleados y otros trabajadores

Municipio de tamaño pequeño-mediano. Se estima de acuerdo con los datos de población y generación de residuos que varían según fuentes: población referencial entre ~10.500 y 45.000 habitantes; generación de residuos estimada entre 12–30 t/día, con una fracción orgánica alta (50–55 %). Estas cifras sitúan al GADM en la categoría de GADs con capacidad operativa limitada, pero infraestructura disponible de relleno sanitario (INEC, 2022; Municipio de Cotacachi, 2026b).

Plantilla municipal con personal operativo en recolección y mantenimiento, unidades técnicas (Dirección de Gestión Ambiental, Unidad de Residuos, Unidad de Mantenimiento, Unidad de Educación Ambiental) y personal administrativo. Documentos indican compromiso del personal operativo y necesidad de capacitación sistemática; objetivo de capacitar al 80 % del personal operativo en procedimientos críticos (Municipio de Cotacachi, 2026b)

1.2.8. Procesos clave relacionados con el objetivo propuesto

- i. Recolección y transporte de residuos (rutas, frecuencias, consumo de combustible).
- ii. Recepción y disposición en relleno sanitario (compactación, cobertura, gestión de celdas).
- iii. Captación y monitoreo de biogás (pozos, tuberías, medición de caudal y %CH₄).
- iv. Operación de sistemas de generación eléctrica (motor-generador, registro de kWh).
- v. Monitoreo ambiental (lixiviados, calidad de agua, emisiones).
- vi. Gestión documental y cumplimiento normativo (PMA, autorizaciones, registros de mantenimiento).
- vii. Comunicación y participación ciudadana (campanas de separación en la fuente, inclusión de recicladores).

1.2.9. Principales cifras, ratios y números que definen a la empresa

- i. Generación de residuos (estimada): 12–30 t/día (MAE, 2024).
- ii. Fracción orgánica: 50–55 % del total de residuos (Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2020)
- iii. Meta de captura inicial propuesta: captación del 40 % del metano generado en celdas activas.
- iv. Meta energética inicial: generación proyectada de referencia 50 kWh/año en fase piloto y estimaciones de escala mayores en benchmarking (El Inga ≈ 70.000 MWh/año; Pichacay ≈ 5.200 MWh/año) para contextos distintos (EMAC EP, 2026; EMGIRS-EP, 2023)
- v. Objetivos operativos: reducir tiempo de respuesta ciudadana 25 %; mejorar eficiencia de recolección 15 %; aumentar separación en la fuente al 25 % en zonas piloto.

1.2.10. Modelo de negocio

Modelo público-servicio con componentes de valorización : prestación pública del servicio de residuos complementada por la generación de ingresos mediante venta de energía (autoconsumo y/o comercialización) y potencial monetización de créditos de carbono. El modelo contempla opciones de financiamiento externo, cooperación técnica y esquemas de mancomunidad para agregación de residuos cuando la escala municipal sea insuficiente.

1.2.11. Grupos de interés internos y externos

- i. Internos: Alcaldía, Concejo Municipal, Dirección de Gestión Ambiental, Unidad de Residuos, Unidad de Mantenimiento, personal operativo, unidades de educación y finanzas.
- ii. Externos: ciudadanía y comunidades locales (incluidas comunidades indígenas), recicladores de base, proveedores de equipos y servicios (captación, motores, monitoreo), MAE/Ministerio de Ambiente y Energía, AME, entidades financiadoras y donantes, universidades y consultoras técnicas, mercado de energía y operadores de red, compradores de créditos de carbono.

1.2.12. Otros datos de interés

- i. El GADM cuenta con infraestructura de relleno sanitario y voluntad política documentada para avanzar hacia un Sistema Integrado de Gestión (SIG) que integre calidad, ambiente y SST (ISO 9001 / ISO 14001 / ISO 45001) (Municipio de Cotacachi, 2026b)
- ii. Existen brechas identificadas: ausencia de SGC formal, baja digitalización, procedimientos no estandarizados y necesidad de consolidar matriz de requisitos legales y registros de cumplimiento.
- iii. El proyecto se apoya en herramientas técnicas (método FOD del IPCC, ACV simplificado) y en lecciones aprendidas de casos nacionales (El Inga, Pichacay) para calibrar supuestos y escenarios.

1.3 Metodología

La metodología empleada se basó en una revisión exhaustiva de información institucional, normativa y técnica relacionada con la gestión de residuos sólidos, orientada a identificar los factores internos y externos que influyen en la integración de sistemas de gestión. Se analizaron marcos legales como el COOTAD, el COA y el RCOA, junto con datos operativos del relleno sanitario disponibles en fuentes oficiales. Este proceso se complementó con la revisión de documentos técnicos, artículos científicos e informes del IPCC, lo que permitió incorporar criterios actualizados sobre emisiones, captura de metano y mitigación climática, enriqueciendo el análisis con evidencia internacional. Asimismo, la experiencia profesional de los autores aportó una interpretación contextualizada y práctica de la información recopilada. Los insumos obtenidos facilitaron la identificación de brechas, la definición de objetivos y la formulación de lineamientos iniciales para estructurar un sistema de gestión integral coherente con las necesidades de los GAD y con los principios del desarrollo sostenible.

CAPITULO 2. DESARROLLO SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL ORGANIZACIONAL (PBL1)

La gestión de los residuos orgánicos en los GAD de la Sierra ecuatoriana enfrenta retos que van más allá de lo técnico: involucra costos elevados, baja valorización energética, presión regulatoria y la necesidad de avanzar hacia modelos coherentes con el desarrollo sostenible (Municipio de Cotacachi, 2026a). Esto ha puesto sobre la mesa la urgencia de contar con herramientas que permitan evaluar, con criterios claros y realistas, si un proyecto de captura de metano y generación eléctrica puede funcionar en cada territorio, fortaleciendo la planificación municipal y el cumplimiento de los ODS 11 y 12.

En este marco, se desarrollaron análisis como el PESTEL, el benchmarking de experiencias nacionales, el mapeo de actores y proveedores, así como el estudio de monetización, el Go to Market y un modelo Canvas, con el propósito de comprender de manera integral el entorno en el que operan los GADs y los factores que influyen en la implementación de proyectos de captura de metano y la posible aplicación de una herramienta de toma de decisiones. Estos insumos permitieron identificar riesgos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, legales y ecológicos; extraer aprendizajes de proyectos consolidados como El Inga y Pichacay (El Universo, 2023; EMAC EP, 2026; EMGIRS-EP, 2023); y reconocer a los actores clave cuya participación, aceptación o capacidad técnica puede determinar el éxito o fracaso de una iniciativa de valorización energética. En conjunto, estos análisis construyen la base técnica e institucional necesaria para diseñar una herramienta de decisión ajustada a las realidades territoriales y operativas de los municipios de la Sierra, garantizando que la propuesta sea viable, socialmente responsable y coherente con los principios del desarrollo sostenible.

A continuación, se presentan los principales hallazgos obtenidos a partir de este proceso de análisis y revisión, los cuales permiten comprender con mayor precisión las condiciones, oportunidades y limitaciones que influyen relacionadas con la sostenibilidad y responsabilidad social organizacional.

2.1 Análisis externo para la propuesta de solución

2.1.1. Análisis PESTEL

El análisis PESTEL evidencia que la viabilidad de proyectos de captura y aprovechamiento energético del metano en los GADs de la Sierra ecuatoriana está condicionada por factores externos que pueden impulsar o limitar su implementación. En el ámbito político, se identifican debilidades relacionadas con la coordinación interinstitucional y la necesidad de voluntad política, aunque existe un marco normativo favorable desde la política climática nacional. En el componente económico, destacan los altos costos de gestión de residuos y la variabilidad en la cantidad y características de los RSO (Martínez Carrera, 2025), pero también un fuerte potencial de ingresos por energía y créditos de carbono, así como acceso a financiamiento climático, la tabla 1 resume los hallazgos del análisis PESTEL para proyectos de captura de metano en GADs de la Sierra ecuatoriana.

Tabla 1*Resumen de hallazgos del análisis PESTEL*

Dimensión	Principales hallazgos identificados
Político	Competencia de gestión de residuos recae en los GADs (COOTAD). Dependencia de voluntad política de alcaldes y concejales. Débil coordinación interinstitucional. Alta prioridad del sector residuos en la política climática nacional.
Económico	Altos costos de gestión de residuos para los GADs. Potencial significativo de ingresos por energía y créditos de carbono. Dependencia de tarifas eléctricas e incentivos regulatorios. Variabilidad en cantidad y características de los residuos. Acceso a financiamiento público e internacional condicionado a capacidades técnicas
Sociocultural	Riesgo de oposición social por olores, ruido y tráfico. Necesidad de participación ciudadana temprana. Presencia de recicladores de base y comunidades indígenas. Baja cultura de separación en la fuente. Riesgos sociales que afectan plazos y costos.
Tecnológica	Tecnología madura pero dependiente de condiciones locales (humedad, compactación, fracción metano). Variabilidad en la calidad del biogás. Dependencia de datos de composición y operación. Uso de modelos como RETScreen y predicción de biogás.
Legal	Responsabilidad municipal en gestión de residuos (COOTAD). Requisitos de conexión y comercialización eléctrica (Ley de Energía Eléctrica). Cambios regulatorios pueden acelerar o bloquear proyectos. Regulación ARCERNNR 002/23 para generación con residuos. Requisitos MAE: licencias, monitoreo y reportes.

Nota. Autores, 2026.

En el plano sociocultural, los principales riesgos provienen de la oposición comunitaria por impactos percibidos, la baja cultura de separación en la fuente y la presencia de actores sociales que requieren inclusión. Desde la dimensión tecnológica, aunque la tecnología es madura, su desempeño (EPA, 2021) depende de condiciones locales y de la calidad del biogás, lo que introduce incertidumbre operativa. En el aspecto ecológico, se reconoce un alto potencial de mitigación por captura de metano, pero también riesgos ambientales como lixiviados y emisiones fugitivas (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019). Finalmente, en el componente legal, el marco regulatorio establece obligaciones claras para los GADs y oportunidades mediante incentivos energéticos, aunque los cambios normativos pueden acelerar o bloquear proyectos (Asamblea Nacional, 2015; Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2020) (Asamblea Nacional, 2015).

2.1.2. Estudio de Benchmarking (análisis de la competencia)

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.

Para este análisis se seleccionaron dos experiencias nacionales consolidadas en la captura y aprovechamiento energético del biogás en rellenos sanitarios: El Inga (Quito) (EMGIRS-EP, 2023) y Pichacay (Cuenca) (EMAC EP, 2026). Estas localizaciones presentan similitudes estructurales con la propuesta de solución, al encontrarse en la Sierra ecuatoriana y operar bajo la competencia municipal establecida en el COOTAD. Ambos proyectos gestionan residuos sólidos urbanos en contextos socioambientales complejos y han implementado esquemas de valorización energética con distintos niveles de madurez técnica, financiera y operativa. Por lo tanto, las experiencias observadas en estos proyectos constituyen insumos valiosos que deben incorporarse como variables dentro de la herramienta de viabilidad (ver tabla 2) para la toma de decisiones en los GADs, ya que no existe actualmente una herramienta que permita evaluar la factibilidad técnica, financiera, social, ambiental e institucional de proyectos de captura de metano en municipios de la sierra

Tabla 2

Resumen de hallazgos del benchmarking entre El Inga (Quito) y Pichacay (Cuenca).

Dimensión	El Inga (Quito) Hallazgos principales	Pichacay (Cuenca) Hallazgos principales
Escala y contexto	Mayor proyecto del país (≈ 9 MW). Alta trayectoria, pero con problemas operativos.	Proyecto de menor escala (≈ 1 MW). Operación estable y desempeño constante.
Técnico	Variabilidad en calidad del biogás. Deficiencias en pozos y drenajes. Acumulación crítica de lixiviados (98,5%). Desplazamientos de masa reportados.	Biogás estable y ajustado a altitud. Infraestructura operativa con mantenimiento especializado. Manejo de lixiviados controlado. Sin reportes de inestabilidad.
Financiero	Ingresos sujetos a regulación. Participación en MDL y mercado voluntario. Deudas > USD 1,5 millones. Altos costos operativos por fallas y escala.	Ingresos sujetos a regulación. No participa aún en créditos de carbono. Situación financiera estable. Costos moderados, aunque crecientes por repuestos.
Ambiental	Riesgos altos: lixiviados, emisiones fugitivas. Incumplimientos normativos. Impactos significativos en suelos y agua.	Riesgos moderados, principalmente olores. Cumplimiento ambiental adecuado. Impactos controlados.
Social	Altos conflictos comunitarios (olores, vectores, tráfico). Percepción pública negativa. Alta proximidad a zonas habitadas.	Tensiones moderadas y manejadas. Percepción neutral a moderada. Proximidad media.
Institucional	Capacidad de gestión limitada por crisis operativa y financiera. Alta dependencia de proveedores.	Gestión institucional más estable. Dependencia alta, pero con mejor continuidad operativa.
Modelo energético	Producción ≈ 70.000 MWh/año. Generación irregular. Condiciones climáticas afectan captación.	Producción ≈ 5.200 MWh/año. Generación estable. Modelo ajustado a condiciones locales.

Nota. Autores, 2026.

El análisis comparativo entre los proyectos de captura y aprovechamiento energético del biogás en El Inga (Quito) y Pichacay (Cuenca) muestra diferencias significativas en escala, desempeño técnico, estabilidad operativa y sostenibilidad financiera. El Inga, con una capacidad aproximada de 9 MW, es el proyecto más grande del país, pero enfrenta problemas estructurales como fallas en la captación, acumulación crítica de lixiviados, desplazamientos de masa y una situación financiera comprometida. En contraste, Pichacay opera a menor escala (≈ 1 MW), pero presenta un desempeño más estable, con mejor control de lixiviados, menor conflictividad social y una gestión financiera más equilibrada.

En términos técnicos, Pichacay muestra una mayor estabilidad en la calidad del biogás y una infraestructura operativa más consistente, mientras que El Inga evidencia variabilidad en la captación y deficiencias en pozos y drenajes. En lo ambiental, El Inga presenta mayores riesgos por su escala y problemas operativos, mientras que Pichacay mantiene impactos más controlados. Socialmente, El Inga enfrenta altos niveles de conflicto comunitario, mientras que Pichacay mantiene tensiones moderadas. Institucionalmente, la capacidad de gestión del GAD de Quito se ve afectada por crisis operativas y deudas, mientras que Cuenca muestra mayor estabilidad. Estos hallazgos permiten identificar factores críticos que deben considerarse en la herramienta de viabilidad, especialmente en municipios pequeños y medianos que buscan evitar los errores de grandes proyectos y replicar buenas prácticas de modelos más estables.

2.1.3. Mapeo de stakeholders y proveedores

2.1.3.1. Stakeholders

Entre los actores clave se encuentran los GADs municipales, responsables de la gestión de residuos y usuarios principales de la herramienta. El MAE define los requisitos ambientales, las licencias y las obligaciones de monitoreo. Asimismo, el marco regulatorio condiciona la venta de energía y por lo tanto la factibilidad financiera de los proyectos de generación eléctrica con biogás. A nivel operativo, los operadores de rellenos sanitarios, las consultoras ambientales, y las universidades aportan datos técnicos, metodologías y validación científica. Finalmente, las comunidades cercanas, organizaciones sociales y actores del mercado de carbono influyen en la aceptación social, la gobernanza y la sostenibilidad económica del proyecto.

2.1.3.2. Proveedores

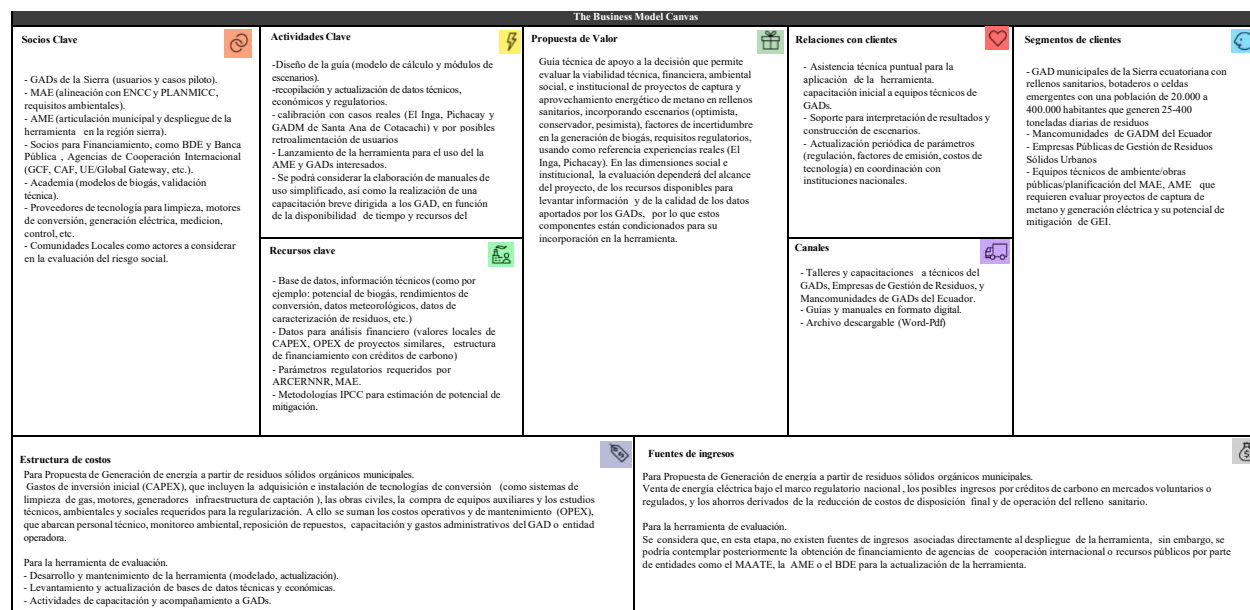
Los proveedores relevantes para la herramienta abarcan tanto a quienes suministran tecnología y servicios para proyectos de captura de biogás como a quienes aportan información técnica y metodológica. Entre ellos destacan las empresas de equipos de captación y generación eléctrica (motores, antorchas, tuberías, sistemas de monitoreo), cuyos parámetros de eficiencia, costos y requerimientos de mantenimiento son esenciales para construir escenarios realistas de costos de CAPEX y OPEX. También son proveedores las consultoras de ingeniería y ambiente y la academia, la cual genera estudios de factibilidad, modelación de biogás, así como datos para calibrar modelos y validar supuestos asegurando que la herramienta se mantenga alineada a una base científica y a las mejores prácticas internacionales.

2.2 Monetización y Go to Market

2.2.1. Modelo de Negocio (Canvas)

El modelo Canvas elaborado sintetiza la información correspondiente a los nueve bloques fundamentales del modelo de negocio. La Figura 2 presenta una versión gráfica del modelo Canvas como referencia general.

Figura 2
The Business Model Canvas



Nota. Autores, 2026.

El modelo Canvas sintetiza de forma ordenada los elementos centrales del proyecto, mostrando que su funcionamiento depende de una red de actores clave como instituciones públicas (MAATE, AME), entidades financieras, academia, proveedores tecnológicos y comunidades locales. Estos socios aportan información técnica, criterios normativos y retroalimentación social necesaria para el desarrollo y validación de la guía. Las actividades principales (diseño del modelo de cálculo, recopilación de datos, calibración con casos reales y procesos de capacitación) evidencian que la herramienta se construye sobre bases empíricas y requiere actualización continua. Los recursos identificados, como bases de datos técnicas, parámetros regulatorios y metodologías IPCC, sustentan la solidez técnica de los escenarios y cálculos incluidos.

En cuanto a los usuarios, el Canvas muestra que la guía está dirigida a GADMs de la Sierra, mancomunidades y equipos técnicos nacionales, utilizando canales como talleres, capacitaciones y materiales digitales. La estructura de costos distingue entre los requerimientos de inversión para proyectos de generación eléctrica y los costos propios del desarrollo y mantenimiento de la guía. Dado que no se prevén ingresos directos en esta etapa, su sostenibilidad depende del financiamiento público o de la cooperación internacional. En conjunto, el Canvas refleja un modelo operativo coherente, con roles definidos y un enfoque práctico orientado a facilitar la toma de decisiones en proyectos de biogás.

2.2.2. Go to Market Sostenible

2.2.2.1. Análisis del Mercado Objetivo

El mercado objetivo son los GADs municipales pequeños y medianos, es decir, gobiernos locales de cantones con 20.000 a 400.000 habitantes que generan 25-400 toneladas diarias de residuos. Se concentran en la región Sierra, excluyendo las grandes ciudades como (Quito, Cuenca) y representan alrededor de 100 GADs con presupuestos anuales superiores a \$5 millones y algo de experiencia técnica

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.

2.2.2.2. Propuesta de valor

El resultado de nuestra propuesta será una guía de fácil aplicación que funcione como instrumento de planificación estratégica basado en evidencia y toma de decisiones para los GADs municipales, de tal manera que puedan identificar claramente cuando es viable implementar sistemas de captura de metano con generación eléctrica y cuando no, evitando inversiones ineficientes y optimizando el uso de recursos públicos.

2.2.2.3. Posicionamiento

La guía debe ser percibida como un instrumento riguroso, técnico y confiable, alineado con estándares internacionales y orientado al fortalecimiento institucional. Su enfoque integra el triple impacto de sostenibilidad en los tres aspectos (económico, social y ambiental), lo que la convierte en un insumo útil para GADs, y otras instituciones públicas. El Mensaje clave que se busca posicionar es el siguiente: *“Una guía técnica y transparente que permite a los GADs municipales tomar decisiones informadas sobre proyectos de generación de energía a partir de residuos sólidos orgánicos municipales reduciendo riesgos y aumentando la probabilidad de financiamiento*

2.2.2.4. Canales

Los canales de llegada al usuario —GADs municipales de la Sierra, mancomunidades de GADM del Ecuador y empresas públicas de gestión de residuos sólidos urbanos— incluyen AME, para el despliegue territorial y la capacitación.

- i. MAE, para su adopción como insumo en evaluaciones de mitigación.
- ii. Talleres regionales en Sierra Centro y Sierra Norte.
- iii. Manuales de uso.

El canal inicial más eficiente corresponde a la articulación AME + MAE, dada su legitimidad institucional y capacidad de convocatoria.

2.2.2.5. Estrategia de precios

La guía no se concibe como un producto comercial, sino como un bien público técnico cuya monetización se estructura institucionalmente. Por lo tanto, la guía base sería gratuita para los GAD, mientras que los servicios de calibración y actualización de requerir se podrían financiar mediante cooperación internacional.

2.2.2.6. Estrategia de marketing y comunicación

La narrativa central enfatiza que los GAD requieren guías confiables para evitar errores costosos en proyectos de generación de energía a partir de residuos sólidos orgánicos municipales. La guía contribuye a reducir incertidumbre, mejorar la planificación y facilitar el acceso a financiamiento climático.

Los canales de comunicación incluyen presentaciones técnicas en AME y MAE, difusión de casos de éxito (como Pichacay o el Inga), materiales visuales sobre beneficios ambientales y económicos, y manuales de uso. El impacto sostenible se comunica mediante indicadores como toneladas de CO₂eq evitadas, ahorros operativos, reducción de conflictos comunitarios y cumplimiento de salvaguardas.

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.

2.2.2.7. Plan de ventas

La estrategia de entrada al mercado se estructura en cuatro fases:

- i. Diseño de la guía (modelo de cálculo y módulos de escenarios).
- ii. Recopilación y actualización de datos técnicos, económicos y regulatorios.
- iii. Calibración con casos reales (El Inga, Pichacay y GADM de Santa Ana de Cotacachi) y con posibles retroalimentaciones de usuarios
- iv. Lanzamiento de la guía para el uso de la AME y GADs interesados.
- v. Se podrá considerar la elaboración de manuales de uso simplificado.

La comercialización institucional será liderada por el equipo técnico del proyecto, en conjunto con AME y MAE.

2.2.2.8. Alianzas

Las alianzas estratégicas involucran al MAE, que aporta legitimidad regulatoria y asegura la alineación con la NDC y el PLANMICC. La AME, que facilita el despliegue territorial y la articulación con los GADs. El BDE, que habilita rutas de financiamiento y procesos de pre-inversión. Se suman la cooperación internacional, que provee recursos técnicos y financieros. La academia, que respalda la validación metodológica. Los proveedores de tecnología, que suministran datos operativos esenciales. Las comunidades locales, que aportan insumos clave para el módulo social y la evaluación de riesgos.

2.2.2.9. Escalabilidad

El crecimiento puede proyectarse en tres niveles *early adopters*, segmento nicho y segmento masivo. A continuación, se analizan cada uno de estos.

Los *early adopters* corresponden a GADs de menor escala que pueden participar en pilotos para validar la funcionalidad, facilidad de uso y pertinencia operativa de la guía. Entre ellos se consideran municipios como por ejemplo Cotacachi, Pelileo, Cayambe, que cuentan con capacidades técnicas básicas y disposición para ensayar innovaciones en la gestión de residuos ya que han sido parte de procesos relacionados con la construcción de las NDC del país.

El segmento nicho está conformado por GADs con rellenos sanitarios técnicamente operativos y con mayores volúmenes de residuos diarios, pero que enfrentan presiones sociales y desafíos de gobernanza. Municipios como Loja, Ambato, Ibarra representan este grupo, caracterizado por una necesidad de guías que permitan evaluar riesgos, optimizar inversiones y fortalecer la toma de decisiones. Este segmento se concentra principalmente en la región Sierra del Ecuador.

Finalmente, el segmento masivo corresponde a una adopción nacional en la que la guía se consolida como un estándar técnico, ampliando su alcance hacia los rellenos sanitarios de la Costa y Amazonia como Santo Domingo, Manta o El Coca, mediante procesos de adaptación de la guía a condiciones climáticas, operativas y de composición de residuos.

2.2.2.10. Indicadores de éxito

Los indicadores incluyen el número de GADMs que adoptan la guía, y el número de proyectos evaluados con la guía. Los indicadores de impacto sostenible abarcan toneladas de CO₂eq evitadas, número de personas beneficiadas, y porcentaje de proyectos que acceden a financiamiento.

CAPITULO 3. SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN

La formulación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) para el GAD Municipal de Santa Ana de Cotacachi surge como una necesidad para fortalecer la eficiencia operativa, mejorar la satisfacción ciudadana y reducir la incertidumbre técnica y financiera asociada al proyecto de valorización energética de residuos orgánicos. El análisis institucional evidencia la ausencia de un sistema formal de gestión (Municipio de Cotacachi, 2026a), aunque reconoce capacidades operativas y una infraestructura que permiten avanzar hacia un modelo más estructurado. Para sustentar esta propuesta, se desarrolló una metodología basada en la revisión exhaustiva de normativa nacional (incluyendo COOTAD, COA y RCOA), análisis documental y el uso de herramientas técnicas como el método FOD del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019), complementada con la experiencia profesional.

El proceso incluyó tres análisis estratégicos: las Cinco Fuerzas de Porter, una cadena de valor adaptada a ISO 9001 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2015) y una matriz FODA que permitió identificar factores internos y externos relevantes para la toma de decisiones. A partir de estos insumos se formularon estrategias orientadas al éxito, la reacción y la adaptación, enfocadas en fortalecer alianzas, digitalizar procesos, mejorar la eficiencia institucional y avanzar hacia un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) básico. Paralelamente, se desarrolló un diagnóstico ambiental que identificó los principales aspectos e impactos asociados al relleno sanitario, así como los requisitos legales aplicables, lo que permitió estructurar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) alineado con ISO 14001 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2015). Este proceso derivó en objetivos ambientales concretos, un plan de acción con actividades, responsables y recursos, y un sistema de evaluación con indicadores de seguimiento.

Finalmente, la integración de los requisitos de ISO 9001 e ISO 14001 permitió definir el alcance y la política del SIG, incorporando también elementos de seguridad y salud ocupacional. El plan de acción resultante establece metas a distintos plazos, como la captura del 40% del metano generado y la producción inicial de 50 kWh/año, junto con controles operativos, protocolos de emergencia y un programa de capacitación por niveles. En conjunto, el capítulo presenta una hoja de ruta integral para fortalecer el desempeño institucional, ambiental y operativo del GAD, avanzando hacia un modelo de gestión de residuos más eficiente, preventivo y sostenible.

3.1 Análisis de Porter al microentorno competitivo de la organización

El análisis del microentorno competitivo de la organización, a través de las cinco fuerzas de Porter, se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Microentorno competitivo de la organización a través de las 5 fuerzas de Porter

Fuerza	Análisis
Clientes (ciudadanía y entidades contratantes)	La ciudadanía presenta un nivel de exigencia medio-alto, demandando servicios oportunos, transparentes, y de bajo costo. Su poder de negociación es limitado en términos de precio, pero ejerce alta presión política y reputacional, lo que influye directamente en la gestión municipal.

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.

Proveedores (insumos, repuestos, servicios técnicos)	Dependencia de insumos críticos: moderada; repuestos y combustibles son esenciales. Riesgos: variaciones de precio y disponibilidad; número limitado de proveedores especializados para proyectos aprovechamiento de residuos para generación eléctrica.
Competidores existentes (concesionarios, mancomunidades)	Rivalidad: baja: Prácticamente no existen competidores, por competencias son los GADM los responsables. Una mancomunidad de municipios podría asumir la competencia, pero bajo acuerdos con el GADM.
Nuevos entrantes (empresas privadas, mancomunidades)	Barreras de entrada: moderadas: requieren capital, conocimiento y certificaciones. Riesgo: externalización del servicio si el GADM no mejora su eficiencia, posible privatización del servicio.
Productos sustitutos (alternativas tecnológicas y organizativas)	Opciones: compostaje comunitario, separación en origen, contratos con plantas de valorización. Impacto: reducción del volumen gestionado y generación de oportunidades de colaboración.

Nota. Autores, 2026

El análisis de Porter revela oportunidades para mejorar competitividad mediante eficiencia operativa y alianzas, y riesgos asociados a la dependencia de proveedores y sobre todo a la presión social por la gestión de residuos sólidos y su disposición en rellenos sanitarios que deben gestionarse con estrategias específicas.

3.2 La cadena de valor de Porter adaptada a ISO 9001

La tabla 4, resume las fortalezas y debilidades identificadas en cada eslabón de la cadena de valor del GADM Cotacachi, considerando tanto las actividades primarias como las actividades de soporte. Este análisis permite visualizar los factores internos que influyen en la eficiencia operativa, la calidad del servicio y la capacidad institucional para implementar proyectos de valorización energética de residuos orgánicos bajo el enfoque de mejora continua.

Tabla 4*Fortalezas y debilidades por bloques de la cadena de valor*

Bloque	Fortalezas	Debilidades
Actividades primarias	1. Rutas y coberturas definidas para la prestación del servicio de recolección de residuos. 2. Personal operativo con experiencia local y conocimiento del territorio. 3. Imagen institucional favorable en temas ambientales y sostenibilidad.	1. Procedimientos operativos no estandarizados y falta de controles de calidad. 2. Tiempos de respuesta variables y registros inconsistentes de solicitudes ciudadanas. 3. Comunicación institucional limitada y escasa promoción de iniciativas de valorización.
Actividades de soporte	1. Infraestructura administrativa y operativa disponible (se cuenta ya con un relleno sanitario). 2. Personal comprometido y con experiencia, con acceso potencial a capacitación. 3. Relación estable con proveedores locales y procesos de compra institucionales.	1. Ausencia de un Sistema de Gestión de la Calidad formal y documentación dispersa. 2. Capacitación no sistemática y falta de registros de competencias en proyectos con enfoque de mitigación y desarrollo de créditos de carbono, 3. Baja digitalización de procesos y falta de software especializado.

Nota. Autores, 2026.

3.2.1. Matriz FODA

La matriz FODA, se elaboró a partir del análisis de los factores internos y externos identificados mediante las herramientas PESTEL y Porter, y se presenta en la Tabla 5. Esta matriz sintetiza las principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que influyen en el desempeño institucional del GADM Cotacachi. Su propósito es servir como base para la formulación de estrategias alineadas con el contexto actual y los objetivos de sostenibilidad de la organización.

Tabla 5*Matriz FODA (ESG – GADM Cotacachi) para un proyecto de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos.*

FODA	Descripción
Fortalezas (F)	• Imagen institucional favorable en sostenibilidad. • Personal operativo con experiencia y compromiso. • Infraestructura administrativa y operativa disponible.

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.

Debilidades (D)	• Procedimientos no estandarizados y ausencia de sistema de gestión de la calidad formal. • Baja digitalización y falta de software especializado. • Capacitación no sistemática y registros de competencias incompletos.
Oportunidades (O)	• Acceso a programas de cooperación y financiamiento climático. • Creciente interés ciudadano por sostenibilidad, cambio climático y economía circular. • Potencial para alianzas con recicladores, universidades y sector privado (empresas cementeras locales).
Amenazas (A)	• Presión política y reputacional por calidad del servicio (recolección y disposición) • Competencia de nuevos entrantes (mancomunidades). • Variabilidad en precios de venta de electricidad y disponibilidad de insumos críticos.

Nota. Autores, 2026.

3.3 La estrategia, requisitos y alcance.

Se presentan a continuación las estrategias generadas derivadas del análisis FODA del GADM de Cotacachi, para la línea de éxito, línea de reacción y línea de adaptación.

3.3.1. Línea de Éxito (Fortalezas + Oportunidades)

Objetivo: potenciar lo que ya funciona bien para aprovechar oportunidades del entorno.

Estrategia 1: Posicionamiento sostenible con base en capacidades internas: Aprovechar la imagen ambiental positiva y la experiencia del personal para liderar iniciativas de valorización energética de residuos orgánicos, o de economía circular, fortaleciendo la reputación institucional y atrayendo cooperación internacional como fuentes de financiamiento.

Estrategia 2: Desarrollo de proyectos financiados con infraestructura existente: Aprovechar la infraestructura administrativa y operativa existente para formular proyectos de mejora (como la digitalización de la caracterización de residuos y el fortalecimiento de la gestión mediante separación en la fuente) que puedan ser financiados por programas climáticos y de cooperación internacional. Estos proyectos deben contribuir a optimizar la gestión integral de residuos y potenciar el aprovechamiento de la fracción orgánica para la generación de energía eléctrica.

3.3.2. Objetivo: corregir debilidades internas para aprovechar oportunidades externas.

Acción 1: Implementar un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) básico: Estandarizar procedimientos, roles y registros para cumplir los requisitos de cooperación internacional y acceder a financiamiento, garantizando una trazabilidad completa del servicio. Esto incluye la identificación precisa de los puntos donde se generan mayores volúmenes de residuos orgánicos, plásticos y otras fracciones, permitiendo una planificación más eficiente y una gestión de residuos basada en datos.

Acción 2: Digitalizar procesos críticos con herramientas de bajo costo: Iniciar la digitalización de inventarios, rutas y solicitudes ciudadanas mediante plataformas accesibles (como formularios en línea, hojas de cálculo y aplicaciones gratuitas) para reducir la dependencia de sistemas especializados y comenzar a generar datos estructurados que fortalezcan la gestión del servicio.

3.3.3. Objetivo: usar fortalezas internas para enfrentar amenazas externas.

Estrategia 1: Fortalecer alianzas con actores locales para reducir presión política: Aprovechar la experiencia del personal y la infraestructura existente para trabajar con comunidades, recicladores y organizaciones locales, generando legitimidad y reduciendo riesgos reputacionales.

Estrategia 2: Mejorar competitividad operativa para evitar externalización: Optimizar las rutas de recolección, los programas de mantenimiento y la generación de información sobre caracterización y volúmenes de residuos aprovechables, con el fin de demostrar eficiencia operativa y fortalecer la capacidad institucional frente a posibles nuevos entrantes (como una mancomunidad) y asegurar que la fracción orgánica se aproveche mayoritariamente en la generación eléctrica y no se destine a otros procesos de valorización distintos.

3.3.4. Identificación de aspectos ambientales

La Tabla 6 presenta la identificación de los aspectos ambientales asociados a las actividades del GAD Municipal de Cotacachi en la fase de disposición final de residuos y en el desarrollo del proyecto de captura y aprovechamiento de metano para generación eléctrica. A partir de la revisión de literatura sobre la operación de rellenos sanitarios en Ecuador y en otros países, se identificaron cinco aspectos ambientales directamente vinculados tanto con la gestión actual del sitio de disposición final como con la implementación del sistema de captura de biogás. La identificación de estos aspectos permite anticipar riesgos, orientar la definición de controles operacionales y fortalecer la sostenibilidad ambiental del proyecto, en concordancia con los principios de mejora continua establecidos por la norma ISO 14001 (CIDEU, 2024; El Universo, 2023; EMGIRS-EP, 2023; Instituto de Gobernanza del Parlamento Andino, 2024; OPS, 2002; Vélez et al., 2019)

Tabla 6
Identificación de aspectos ambientales GADM de Cotacachi.

Aspecto ambiental	Impacto ambiental asociado
Generación y liberación de metano (CH ₄) en el relleno sanitario.	- Contribución al cambio climático por emisiones de GEI. - Riesgo de explosividad en zonas confinadas.
Generación de lixiviados por descomposición de residuos.	- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas. - Afectación a ecosistemas y salud pública.
Emisión de olores y compuestos volátiles durante la descomposición.	- Afectación al bienestar de comunidades cercanas. - Incremento de conflictos sociales y percepción negativa del servicio.
Instalación y operación de infraestructura para captura y quema/uso energético del biogás.	- Alteración del paisaje, ruido y perturbación de fauna local. - Riesgo de fugas de gas o fallas en equipos

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.

Transporte y manejo de residuos hacia el sitio de disposición final.

- Emisiones atmosféricas por combustión de diésel del transporte.
- Incremento de material particulado y ruido en zonas de tránsito.

Nota. Autores, 2026.

3.4 Requisitos legales ambientales aplicables al GADM de Santa Ana de Cotacachi.

La gestión ambiental municipal en Ecuador está regulada por un conjunto de normas que establecen obligaciones específicas para los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM). En el caso del GADM de Santa Ana de Cotacachi, estas obligaciones se relacionan principalmente con la gestión integral de residuos sólidos, la operación del sitio de disposición final y el control de impactos ambientales asociados. A continuación, la Tabla 7, presenta tres requisitos legales relevantes y la forma en que la institución puede cumplirlos dentro del marco de un Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001. Estos requisitos fueron identificados a partir de la revisión del Código Orgánico del Ambiente (COA), el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) y el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA), los cuales establecen las responsabilidades normativas que orientan la gestión ambiental municipal (Asamblea Nacional, 2017; Presidencia de la República, 2015, 2019)

Tabla 7

Requisitos legales ambientales aplicables al GADM de Santa Ana de Cotacachi.

Requisito legal	Descripción del requisito	Cómo puede cumplir el GADM de Cotacachi
Código Orgánico del Ambiente (COA)	Establece que los GADM deben garantizar la gestión integral de residuos sólidos, operar sitios de disposición final de forma ambientalmente adecuada, contar con permisos ambientales, monitorear emisiones y ejecutar planes de manejo.	• Mantener vigente la Autorización Ambiental del relleno sanitario. • Ejecutar el Plan de Manejo Ambiental y actualizarlo periódicamente. • Realizar monitoreo de lixiviados, biogás, calidad de agua y emisiones. • Documentar estos controles dentro del Sistema de Gestión Ambiental.
Reglamento al COA (RCOA) – Gestión de Residuos	Regula la operación técnica de los sitios de disposición final: control de biogás, manejo de lixiviados, cobertura diaria, registro de residuos, planes de contingencia y medidas de mitigación.	• Implementar sistemas de captura y control de biogás (incluyendo el proyecto de generación eléctrica). • Registrar diariamente los volúmenes de residuos ingresados. • Aplicar cobertura adecuada.

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.

COOTAD –
Competencias
exclusivas de los
GADM

Asigna a los GADM la competencia exclusiva de gestionar los residuos sólidos y garantizar servicios públicos eficientes, seguros y ambientalmente responsables.

- Documentar y controlar los procesos de recolección, transporte y disposición final.
- Implementar indicadores ambientales y operativos para evaluar desempeño.
- Integrar participación ciudadana y transparencia en la gestión ambiental.

Nota. Autores, 2026.

3.5 Objetivos ambientales

En el marco de la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental conforme a la norma ISO 14001, la definición de objetivos ambientales orienta las acciones institucionales hacia la mejora continua del desempeño ambiental. Para el GAD Municipal de Cotacachi, estos objetivos deben responder tanto a sus competencias legales en la gestión integral de residuos sólidos como a las oportunidades asociadas al aprovechamiento energético del biogás generado en el sitio de disposición final. En este contexto, se presentan a continuación (ver Tabla 8) tres objetivos ambientales directamente vinculados con la reducción de emisiones de metano, la mejora de la calidad del residuo orgánico disponible y la optimización del proceso de generación eléctrica a partir del biogás.

Tabla 8
Objetivos Ambientales.

Objetivo Ambiental	Meta Específica
1. Reducir las emisiones de metano generadas en el sitio de disposición final.	• Capturar al menos el 40% del metano generado en las celdas activas durante el primer año de operación del sistema de biogás mediante el desarrollo de un proyecto de captura activa de metano.
2. Incrementar la separación en la fuente de residuos orgánicos para mejorar la eficiencia del sistema de captura de metano.	• Aumentar la tasa de separación en la fuente de residuos orgánicos en las zonas piloto al 25% en un periodo de 12 meses, mediante campañas de educación ambiental, dotación de contenedores diferenciados y monitoreo mensual de la calidad del material recolectado.
3. Optimizar el aprovechamiento energético del biogás capturado para sustituir fuentes de energía fósil.	• Generar al menos 50 kWh de energía eléctrica durante el primer año de operación del sistema, asegurando que el 100% de la energía producida sea utilizada para autoconsumo municipal.

Nota. Autores, 2026.

3.6 Plan de acción detallado

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 Tabla 9 presenta el plan de acción detallado para la implementación de los objetivos ambientales previamente identificados en el Sistema de Gestión Ambiental del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Este plan integra acciones específicas, responsables institucionales, recursos necesarios y plazos de ejecución, permitiendo una gestión estructurada y orientada a resultados. Su propósito es asegurar la operatividad del SGA y garantizar el cumplimiento progresivo de las metas ambientales vinculadas a la reducción de emisiones, la separación en la fuente y el aprovechamiento energético del biogás.

Tabla 9
Plan de Acción Detallado

Objetivo Ambiental	Acciones Propuestas	Responsables	Recursos Requeridos	Plazo de Implementación
Reducir las emisiones de metano generadas en el sitio de disposición final	- Diseñar e instalar el sistema de captación de biogás en celdas activas. - Implementar monitoreo continuo de caudal y concentración de metano. - Realizar mantenimiento preventivo de tuberías, pozos y antorcha.	Dirección de Gestión Ambiental. Unidad Operacional de Gestión de Residuos Sólidos. Proveedor técnico del sistema de biogás.	Equipos de captación (tuberías, pozos, válvulas). Instrumentos de medición de biogás. Personal técnico capacitado.	12 meses para alcanzar 40%.
Incrementar la separación en la fuente de residuos orgánicos.	- Implementar campañas de educación ambiental en zonas piloto. - Distribuir contenedores diferenciados para orgánicos e inorgánicos. - Realizar monitoreo mensual de la calidad del residuo recolectado.	Dirección de Gestión Ambiental. Unidad de Educación Ambiental. Juntas Parroquiales y líderes comunitarios.	Material educativo. Contenedores diferenciados. Personal para monitoreo y encuestas.	12 meses para alcanzar 25% de separación en zonas piloto.

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.

Optimizar el aprovechamiento energético del biogás capturado.	• Instalar el sistema de generación eléctrica (microturbina o motor). • Integrar el sistema eléctrico al autoconsumo municipal. • Implementar un sistema de registro de energía generada.	Dirección de Gestión Ambiental.	Generador eléctrico.	
		Unidad operacional de Energía y Mantenimiento	Infraestructura eléctrica.	12 meses para alcanzar 50 kWh/año de generación inicial.
		Proveedor del sistema de generación.	Software de monitoreo energético.	

Nota. Autores, 2026.

3.7 Sistema de evaluación y seguimiento

La Tabla 10 presenta el sistema de evaluación y seguimiento diseñado para verificar el cumplimiento del plan de acción, el cual deriva de los objetivos ambientales del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Este sistema integra métodos de medición, indicadores de avance, frecuencias de medición y responsables institucionales, permitiendo un monitoreo del desempeño ambiental. Su propósito es asegurar la trazabilidad de los avances, facilitar la toma de decisiones y fortalecer la mejora continua dentro del Sistema de Gestión Ambiental.

Tabla 10

Sistema de evaluación y seguimiento

Objetivo Ambiental	Métodos de Seguimiento y Evaluación	Indicadores de Avance	Frecuencia de Medición	Responsable del Seguimiento
Reducir las emisiones de metano generadas en el sitio de disposición final	• Monitoreo continuo del caudal y concentración de metano captado. • Comparación mensual entre metano generado vs. metano capturado. • Auditorías internas del sistema de captación.	• % de metano capturado respecto al metano estimado. • Nm³ de biogás captado por día. • Número de fugas o fallas detectadas en el sistema. • % de metano en el biogás	Diario	Dirección de Gestión Ambiental. Unidad operacional técnica del relleno sanitario.

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.

Incrementar la separación en la fuente de residuos orgánicos.	• Inspecciones de calidad del residuo recolectado. • Registros de peso de fracción orgánica vs. total recolectado. • Encuestas de participación ciudadana en zonas piloto	• % de separación en la fuente alcanzado. • kg de residuos orgánicos recolectados por vivienda o sector. • Nivel de participación ciudadana.	Mensual	Unidad de operacional de educación ambiental. Unidad operacional de recolección y transporte.
Optimizar el aprovechamiento energético del biogás capturado.	• Registro automático de energía eléctrica generada por el sistema. • Verificación del funcionamiento del generador y del sistema eléctrico. • Comparación entre energía generada y energía consumida o inyectada.	• kWh generados por mes. • % de energía utilizada para autoconsumo municipal. • Horas efectivas de operación del generador.	Diario	Unidad operacional de energía y m mantenimiento. Dirección de Gestión Ambiental.

Nota. Autores, 2026.

3.8 Información y estudio sobre la Implantación o evaluación de un SGI

A continuación, se presentan y discuten algunos puntos relevantes para lograr la correcta y satisfactoria implementación de un SGI relacionado con el aprovechamiento de RSO.

3.8.1. Apoyo y compromiso de la Alta Dirección; **Error! Marcador no definido.**

El GADM de Santa Ana de Cotacachi ha demostrado un compromiso con la mejora continua, la sostenibilidad y la eficiencia operativa, evidenciado en la formulación de objetivos ambientales y de calidad, y la voluntad de implementar sistemas de gestión basados en ISO 9001 + ISO 14001 + ISO 45001. La máxima autoridad representada por el alcalde del cantón respalda la asignación de recursos técnicos, humanos y financieros para establecer y mantener un Sistema Integrado de Gestión (SIG), especialmente para el proyecto de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos.

3.8.2. A continuación, la Tabla 11 presenta, el alcance propuesto para el Sistema Integrado de Gestión (SIG) del GADM de Santa Ana de Cotacachi, así como los objetivos derivados del diagnóstico institucional.

Tabla 11*Definición del alcance y los objetivos.*

Categoría	Descripción
Alcance del SIG	Incluye todos los procesos administrativos y operativos relacionados con la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, así como la operación del relleno sanitario, el sistema de captura y aprovechamiento energético del metano y la atención ciudadana vinculada al servicio de aseo. El alcance abarca la totalidad del territorio cantonal donde el GADM presta estos servicios.
Objetivos de Calidad (SGC – ISO 9001)	- Reducir el tiempo de respuesta a solicitudes ciudadanas en 25%. - Mejorar la eficiencia del servicio de recolección en 15%. - Documentar procedimientos críticos y capacitar al 80% del personal operativo.
Objetivos Ambientales (SGC – ISO 14001)	- Capturar al menos el 40% del metano generado en celdas activas durante el primer año. - Alcanzar el 25% de separación en la fuente en zonas piloto. - Generar 50 kWh/año de energía eléctrica a partir del biogás capturado.
Objetivos de Seguridad y Salud (SST – enfoque ISO 45001)	- Garantizar condiciones seguras en la operación del sistema de biogás. - Minimizar riesgos de explosividad, fugas y fallas operativas. - Fortalecer la capacitación en riesgos asociados al manejo de residuos y biogás.
Objetivos de Cumplimiento Normativo	- Asegurar el cumplimiento del COA, RCOA y COOTAD en todos los procesos. - Mantener vigente la Autorización Ambiental del relleno sanitario. - Integrar indicadores de desempeño para demostrar cumplimiento continuo.

Nota. Autores, 2026.

3.8.3. A continuación, en la Tabla 12, se presenta un análisis de brechas derivado del diagnóstico institucional, operativo y ambiental del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Este análisis muestra las principales carencias, capacidades existentes y oportunidades de mejora que condicionan la implementación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG).

Tabla 12
Análisis de brechas para la implantación del SIG.

Categoría	Brechas identificadas	Capacidades aprovechables
Gestión de la Calidad (SGC)	• Ausencia de un SGC formal. • Procedimientos no estandarizados. • Registros operativos inconsistentes. • Baja digitalización de procesos.	• Personal operativo con experiencia. • Rutas y coberturas definidas. • Imagen institucional favorable.
Gestión Ambiental (SGA)	• Controles ambientales aún en desarrollo. • Riesgos asociados a metano, lixiviados y olores. • Necesidad de fortalecer monitoreo continuo.	• Objetivos ambientales definidos. • Proyecto de captura de metano con aceptación política y comunitaria. • Infraestructura del relleno sanitario disponible.
Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	• Falta de procedimientos específicos para riesgos del biogás. • Falta de capacitación en riesgos operativos.	• Personal comprometido y con conocimiento del territorio.
Cumplimiento normativo	• Necesidad de consolidar matriz de requisitos legales. • Falta de evidencia de cumplimiento.	• Marco legal claro (COA, RCOA, COOTAD) • Autorización Ambiental vigente.

Nota. Autores, 2026.

3.9 Desarrollo del Plan del Trabajo para la implementación de un SGI

El plan de trabajo constituye la hoja de ruta para avanzar desde el diagnóstico inicial hacia la implantación progresiva de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) en el GADM de Santa Ana de Cotacachi. Este plan se estructura en torno a las brechas identificadas, los objetivos institucionales y las capacidades existentes. A continuación, se detallan las líneas estratégicas, actividades, los recursos necesarios y los responsables institucionales.

3.9.1. Líneas estratégicas del plan de trabajo

El plan se organiza en cuatro líneas estratégicas derivadas del análisis previo:

- i. Estandarización y fortalecimiento del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC).
 - Elaboración y aprobación de procedimientos operativos estándar (POE).
 - Creación de formatos y registros para trazabilidad del servicio.

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.

- Implementación de mecanismos de control de calidad en recolección y disposición final.
- Capacitación del 80% del personal operativo en los procedimientos documentados.
- ii. Consolidación del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) basado en ISO 14001
 - Implementación del sistema de captura de metano en celdas activas.
 - Monitoreo continuo de caudal, concentración y composición del biogás.
 - Ejecución del Plan de Manejo Ambiental y actualización periódica.
 - Fortalecimiento de campañas de separación en la fuente en zonas piloto.
- iii. Integración de la seguridad y salud en el trabajo (SST)
 - Identificación de riesgos asociados al manejo de biogás y lixiviados.
 - Diseño de protocolos de seguridad para operación de pozos, tuberías y motores.
 - Capacitación en riesgos específicos del proyecto de biogás.
 - Implementación de equipos de protección personal (EPP) adecuados.
- iv. Cumplimiento normativo y digitalización progresiva
 - Consolidación de una matriz de requisitos legales (COA, RCOA, COOTAD).
 - Registro de evidencias de cumplimiento.
 - Digitalización de inventarios, rutas y registros operativos.

3.9.2. Actividades principales del plan

- i. Actividades de corto plazo (0–6 meses)
 - Documentar procedimientos del SGC.
 - Crear formatos de registro para recolección, transporte y disposición final.
 - Implementar monitoreo básico de metano y lixiviados.
 - Iniciar campañas piloto de separación en la fuente.
 - Capacitar al personal en procedimientos y riesgos operativos.
- ii. Actividades de mediano plazo (6–12 meses)
 - Instalar el sistema de generación eléctrica a partir de biogás.
 - Integrar el sistema eléctrico al autoconsumo municipal.
 - Implementar un sistema de registro automático de energía generada.
 - Alcanzar el 25% de separación en la fuente en zonas piloto.

3. Actividades de largo plazo (12–24 meses)

- Optimizar la eficiencia del sistema de captación de metano.
- Ampliar zonas piloto de separación hacia nuevas comunidades.
- Evaluar la ampliación de la capacidad de generación eléctrica.

3.9.3. Recursos Necesarios y Responsabilidades Institucionales

A continuación, la Tabla 13 muestra los recursos técnicos, humanos y administrativos requeridos para la implantación progresiva del Sistema Integrado de Gestión (SIG), e identifica las unidades responsables de ejecutar, coordinar y supervisar las acciones del plan de trabajo del SIG.

Tabla 13

Recursos y responsables necesarios para la implementación del SIG

Categoría	Descripción / Responsabilidades principales
Tipo de recursos técnicos	• Equipos de captación de biogás (pozos, tuberías, válvulas). • Instrumentos de medición de metano, caudal y composición. • Generador eléctrico y sistema de monitoreo. • Infraestructura existente del relleno sanitario.
Tipo de recursos humanos	• Personal técnico de la Dirección de Gestión Ambiental. • Unidad de Mantenimiento para operación del sistema de biogás. • Unidad de Educación Ambiental para campañas de separación en la fuente.
Responsable: dirección de Gestión Ambiental (DGA)	• Coordinación general del SIG. • Supervisión del sistema de captura de metano. • Seguimiento de indicadores ambientales y normativos.
Responsable: unidad de Gestión de Residuos Sólidos	• Ejecución de recolección, transporte y disposición final. • Implementación de procedimientos del SGC.
Responsable: unidad de Energía y Mantenimiento	• Operación y mantenimiento del sistema de biogás y del generador. • Registro y verificación de energía generada.
Responsable: unidad de Educación Ambiental	• Diseño y ejecución de campañas de separación en la fuente. • Monitoreo de participación ciudadana.
Responsable: proveedores técnicos especializados	• Instalación, mantenimiento y soporte del sistema de biogás y generación eléctrica.

Nota. Autores, 2026.

3.9.4. Seguimiento del plan

El seguimiento se realizará mediante:

- i. Indicadores de calidad (eficiencia de recolección, tiempos de respuesta).
- ii. Indicadores ambientales (captura de metano, energía generada, separación en la fuente).
- iii. Indicadores de SST (incidentes, cumplimiento de protocolos).
- iv. Indicadores de cumplimiento normativo (auditorías, registros actualizados).

3.10 Definición del contexto de la organización.

La definición del contexto organizacional es un paso necesario para la implantación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG). Es necesario identificar los factores internos y externos que pueden influir en la capacidad del GADM de Santa Ana de Cotacachi para alcanzar los objetivos establecidos en cada área del SIG. La Tabla 14 muestra los factores internos y externos del contexto organizacional.

Tabla 14

Factores internos y externos del contexto organizacional.

Tipo de Factor	Descripción
Factores internos	• Infraestructura existente del relleno sanitario y experiencia operativa acumulada. • Personal con conocimiento del territorio y compromiso institucional. • Procedimientos no estandarizados y documentación dispersa. • Baja digitalización de procesos y ausencia de software especializado. • Imagen institucional favorable en temas ambientales. • Capacitación no sistemática y registros incompletos de competencias.
Factores externos	• Obligaciones legales establecidas en COOTAD, COA y RCOA. • Presión ciudadana por la calidad del servicio de recolección y disposición final. • Oportunidades de financiamiento climático y cooperación internacional. • Variabilidad en precios de energía, repuestos y servicios técnicos especializados. • Tendencias crecientes hacia la economía circular y la valorización energética.

Nota. Autores, 2026.

3.11 Establecimiento de políticas, objetivos y compromisos

La implantación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) requiere formalizar los compromisos institucionales mediante políticas, objetivos y compromisos que orienten la actuación del GADM de Santa Ana de Cotacachi.

3.11.1. Política integrada del Sistema de Gestión

El GADM de Santa Ana de Cotacachi se compromete a prestar servicios de gestión de residuos sólidos con calidad, eficiencia y responsabilidad ambiental, garantizando la seguridad y salud de sus trabajadores, el

cumplimiento de la normativa vigente y la mejora continua del desempeño institucional. La organización promoverá la prevención de la contaminación, la reducción de emisiones de metano, la valorización energética de la fracción orgánica y la participación ciudadana, asegurando que todos los procesos operativos y administrativos se desarrollen de manera transparente, segura y orientada al bienestar de la comunidad.

3.11.2. Objetivos del Sistema Integrado de Gestión

- i. Objetivos de Calidad (SGC – ISO 9001)
 - Reducir el tiempo de respuesta a solicitudes ciudadanas en un 25% en 12 meses.
 - Mejorar la eficiencia del servicio de recolección en un 15% (ton/km).
 - Documentar procedimientos críticos y capacitar al 80% del personal operativo.
 - ii. Objetivos Ambientales (SGA – ISO 14001)
 - Capturar al menos el 40% del metano generado en celdas activas durante el primer año.
 - Alcanzar el 25% de separación en la fuente en zonas piloto.
 - Generar 50 kWh/año de energía eléctrica a partir del biogás capturado.
 - iii. Objetivos de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST – enfoque ISO 45001)
 - Minimizar riesgos de explosividad, fugas y fallas en el sistema de biogás.
 - Implementar protocolos de seguridad para operación de pozos, tuberías y antorcha.
 - Capacitar al personal en riesgos asociados al manejo de residuos y biogás.
 - iv. Objetivos de Cumplimiento Normativo
 - Garantizar el cumplimiento del COA, RCOA y COOTAD en todos los procesos.
 - Mantener vigente la Autorización Ambiental del relleno sanitario.
 - Integrar indicadores de desempeño que evidencien cumplimiento.
- 3.11.3. Compromisos institucionales

El GADM de Santa Ana de Cotacachi asume los siguientes compromisos para la implantación del SIG:

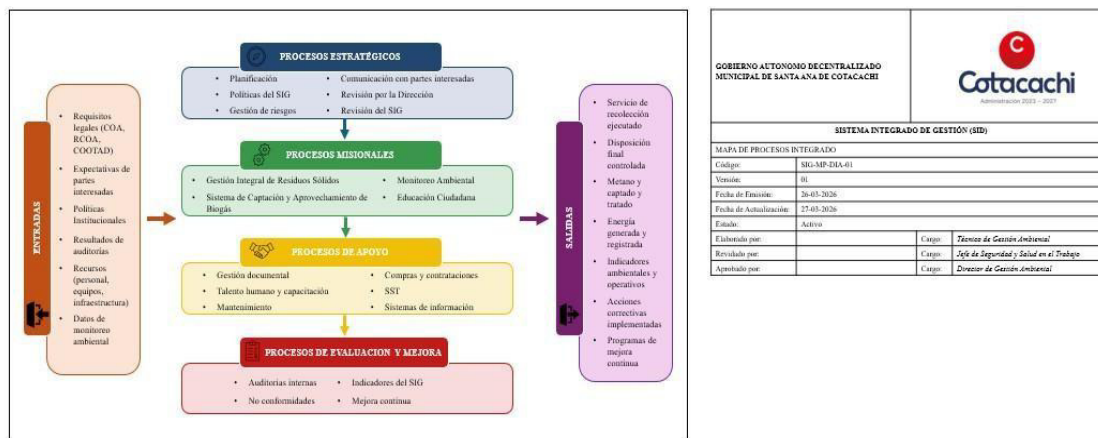
- Mejora continua: revisión periódica de procesos, indicadores y resultados.
- Prevención de riesgos: identificación, evaluación y control de riesgos operativos y ambientales.
- Transparencia y participación: comunicación activa con ciudadanía y actores locales.
- Eficiencia operativa: optimización de rutas, recursos y procesos.
- Sostenibilidad: reducción de emisiones, valorización energética y separación en la fuente.

3.11.4. Mapa de procesos integrados

La Figura 3 representa la estructura del Sistema Integrado de Gestión del GAD de Cotacachi, organizando sus procesos estratégicos, misionales, de apoyo y de evaluación en un modelo coherente con los enfoques ISO, donde las entradas institucionales (normativa, expectativas y recursos) se transforman en servicios ambientales y acciones de mejora continua, todo enmarcado en un formato formal de control documental que garantiza trazabilidad y gobernanza. Sin embargo, para asegurar una adecuada revisión se adjunta como anexo 1 el mapa de procesos integrado.

Figura 3

Mapa de Procesos Integrado.



Nota. Autores, 2026.

3.12 Documentos necesarios

La implementación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) requiere contar con documentación clara, que permita que garantice la trazabilidad de las actividades sobre todo si se considera la incursión en mercados de carbono. En el caso del GADM de Santa Ana de Cotacachi, la documentación debe priorizar aquellos procesos vinculados a los aspectos ambientales, los riesgos operativos asociados al manejo de residuos y biogás, y las obligaciones de cumplimiento establecidas en el COA, RCOA y COOTAD. A continuación, en la Tabla 15 se presentan los documentos esenciales que deben desarrollarse. Además, como Anexo 2, se adjunta la propuesta de un Formato de registro de parámetros del sistema de biogás, desarrollados por los autores para los procedimientos de recolección, transporte y disposición final de los residuos y un registro de capacitación del personal obtenidos del GADM de Santa Ana de Cotacachi.

Tabla 15

Documentación prioritaria del SIG

Tipo	Descripción
Documentos estratégicos	- Política integrada del SIG (calidad, ambiente, SST y cumplimiento). - Objetivos y metas del SIG, con indicadores asociados. - Matriz de requisitos legales aplicables al servicio de residuos y al proyecto de biogás.
Procedimientos operativos estándar (POE)	- POE para recolección, transporte y disposición final de residuos. - POE para operación del sistema de captación de biogás (pozos, tuberías, antorcha). - POE para operación del generador eléctrico y registro de energía. - POE para monitoreo ambiental (metano, lixiviados, olores). - POE para atención de solicitudes ciudadanas.

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.

Registros obligatorios	• Registro de parámetros del sistema de biogás. • Registros de mantenimiento preventivo del sistema de biogás. • Registros de separación en la fuente y caracterización de residuos. • Registros de capacitación del personal. • Registro de control y monitoreo de lixiviados. • Registro de entrega de equipo de protección personal (EPP).
Documentos de gestión de riesgos	• Matriz de riesgos operativos y ambientales. • Evaluación de riesgos asociados al biogás. • Plan de contingencias y emergencias. • Plan de riesgos laborales

Nota. Autores, 2026.

3.13 Diseño e implementación de controles operativos y protocolos de seguimiento

El diseño de controles operativos es necesario para asegurar que los procesos del SIG se ejecuten de manera segura, y conforme a los requisitos legales y ambientales. En el caso del GADM de Santa Ana de Cotacachi, estos controles deben centrarse en la operación del relleno sanitario, el sistema de captura de metano y la gestión integral de residuos sólidos. La tabla 16, a continuación, muestra el diseño e implementación de controles y protocolos.

Tabla 16

Controles operativos para la implementación del SIG

Tipo	Área de control	Controles o procedimientos operativos establecidos
Controles	Controles para la gestión de residuos	• Verificación diaria de rutas y cumplimiento de frecuencias de recolección. • Inspección y caracterización del residuo recolectado en zonas piloto. • Registro de masa de residuos ingresados al sitio de disposición final. • Control de cobertura y compactación en celdas activas.
	Sistema de biogás	• Monitoreo continuo del caudal del metano captado. • Control de la fracción de metano en el biogás y detección de fugas. • Mantenimiento preventivo de pozos, tuberías, válvulas y antorcha. • Registro automático de energía generada y horas de operación del generador.
	Controles ambientales	• Monitoreo periódico de lixiviados y calidad de agua subterránea. • Evaluación de olores y emisiones difusas en áreas cercanas. • Auditorías internas del sistema de captación de biogás

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.

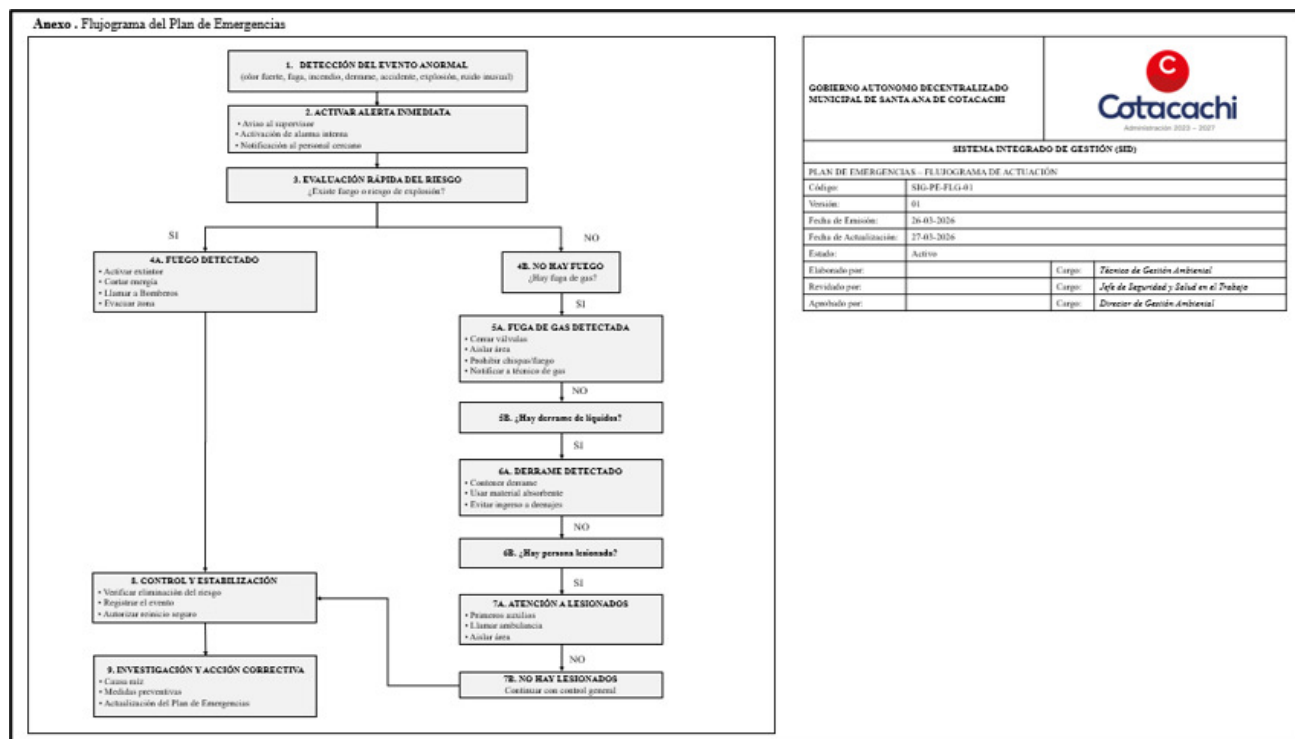
Protocolos de seguimiento	Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	• Verificación del uso adecuado de EPP en actividades de riesgo. • Inspección de condiciones de seguridad en pozos, tuberías y áreas de combustión. • Aplicación de protocolos de bloqueo y etiquetado para mantenimiento del generador. • Control de accesos a zonas de riesgo del relleno sanitario.
	Indicadores operativos	• Eficiencia de recolección (ton/km). • Tiempo promedio de respuesta a solicitudes ciudadanas. • % de separación en la fuente.
	Indicadores ambientales	• % de metano capturado respecto al estimado. • m³/día de biogás captado. • kWh generados por mes. • % de energía utilizada para autoconsumo municipal.
	Indicadores de SST	• Número de incidentes o casi incidentes. • Cumplimiento de protocolos de seguridad. • Horas de capacitación en riesgos.
	Indicadores de cumplimiento	• Número de requisitos legales cumplidos. • Auditorías internas realizadas. • Acciones correctivas cerradas.

Nota. Autores, 2026.

3.14 Diseño e implementación de planes de respuesta a emergencias

La implantación de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) exige la definición de planes de respuesta a emergencias que permitan anticipar, controlar y mitigar los riesgos asociados a la operación del relleno sanitario y del sistema de captura y aprovechamiento energético del metano. La figura 4 presenta el flujograma de actuación del Plan de Emergencias, diseñado para facilitar su aplicación de manera sencilla y práctica por parte del personal operativo. En el documento se incluye una Imagen del flujograma, sin embargo, para asegurar una adecuada comprensión, análisis, el flujograma completo se adjunta como Anexo 3, en formato digital, permitiendo su revisión detallada. y su integración en los procedimientos del SIG.

Figura 4
Flujograma de actuación del Plan de Emergencias



Nota. Autores, 2026.

3.15 Establecimiento de necesidades de capacitación y formación

Con base en una evaluación de competencias de todas las personas empleadas, pero particularmente de las personas y actores que tendrán funciones en cada una de las áreas de gestión integradas relacionados con la gestión de RSO, se presenta en la Tabla 17, las necesidades de formación y capacitación.

Tabla 17

Propuesta para el establecimiento de un programa de capacitación y formación por niveles organizacionales.

Nivel organizacional	Competencias para evaluar	Necesidades de capacitación	Líneas de formación sugeridas
Nivel directivo	Toma de decisiones estratégicas.		Gestión estratégica del SIG.
(Dirección de Gestión Ambiental, jefaturas)	Conocimiento normativo. Gestión del SIG y liderazgo.	Fortalecer capacidades para dirigir, supervisar y evaluar el SIG.	- Cumplimiento normativo (COA, RCOA, COOTAD). - Indicadores y mejora continua.

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.

Nivel técnico (técnicos ambientales, energía, mantenimiento)	Operación del sistema de biogás.		• Operación de pozos, tuberías y antorcha. • Monitoreo de metano, lixiviados y olores. • Mantenimiento preventivo del generador. • Formación relacionada con el uso correcto de los formatos y procedimientos utilizados en la gestión documental del SIG y el archivo documental
	Monitoreo ambiental.	Desarrollar competencias técnicas específicas para operación y control.	
	Gestión documental del SIG.		
Nivel operativo (personal de recolección, maquinaria, relleno sanitario)	Seguridad y salud en el trabajo.	Estandarizar prácticas operativas y fortalecer la seguridad.	• POE de recolección y disposición final. • Riesgos del biogás y manejo seguro. • Protocolos de emergencia.
	Uso de EPP.		
Nivel comunitario (líderes barriales, usuarios del servicio)	Separación en la fuente.	Fortalecer la corresponsabilidad ciudadana en la gestión de residuos.	• Educación ambiental. • Técnicas de separación en la fuente. • Comunicación comunitaria.
	Participación ciudadana.		
	Buenas prácticas ambientales.		

Nota. Autores, 2026.

3.16 Comunicación a todas las partes interesadas

La comunicación con las partes interesadas es un componente esencial del Sistema Integrado de Gestión (SIG), ya que garantiza transparencia, participación y alineación entre los actores internos y externos vinculados a la gestión de residuos, el sistema de biogás y el cumplimiento normativo (Municipio de Cotacachi, 2026a). La tabla 18 muestra la propuesta de un plan de comunicación para las partes interesadas.

Tabla 18*Propuesta para el programa de comunicación con partes interesadas*

Partes interesadas	Necesidades de información	Canales de comunicación	Frecuencia
Nivel directivo interno (Dirección, jefaturas)	Avances del SIG, indicadores, riesgos, cumplimiento normativo.	Reuniones técnicas, informes ejecutivos, reportes de indicadores.	Mensual
Personal técnico (ambiental, energía, mantenimiento)	Procedimientos actualizados, resultados de monitoreo, alertas operativas.	Reuniones de coordinación, grupos de mensajería interna, tableros de control.	Semanal
Personal operativo (recolección, maquinaria, relleno sanitario)	Instrucciones operativas, cambios en POE, alertas de seguridad.	Charlas de inicio de jornada, cartelería, supervisión directa.	Diaria
Comunidades cercanas al relleno sanitario	Información sobre olores, emisiones, monitoreo ambiental y acciones correctivas.	Reuniones comunitarias, informes públicos, visitas guiadas.	Trimestral
Ciudadanía y usuarios del servicio	Frecuencias de recolección, campañas de separación, avances ambientales.	Redes sociales, página web, boletines, asambleas comunitarias.	Mensual / según necesidad

Nota. Autores, 2026.

3.17 Programa de auditorías internas

El programa de auditorías internas debe estructurarse considerando los procesos críticos del SIG, las responsabilidades institucionales y la necesidad de verificar el cumplimiento de los requisitos de calidad, ambiente, seguridad y normativa aplicable. La Tabla 19 presenta el proceso para auditorías internas.

Tabla 19*Proceso para auditorías externas.*

Proceso para auditar	Objetivo de la auditoría	Responsable de auditar	Frecuencia
Gestión de residuos (recolección, transporte, disposición final)	Verificar cumplimiento de POE, registros y eficiencia operativa.	Equipo técnico del SIG	Semestral
Sistema de captación y aprovechamiento de biogás	Evaluar operación segura, mantenimiento y registros de metano y energía.	Unidad de Energía y Mantenimiento + auditor interno Trimestral	Trimestral
Monitoreo ambiental	Confirmar cumplimiento del		
(metano, lixiviados, olores)	PMA y normativa ambiental.	Técnico ambiental	Trimestral
Cumplimiento normativo (COA, RCOA, COOTAD)	Verificar evidencias de cumplimiento y reportes obligatorios	Dirección de Gestión Ambiental	Anual
Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	Verificar uso de EPP, protocolos de emergencia y condiciones de seguridad.	Responsable de SST	Trimestral

Nota. Autores, 2026.

Las auditorías permiten verificar el cumplimiento del COA, RCOA y COOTAD, evaluar la eficacia de los controles operativos y asegurar la mejora continua exigida por ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001.

3.18 Ejemplo de no conformidad y acción correctiva

A continuación, se presenta un ejemplo aplicable al contexto del GADM de Santa Ana de Cotacachi, especialmente al sistema de biogás y al relleno sanitario.

3.18.1. Ejemplo de no conformidad

Durante la auditoría trimestral del sistema de biogás, se evidencia que no se registraron los valores de caudal y concentración de metano durante 5 días consecutivos, incumpliendo el POE de monitoreo ambiental y los requisitos del Plan de Manejo Ambiental.

3.18.2. Impacto potencial:

La falta de trazabilidad del desempeño del sistema está generando un riesgo creciente de acumulación de metano sin control, lo que además implica un incumplimiento directo del COA y del RCOA. Estas condiciones comprometen la seguridad operativa, incrementan la probabilidad de incidentes y evidencian la necesidad urgente de implementar medidas correctivas y de monitoreo adecuado.

3.18.3. Acción correctiva propuesta

Se realizó el monitoreo pendiente y el registro de los valores actuales, verificando además el estado de los equipos de medición para asegurar su correcto funcionamiento. Como parte del análisis, se llevaron a cabo entrevistas con el personal técnico y se revisó el registro de turnos, identificándose que la causa principal de las inconsistencias fue la falta de personal capacitado durante los periodos de vacaciones y rotaciones.

Instituciones, a los directores del Máster y resto de autores, siendo responsable aquel que se atribuya dicha distribución.

QUITO – ECUADOR | 2026

CAPITULO 4. DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD Y SU CONTEXTO GLOBAL

La sostenibilidad se ha convertido en un principio esencial para orientar el desarrollo, integrando dimensiones ambientales, sociales, económicas e institucionales que permiten equilibrar el bienestar humano y la protección de los ecosistemas (United Nations., 2015). En Ecuador, este enfoque adquiere especial relevancia debido al reconocimiento constitucional de los Derechos de la Naturaleza y al rol estratégico que cumplen los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) en la gestión de servicios públicos y en la planificación territorial (González Ordóñez et al., 2023).

En este marco, la sostenibilidad municipal depende tanto de la calidad de la gobernanza (visión, políticas, estructura organizacional y capacidades técnicas) como de la forma en que se gestionan los impactos ambientales y los recursos disponibles (Epstein & Buhovac, 2014). El caso del GADM de Santa Ana de Cotacachi evidencia esta relación: la gestión de residuos sólidos representa uno de sus principales desafíos, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de lixiviados, los olores, los vectores y los riesgos para la salud asociados al actual modelo de disposición final (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, 2021). La descomposición anaerobia de la fracción orgánica genera biogás rico en metano, lo que constituye un pasivo ambiental significativo y, simultáneamente, una oportunidad para la valorización energética (EPA, 2021).

A partir de esta problemática, se analiza la viabilidad de implementar un sistema de captura de metano y generación eléctrica, evaluando sus impactos mediante herramientas técnicas como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) siguiendo las directrices de las ISO 14040 y 140144 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2006b, 2006a). Los resultados muestran que el aprovechamiento energético del biogás reduce de manera sustancial las emisiones frente a un escenario sin captación, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al fortalecimiento de la gestión ambiental municipal. No obstante, se identifican brechas en eficiencia operativa, disponibilidad de datos y monitoreo ambiental que deben ser atendidas para garantizar una gestión integral y preventiva.

4.1 Gobernanza: visión, misión, políticas, estructura organizacional

Como primer punto se profundiza en el análisis de la organización, en este caso el GADM de Santa Ana de Cotacachi, a seguir se describen cada uno de los puntos.

4.1.1. Misión y visión

La misión del GADM de Santa Ana de Cotacachi es fomentar y liderar el desarrollo sostenible en los ámbitos social, cultural, ambiental, turístico, agro productivo y tecnológico desde un gobierno municipal democrático, humanista y solidario, basado en planificación territorial y trabajo articulado con la comunidad.

La visión institucional proyecta a Cotacachi como una entidad dinámica y vanguardista que impulsa el desarrollo integral del cantón mediante proyectos innovadores y servicios de calidad, con reconocimiento nacional e internacional (Municipio de Cotacachi, 2026b, 2026c).

4.1.2. Políticas

Las políticas municipales priorizan el ordenamiento territorial, la protección ambiental, el fomento del turismo y el fortalecimiento de la economía local. En este marco, la gestión de residuos sólidos figura como una competencia municipal relevante y un eje operativo para iniciativas de valorización energética y mitigación de

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.

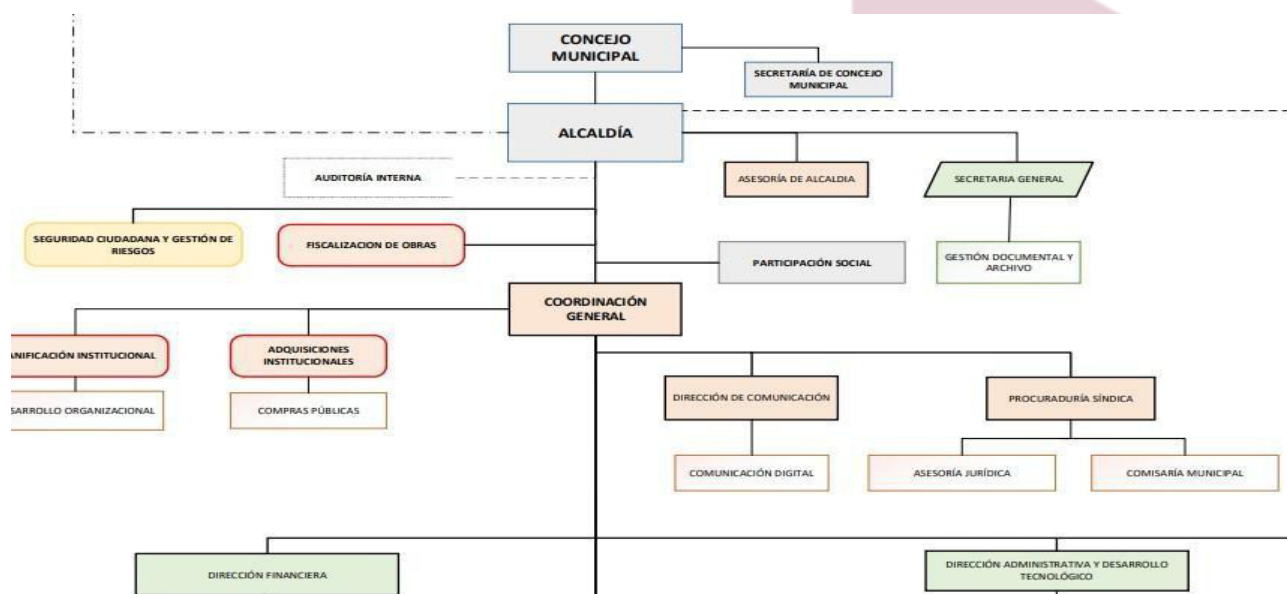
emisiones. Estas políticas se implementan mediante planes, ordenanzas y trámites publicados en la plataforma institucional (Municipio de Cotacachi, 2026b, 2026c).

4.1.3. Estructura organizacional

La estructura orgánica del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Ana de Cotacachi se organiza en torno a los procesos gobernantes encabezados por la Alcaldía, como máxima autoridad ejecutiva, y el Concejo Municipal, como órgano legislativo y de fiscalización. A partir de este nivel se articulan las instancias de asesoría y apoyo, entre las que se incluyen la Secretaría General, la Procuraduría Síndica, la Dirección de Comunicación, la Auditoría Interna y las unidades de planificación, talento humano, compras públicas y gestión administrativa, que garantizan la coordinación institucional, la gestión financiera, el control interno y el cumplimiento normativo (Municipio de Cotacachi, 2026b, 2026c). La figura 5 presenta una sección de la estructura organizacional del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Para facilitar su análisis y asegurar una visualización completa, el organigrama íntegro se incluye en el Anexo 4 de este documento.

Figura 5

Estructura Orgánica GADM de Santa Ana de Cotacachi.



Nota. (Municipio de Cotacachi, 2026c)

En el nivel operativo se estructuran las direcciones y subdirecciones agregadores de valor, responsables de la ejecución de políticas y servicios públicos, tales como la Dirección de Ambiente, la Dirección de Planificación y Ordenamiento Territorial, la Dirección de Obras y Servicios Públicos, la Dirección de Desarrollo Económico, Turismo y Culturas, y la Dirección de Desarrollo Social, junto con unidades técnicas de agua potable y alcantarillado, control urbano y rural, gestión de residuos, calidad ambiental y gestión de riesgos. Complementariamente, el GADM Santa Ana de Cotacachi cuenta con procesos desconcentrados, instancias cantonales consultivas y participativas, y entidades adscritas (como empresas públicas, la compañía de economía mixta, el Cuerpo de Bomberos y el Registro de la Propiedad), lo que permite una gestión territorial integral y la implementación de proyectos que requieren articulación interinstitucional, especialmente en ámbitos ambientales, energéticos y de servicios básicos.

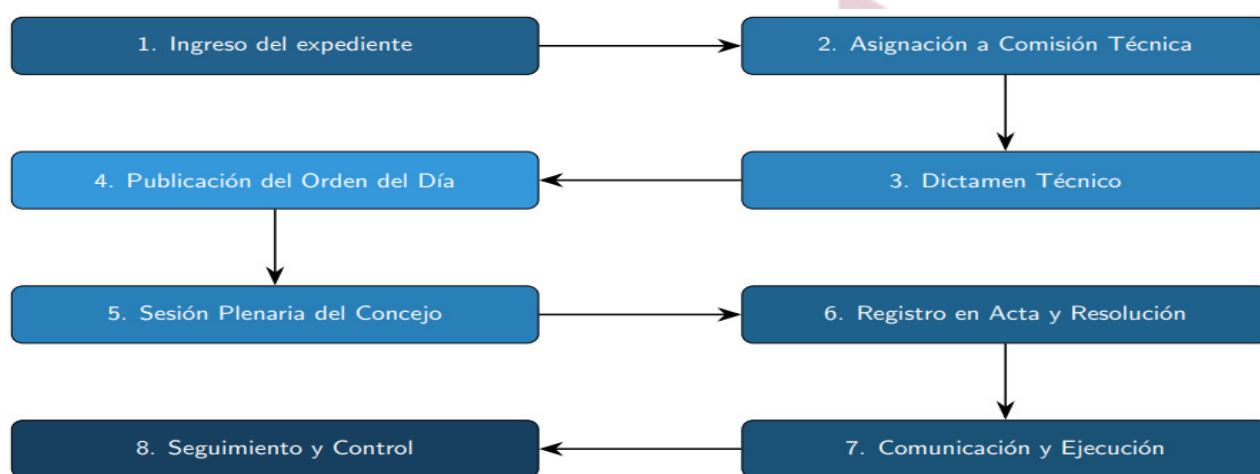
Nota sobre derechos de autor: Este trabajo y lo que a continuación se expone solo tiene una validez académica, quedando copia de éste en la biblioteca digital de UIDE y EIG. La distribución y uso de este trabajo por parte de alguno de sus autores con otros fines deberá ser informada a ambas Instituciones,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

4.1.4. Gobernanza

El proceso decisional del GADM de Santa Ana de Cotacachi sigue la práctica municipal ecuatoriana: las iniciativas ingresan como expedientes en Secretaría, se asignan a la comisión técnica correspondiente para análisis y dictamen, luego la Secretaría General publica el Orden del Día y convoca a sesión plenaria del Concejo, donde se debate y vota con quórum formal; las decisiones aprobadas se registran en actas y se convierten en resoluciones municipales que la Alcaldía y las unidades ejecutoras implementan, mientras las comisiones y unidades técnicas realizan seguimiento, control y actualización de instrumentos como el SIG, garantizando transparencia, trazabilidad y participación ciudadana cuando corresponde. La figura 6, muestra el flujo del proceso decisional del GADM de Santa Ana de Cotacachi.

Figura 6

Flujo del proceso decisional del GADM de Santa Ana de Cotacachi.



Nota. Autores, 2026.

Todo inicia con el ingreso del expediente en la Secretaría, que lo deriva a la comisión técnica correspondiente. Allí se elabora un dictamen que evalúa viabilidad técnica, ambiental, legal y presupuestaria. Con ese insumo, la Secretaría General convoca a sesión mediante el Orden del Día. El Concejo debate y vota, y la decisión se formaliza en acta y resolución. La Alcaldía y las unidades ejecutoras implementan lo aprobado, mientras las comisiones y áreas técnicas realizan seguimiento y actualizan instrumentos como el SIG, garantizando trazabilidad, transparencia y mejora continua.

4.2 Aspectos: económicos, sociales y ambientales

A partir del organigrama institucional y del conocimiento de la gestión pública del GADM de Santa Ana de Cotacachi, se realizó un análisis de los aspectos económicos, sociales y ambientales que caracterizan su funcionamiento. En el ámbito económico, el municipio orienta su gestión hacia la eficiencia operativa y el uso responsable de los recursos públicos. La presencia de unidades como Finanzas y Contratos, Tesorería y Presupuesto y Gestión de Residuos evidencia una estructura diseñada para asegurar control financiero y sostenibilidad del servicio. Dado que la gestión de residuos representa uno de los costos más altos, alternativas como la valorización energética del metano se alinean con la necesidad de reducir gastos y generar beneficios a largo plazo (Martínez Carrera, 2025).

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.

En el componente social, el GADM promueve condiciones laborales adecuadas, salud ocupacional y seguridad para el personal operativo, especialmente en actividades de recolección, transporte y mantenimiento. Unidades como Recursos Humanos, SST y Programas Sociales y Culturales reflejan el compromiso institucional con el bienestar del personal y de la comunidad. Además, los mecanismos de participación ciudadana fortalecen la relación con barrios y comunidades rurales, promoviendo inclusión y cohesión territorial (Municipio de Cotacachi, 2026b).

En el ámbito ambiental, el municipio implementa acciones orientadas a prevenir la contaminación y proteger el entorno natural. La existencia de áreas como Gestión de Residuos, la Unidad Operativa de Recolección y Transporte, la Unidad de Monitoreo Ambiental y la Planta de Biogás demuestra un enfoque técnico de control y mejora continua. Estas funciones se complementan con Catastro, Ordenamiento Territorial e Infraestructura, que permiten planificar el uso del suelo bajo criterios de sostenibilidad y cumplimiento normativo (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, 2021).

4.2.1 Indicadores: legales, sociales, económicos y ambientales

A seguir se presentan los los indicadores que permiten evaluar el cumplimiento normativo, la transparencia y la calidad del proceso decisional del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Mide desde obligaciones ambientales hasta la trazabilidad documental y la formalización de resoluciones.

- i. Indicadores legales
 - Cumplimiento normativo — % de obligaciones ambientales cumplidas (PMA, permisos, reportes).
 - No conformidades legales — número de observaciones emitidas por MAE, Contraloría o auditorías.
 - Transparencia institucional — días de anticipación con que se publica el Orden del Día.
 - Trazabilidad decisional — % de expedientes con dictamen técnico completo.
 - Formalización administrativa — % de resoluciones con responsables y plazos definidos.
- ii. Indicadores sociales
 - Trabajo digno — % de trabajadores con EPP completo.
 - Seguridad laboral — índice de incidentes y accidentes en unidades operativas.
 - Inclusión laboral — % de mujeres en áreas técnicas y operativas.
 - Clima laboral — número de casos de discriminación atendidos.
 - Participación ciudadana — número de actividades comunitarias realizadas.
 - Atención ciudadana — % de reclamos atendidos dentro del plazo.
- iii. Indicadores económicos
 - Costo por tonelada gestionada — eficiencia del servicio de recolección y disposición.
 - Ejecución presupuestaria — % de uso adecuado del presupuesto institucional.
 - Sostenibilidad financiera — relación costo/ingreso del servicio de residuos.
 - Inversión anual — monto destinado a infraestructura, flota y equipos.
 - Disponibilidad operativa — % de vehículos y maquinaria en funcionamiento.
- iii. Indicadores ambientales
 - Disposición adecuada de residuos — toneladas gestionadas conforme a normativa.
 - Valorización de residuos — % de residuos reciclados o recuperados.
 - Monitoreo de metano — concentración de CH₄ en celdas del relleno sanitario.

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.

- Gestión de lixiviados — volumen tratado vs. generado.
- Actualización catastral — % de predios actualizados para planificación territorial.
- Control ambiental — número de inspecciones ambientales realizadas.

4.3 Estrategias propuestas, acciones, planes y/o estrategias a adoptar para lograr una empresa más sostenible.

La sostenibilidad del GADM de Santa Ana de Cotacachi requiere estrategias integradas en los ámbitos ambiental, económico, social e institucional. A continuación, se presentan las acciones prioritarias para avanzar hacia una gestión más eficiente, transparente y responsable, tomando el proyecto de generación eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario como eje central para mejorar la sostenibilidad municipal.

4.3.1 Estrategias Ambientales

A continuación, se resumen en cinco acciones prioritarias las estrategias ambientales para el GADM de Santa Ana de Cotacachi, tomando el proyecto de generación eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario como eje central.

- Consolidar y optimizar el proyecto de aprovechamiento de biogás: completar la instalación y mantenimiento de colectores, compresores y planta de generación; fijar metas de captura y aprovechamiento (%), y programar mantenimiento preventivo.
- Monitoreo y control ambiental: establecer mediciones periódicas de metano; registrar m³ de biogás y lixiviados.
- Mejorar la operación del relleno: garantizar cobertura diaria (20 cm), compactación y mantenimiento de celdas; optimizar manejo de lixiviados y sistemas de drenaje/PTAR.
- Valorización y economía circular: fortalecer la separación en la fuente y alianzas con recicladores de base para desviar residuos valorizables.
- Gestión territorial, seguridad y capacitación: definir zonas de influencia y restricciones de uso del suelo; implementar protocolos de seguridad para biogás e incendios; capacitar continuamente al personal operativo.

4.3.2 Estrategias Económicas

A continuación, se presentan las estrategias económicas prioritarias para el GADM de Santa Ana de Cotacachi, considerando el proyecto de generación eléctrica a partir del biogás como la base para mejorar la eficiencia financiera y operativa del servicio de residuos.

- Modelo financiero sostenible para el servicio de residuos: diseñar un modelo que incorpore costos reales de operación, mantenimiento y monitoreo, tarifas ajustadas y escenarios de ingresos por venta de energía; incluir análisis de sensibilidad y criterios de ciclo de vida para inversiones.
- Generación de ahorros y fuentes de ingreso con el biogás: destinar la energía producida a instalaciones municipales, alumbrado público y bombeo; cuantificar ahorro energético y potenciales ingresos por venta de excedentes o certificados de reducción de emisiones.
- Optimización operativa y reducción de costos: optimizar rutas mediante análisis geoespacial para reducir kilómetros y horas de operación; mejorar disponibilidad de flota y mantenimiento preventivo para bajar costos por tonelada gestionada.

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.

- iv. Planificación de inversiones y acceso a financiamiento: priorizar inversiones según retorno y vida útil; buscar financiamiento climático, fondos verdes y alianzas público-privadas para cubrir CAPEX de la planta de biogás y mejoras en el relleno.
- v. Monitoreo económico y KPIs: establecer indicadores clave (costo por tonelada gestionada, ahorro energético mensual, tasa de recuperación de inversión, % ejecución presupuestaria) con responsables y reportes periódicos para la toma de decisiones.

4.3.3 Estrategias Sociales

A continuación, se presentan las estrategias sociales prioritarias para el GADM de Santa Ana de Cotacachi, tomando el proyecto de generación eléctrica a partir del biogás como eje para promover un servicio de residuos más inclusivo, seguro y cercano a la comunidad.

- i. Mejorar condiciones laborales y seguridad: garantizar EPP completo, protocolos de manejo de biogás e incendios, mantenimiento de equipos y programas regulares de salud ocupacional para el personal operativo.
- ii. Capacitación y profesionalización: implementar formación continua en operación de la planta de biogás, manejo de residuos, seguridad y atención comunitaria; medir horas de capacitación por trabajador.
- iii. Participación ciudadana sistemática: incorporar mecanismos formales de consulta y cogestión (mesas técnicas, audiencias, encuestas) en decisiones sobre tarifas, infraestructura y operación del relleno y la planta de biogás.
- iv. Educación ambiental y comunicación: desarrollar programas escolares y comunitarios sobre separación en la fuente, compostaje y beneficios del biogás; campañas de transparencia sobre impactos y ahorros del proyecto.
- v. Inclusión y equidad en empleo y contratación: priorizar contratación local, formación técnica para grupos vulnerables y alianzas con recicladores de base para integrar cadenas de valor socialmente inclusivas.

4.3.4 Estrategias Legales e Institucionales

A continuación, se presentan las estrategias institucionales prioritarias para fortalecer la capacidad del GADM de Santa Ana de Cotacachi, tomando el proyecto de generación eléctrica a partir del biogás como eje para decisiones más informadas, transparentes y trazables.

- i. Estandarizar el proceso decisional: formalizar Orden del Día, dictámenes técnicos, actas y resoluciones; exigir sustento técnico, ambiental y financiero para cada decisión y asignar responsables y plazos.
- ii. Actualizar el Plan de Manejo Ambiental: incorporar el proyecto de biogás como medida prioritaria y definir protocolos operativos, de mantenimiento y de gestión de emergencias del relleno sanitario.
- iii. Implementar un SIG de monitoreo y mantenimiento: integrar registros operativos, indicadores ambientales y económicos, y bitácoras de mantenimiento para asegurar trazabilidad y soporte técnico a las decisiones.
- iv. Fortalecer capacidades y comisiones técnicas: consolidar la Secretaría Técnica y las comisiones del Concejo con personal y recursos para análisis técnico-financiero, revisión de proyectos y seguimiento de cumplimiento.

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.

- v. Transparencia y rendición de cuentas: publicar periódicamente actas, resoluciones y reportes ambientales en el portal municipal; establecer indicadores públicos y mecanismos de control social para mejorar la confianza ciudadana.

4.4 Impactos ambientales

Los impactos ambientales potenciales se relacionan tanto con la evolución del sistema actual de disposición final como con la implementación de nuevos proyectos, en particular un proyecto de captura de metano para generación eléctrica en el relleno sanitario.

Si el relleno sanitario continúa operando sin un sistema robusto de captación y manejo de biogás, los impactos potenciales incluyen el incremento de emisiones de metano a medida que aumenta la cantidad de residuos dispuestos, el riesgo de explosiones o incendios internos por acumulación de gas, y la intensificación de problemas de olores y vectores. Asimismo, un manejo inadecuado de lixiviados podría derivar en una mayor contaminación de aguas subterráneas y superficiales, especialmente en escenarios de aumento de precipitaciones o fallas en los sistemas de drenaje y recubrimiento. El propio hecho de que el relleno de Cotacachi se encuentre en proceso de cierre definitivo para ciertos flujos de residuos muestra que, de no planificarse alternativas, existe un riesgo potencial de saturación y de incremento de impactos ambientales y sociales.

Frente a este escenario, la implementación de un proyecto de captura de metano para generación eléctrica configura un conjunto de impactos potenciales de doble naturaleza: por un lado, beneficiosos; por otro, riesgos que deben gestionarse. Entre los impactos positivos potenciales se encuentran la reducción significativa de emisiones de GEI al capturar y aprovechar el metano que, de otro modo, se liberaría a la atmósfera; la mejora de las condiciones de operación del relleno al controlar el biogás; y la generación de energía eléctrica que podría sustituir parcialmente fuentes fósiles, contribuyendo a la descarbonización del sistema energético local. Además, el proyecto podría fortalecer la imagen ambiental del GADM y abrir oportunidades de acceso a mecanismos de financiamiento climático o certificaciones de carbono.

Sin embargo, también existen impactos potenciales que deben ser considerados: la instalación de infraestructura de captación, conducción y generación eléctrica implica movimientos de suelo, construcción de obras civiles y operación de equipos que pueden generar ruido, riesgos de fugas de gas, emisiones residuales por quemas de seguridad (flares) y la necesidad de un manejo adecuado de condensados y subproductos. Si el proyecto no se diseña y opera bajo estándares técnicos rigurosos, podría generar nuevos focos de riesgo, tanto para el personal como para el entorno. A continuación, la tabla 20 presenta los impactos actuales y potenciales identificados. La identificación de impactos actuales y potenciales se obtuvo a partir de una revisión de la información publicada en el sitio web del municipio y fue complementada con la experiencia profesional de los autores en gestión de residuos sólidos urbanos, así como con la información recopilada para los otros entregables (EMAC EP, 2026; EMGIRS-EP, 2023; Municipio de Cotacachi, 2026c)

Tabla 20

Impactos actuales y potenciales identificados.

Categoría	Impactos ambientales actuales	Impactos ambientales potenciales
Emisiones atmosféricas	- Emisiones de CO₂ y material particulado por la flota de recolección - Liberación difusa de metano por descomposición anaerobia en el relleno.	Riesgo de fugas de biogás durante la instalación u operación del sistema.

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.

Calidad del aire	- Olores ofensivos por acumulación de residuos y biogás no controlado - Proliferación de vectores.	Posibles emisiones residuales por quemadores de seguridad (flares).
Suelos	- Riesgo de contaminación por manejo inadecuado de residuos y compactación del terreno. - Acumulación histórica de residuos en celdas.	Movimientos de tierra y obras civiles para instalar tuberías y pozos de captación. Riesgo de afectación localizada si no se manejan adecuadamente condensados y lixiviados del sistema de biogás.
Aguas superficiales y subterráneas	- Filtración de lixiviados hacia el subsuelo si el sistema de impermeabilización o drenaje es insuficiente - Riesgo de escorrentía en época de lluvias.	Riesgo de contaminación puntual durante obras o fallas en el sistema de drenaje.
Biodiversidad	- Afectación por presencia de vectores, aves carroñeras y fauna atraída al sitio - Alteración del ecosistema inmediato.	Reducción de fauna oportunista si mejora el manejo del sitio; perturbación temporal por obras de instalación del sistema de biogás.
Salud pública	Exposición a olores, vectores y posibles contaminantes del aire y agua para comunidades cercanas.	Riesgos laborales asociados a la operación del sistema de captura y generación eléctrica.
Paisaje y entorno	- Degradación visual del área del relleno. - Tránsito frecuente de camiones.	Impacto visual temporal por infraestructura del proyecto energético.
Energía y recursos	- Dependencia total de energía externa. - Desaprovechamiento del metano generado.	Ninguno
Gestión institucional	- Presión sobre un relleno en proceso de cierre. - Costos crecientes de operación y transporte.	Necesidad de nuevos protocolos de operación, mantenimiento y seguridad.

Nota: Autores, 2026.

En síntesis, los impactos ambientales potenciales del GADM de Santa Ana de Cotacachi en materia de residuos sólidos urbanos se sitúan en una encrucijada: por un lado, el riesgo de profundizar los impactos negativos asociados a un relleno sanitario presionado y en proceso de cierre; por otro, la oportunidad de transformar ese pasivo ambiental en un activo energético mediante un proyecto de captura de metano, siempre

que este se conciba como parte de una estrategia integral de gestión de residuos, con enfoque preventivo, criterios de sostenibilidad y cumplimiento estricto de la normativa ambiental vigente, incluida la licencia y el plan de manejo ambiental del relleno sanitario de Cotacachi.

4.4.1 Análisis comparativo con el Plan de Manejo Ambiental (PMA) del GADM.

El PMA de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, 2021 (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, 2021) documenta un conjunto amplio de medidas operacionales relacionadas a la gestión de residuos y particularmente para la operación del relleno sanitario como: cobertura y compactación diaria, kits antiderrames, medición y tratamiento/recirculación de lixiviados, instalación y mantenimiento de chimeneas para gases, registros de mantenimiento de maquinaria y contratos con gestores externos para residuos sanitarios (EPA, 2021). Estas acciones cubren muchos impactos actuales identificados, sin embargo, hay vacíos técnicos y de gestión que limitan la capacidad del plan para anticipar y controlar impactos potenciales de mediano y largo plazo. A continuación, se describen los impactos cubiertos, parcialmente cubiertos y no cubiertos tanto para los impactos actuales como para los potenciales considerando la implementación de un proyecto de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos y los aspectos que no constan en el PMA.

4.4.2 Impactos potenciales y actuales cubiertos y parcialmente en el PMA

La Tabla 21 resume la evaluación impactos cubiertos, parcialmente cubiertos y no cubiertos tanto para los impactos actuales como para los potenciales después de una evaluación contra el PMA del GADM de Santa Ana de Cotacachi, así como también muestra los aspectos no cubiertos en el PMA.

Tabla 21

Evaluación general del PMA frente a impactos actuales y potenciales

Categoría	Impactos ambientales actuales	Impactos ambientales potenciales
Emisiones atmosféricas	Parcialmente	No
Calidad del aire	Cumple	No
Suelos	Cumple	No
Aguas superficiales y subterráneas	Cumple	Parcialmente
Biodiversidad	No	Parcialmente
Salud pública	Cumple	No
Paisaje y entorno	No	No
Energía y recursos	No	Ninguno
Gestión institucional	Parcialmente	No

Nota: Autores, 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.

4.5 Fases del ACV.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como ya se indicó, estructura en cuatro fases interrelacionadas que permiten evaluar de manera los impactos ambientales asociados a un proceso. En este estudio, dichas fases se aplican al proceso de generación eléctrica mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos del relleno sanitario del GADM de Santa Ana de Cotacachi. A continuación, se describen cada una de ellas.

4.5.1 Definición del objetivo y alcance

El objetivo del presente ACV es evaluar los impactos ambientales asociados al proceso de generación eléctrica mediante el aprovechamiento del biogás producido por la descomposición anaerobia de residuos orgánicos en el relleno sanitario del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Este proceso ha sido identificado como una alternativa para reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mejorar la gestión de residuos y contribuir a la sostenibilidad municipal.

Por lo tanto, el alcance se define e incluye las etapas de recolección de residuos, el transporte interno, la disposición en celdas, la generación de biogás, su captación, conducción, acondicionamiento, la combustión en un motor generador y la producción de electricidad. También incluye la construcción de la infraestructura necesaria (pozos, tuberías, sopladores, motor-generador). Se excluye la distribución de electricidad fuera del sitio y el uso final de la energía.

4.5.2 Análisis de inventario

El análisis de inventario identifica y cuantifica todas las entradas y salidas asociadas al proceso de generación eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario del GADM de Cotacachi. Considerando el alcance ampliado (que incluye la recolección de residuos, el transporte interno, la disposición en celdas y la construcción de infraestructura) el inventario incorpora tanto flujos operativos como constructivos. Debido a la ausencia de datos primarios detallados, se emplean valores estimados basados en el PGIRS de Cotacachi, (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, 2021), factores nacionales (Ministerio de Ambiente, 2024; Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2020) (MAATE) y literatura técnica internacional (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019). El inventario (ver Tabla 22) refleja los principales consumos de energía, materiales, emisiones y residuos generados en cada etapa proceso, permitiendo modelar el comportamiento ambiental del proceso y servir como base para la evaluación de impactos.

Tabla 22

Inventario del proceso (LCI) para el ACV del sistema de generación eléctrica a partir de biogás

Etapas del sistema	Entradas	Salidas / Emisiones
Recolección de residuos	Combustible diésel para camiones; mano de obra; mantenimiento de flota	Emisiones de CO ₂ , NO _x , PM; residuos recolectados (35–45 t/día)
Transporte interno y disposición en celdas	Combustible para maquinaria; cobertura diaria; compactación	Emisiones de CO ₂ ; residuos compactados; lixiviados; condiciones para generación de biogás
Construcción de infraestructura	Tuberías HDPE; pozos de captación; sopladores; antorcha; motor generador; obra civil	Residuos de construcción; consumo de materiales; impactos incorporados
Generación de biogás	Residuos orgánicos (55–65 % del total); humedad; condiciones anaerobias	Biogás bruto (80–120 m ³ /t orgánica); CH ₄ y CO ₂ ; emisiones difusas

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.

Captación y conducción del biogás	Energía eléctrica para sopladores; tuberías; válvulas	Fugas de CH ₄ (1–3 %); biogás captado (≈ 40 % del total generado)
Acondicionamiento del biogás	Energía eléctrica; filtros; reactivos para H ₂ S	Lodos; filtros agotados; biogás limpio
Combustión en motor generador	Biogás acondicionado; lubricantes; mantenimiento	Electricidad; calor residual; NO _x , CO, CO ₂ biogénico
Salida del sistema	Electricidad generada (3.3–7.1 MWh/días estimados)	Electricidad renovable disponible en sitio; reducción de GEI

Nota. Autores, 2026

4.5.3 Evaluación de impactos

La evaluación de impactos traduce las entradas y salidas del inventario en categorías de impacto ambiental, permitiendo cuantificar los efectos asociados a cada etapa del sistema.

Para el proceso de generación eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario de Cotacachi, la categoría prioritaria es el cambio climático, debido al alto potencial de calentamiento global del metano (GWP100 = 28–34) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019). Sin embargo, el alcance ampliado permite identificar impactos adicionales asociados a la recolección de residuos, el transporte interno y la construcción de infraestructura.

En el escenario actual sin aprovechamiento energético, el metano generado por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos se libera a la atmósfera, generando entre 12 y 28 toneladas de CO_{2e} por día, según el potencial estimado de biogás del relleno. Con la implementación del sistema de captación y combustión en un motor generador, se destruye entre 90 % y 98 % del metano captado, reduciendo significativamente las emisiones de GEI. La generación eléctrica produce un beneficio adicional al sustituir electricidad de la red nacional, cuya intensidad promedio es de 0,18 kg CO₂/kWh.

Otras categorías relevantes incluyen:

- Acidificación y eutrofización: asociadas principalmente a las emisiones de NO_x del motor generador y al uso de combustibles fósiles en la recolección y transporte interno.
- Toxicidad humana y ecotoxicidad: vinculadas al manejo de reactivos para el acondicionamiento del biogás (remoción de H₂S) y a los residuos de filtros y lodos.
- Uso de recursos: relacionado con la construcción de infraestructura (tuberías HDPE, pozos, sopladores, motor generador), que incorpora energía y materiales con impactos previos.

4.5.4 Interpretación de resultados

La interpretación integra los resultados del inventario y la evaluación de impactos, identificando los puntos críticos del sistema y las oportunidades de mejora. El análisis evidencia que la mayor contribución a los impactos ambientales proviene de:

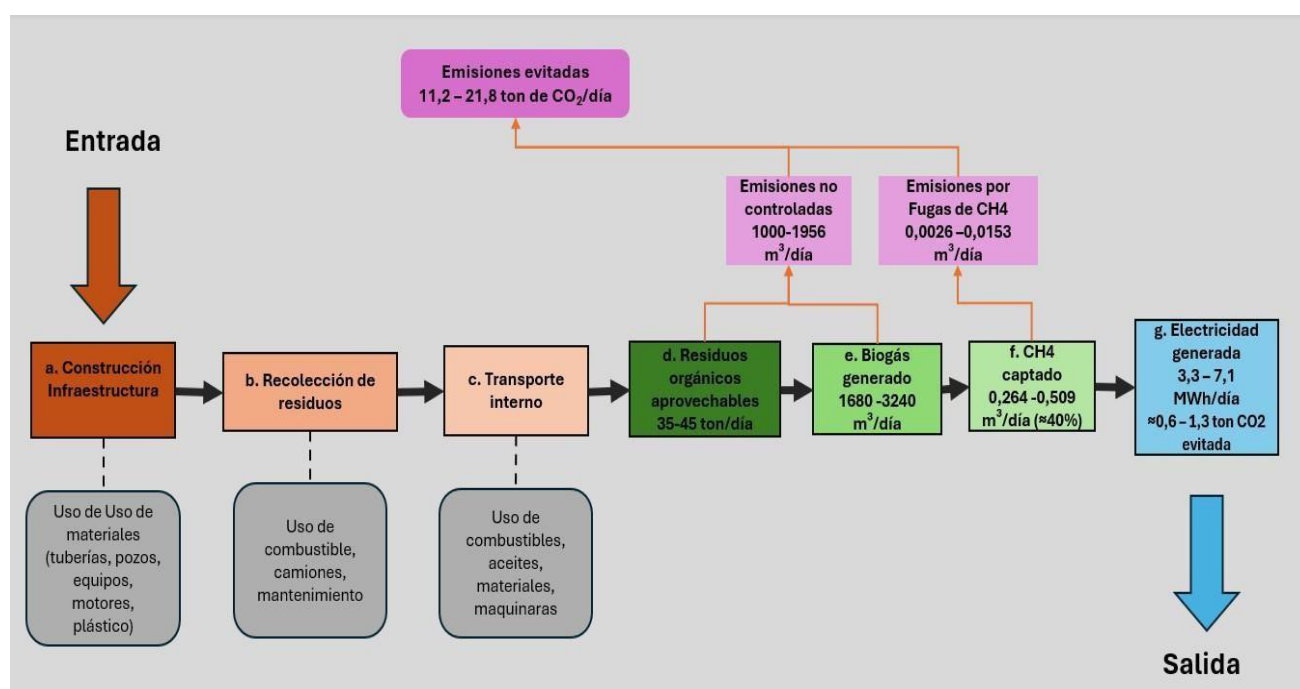
- Emisiones fugitivas de metano durante la captación y conducción del biogás. Incluso fugas del 1–3 % pueden reducir significativamente los beneficios climáticos del proyecto.
- Eficiencia de captación, estimada en 40 %. Valores más bajos disminuirían la cantidad de biogás disponible y aumentarían las emisiones no controladas.

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.

- iii. Consumo de combustibles fósiles en la recolección de residuos y el transporte interno, que contribuyen a las categorías de cambio climático, acidificación y material particulado.
- iv. Construcción de infraestructura, que incorpora impactos previos asociados a materiales como HDPE, acero y concreto, aunque estos se amortizan a lo largo de la vida útil del sistema.
- v. Eficiencia del motor generador, que determina la cantidad de electricidad producida y, por tanto, el beneficio por sustitución de energía de la red.

La figura 7, muestra un diagrama de las entradas y las salidas que permite interpretar los resultados, evaluar los impactos, e identificar los puntos críticos del sistema y las oportunidades de mejora.

Figura 7
ACV del proceso de generación de electricidad



Nota. Autores, 2026.

A pesar de estos puntos críticos, el análisis demuestra que el sistema de aprovechamiento energético del biogás reduce de manera significativa las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el escenario sin captación. La generación de electricidad renovable contribuye a disminuir la dependencia de fuentes fósiles y mejora el desempeño ambiental del sistema municipal de gestión de residuos.

4.6 Beneficios del ACV para la gestión organizacional.

El ACV proporciona a la gestión organizacional una base cuantitativa para la toma de decisiones al traducir en impactos ambientales las entradas y salidas del proyecto (recolección, transporte, construcción, biogás generado, fugas, generación eléctrica y evitación de CO₂e), permite priorizar medidas (mejorar captación, reducir fugas, optimizar rutas de recolección) que maximicen beneficios climáticos y operativos. Además,

facilita la evaluación del retorno ambiental de inversiones en infraestructura (pozos, tuberías, motor-generador) al comparar impactos incorporados con las reducciones de GEI y la sustitución de electricidad de la red, apoyando decisiones de diseño y planificación con criterios ambientales y económicos (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2006b, 2006a).

A nivel organizacional, el ACV mejora la gestión de riesgos y el cumplimiento normativo, al identificar fuentes críticas de emisiones y residuos (por ejemplo, emisiones difusas de metano y residuos de acondicionamiento) y proponer controles técnicos y operativos. También fortalece la transparencia y la comunicación con stakeholders (comunidad, autoridades, financiadores) mediante indicadores claros y verificables, y establece una línea base para el monitoreo continuo y la mejora ambiental, lo que facilita la obtención de financiamiento verde, certificaciones y la integración del proyecto en planes municipales de gestión de residuos

4.6.1 Análisis de mejoras que se pueden implementar.

A continuación, la tabla 23, resume el análisis de mejoras que se pueden implementar al proyecto de captura de metano considerado los resultados del ACV realizado.

Tabla 23

Análisis de mejoras que se pueden implementar

Mejora	Descripción	Beneficio ambiental esperado	Acciones operativas/tecnológicas
Mejorar eficiencia de captación de biogás	Aumentar captura desde ~40 % hacia 60–80 %.	Reducción significativa de CH₄ fugitivo y CO₂e.	Instalar más pozos y colectores; optimizar diseño de celdas; sellado y cobertura mejorada.
Programa de detección y reparación de fugas (LDAR)	Detección sistemática y reparación rápida de fugas en tuberías y pozos.	Disminuye emisiones fugitivas de metano; mejora seguridad.	Inspecciones periódicas con detectores portátiles/termografía; protocolos de reparación.
Optimización de rutas y eficiencia de flota	Reducir kilómetros recorridos y consumo de combustible en recolección.	Menor consumo de diésel y emisiones de CO₂, NO_x y PM.	Ruteo dinámico; mantenimiento preventivo; capacitación de conductores.
Transición a combustibles alternativos o electrificación de flota	Sustituir diésel por biodiésel, gas o vehículos eléctricos.	Reducción de emisiones operativas y mejora de calidad del aire.	Evaluación de costos; infraestructura de recarga/abastecimiento; pilotos.
Aumentar eficiencia del motor generador y considerar CHP	Mejorar rendimiento eléctrico y aprovechar calor residual.	Mayor electricidad útil por m³ de biogás; mayor evitación de CO₂; uso eficiente de energía.	Selección de motor de mayor rendimiento; recuperación de calor para procesos o calefacción.

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.

Optimización de materiales y diseño constructivo	Reducir impactos incorporados de tuberías, concreto y equipos.	Menor huella de carbono embebida en la infraestructura.	Selección de materiales con menor huella; diseño modular; reciclaje de residuos de obra.
Gestión de residuos de acondicionamiento y mantenimiento	Manejo seguro y valorización de lodos, filtros y aceites.	Reduce riesgos ambientales y potenciales emisiones tóxicas; posibilidad de valorización.	Protocolos de segregación; contratos para tratamiento; evaluación de valorización.

Nota. Autores, 2026.

4.7 Unidad funcional, alcance y ACV simplificado

Esta sección presenta la unidad funcional propuesta, el alcance metodológico recomendado y un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) simplificado aplicado al proceso de generación eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario del GADM de Santa Ana de Cotacachi. Se explicará la justificación para elegir la unidad funcional, se definirá el alcance (puerta a puerta) y se mostrará un ejercicio cuantitativo preliminar con supuestos proxy que ilustra la dinámica energética y las emisiones asociadas al sistema evaluado.

El ACV aquí desarrollado es exploratorio y se apoya en valores proxy por la falta de datos primarios locales; por tanto, sus resultados son indicativos y deben interpretarse con cautela. Esta sección complementa el resto del de las secciones desarrolladas al formalizar criterios metodológicos, identificar puntos críticos (captación, fugas, eficiencia del motor generador) y aportar insumos para la guía de viabilidad; además, orienta las recomendaciones operativas y las prioridades de recolección de datos para futuros análisis más robustos.

4.7.1 Unidad funcional escogida

Se ha seleccionado como unidad funcional 1 kWh de electricidad generada y disponible en sitio. Esta unidad permite cuantificar de forma directa la evitación de emisiones de GEI frente a la red eléctrica local y facilita el análisis técnico-económico por energía producida (costos por kWh, ingresos por venta y potenciales créditos de carbono). Además, es coherente con el objetivo del proyecto, al evaluar la generación eléctrica a partir del biogás del relleno sanitario y comparar escenarios operativos.

4.7.2 Alcance recomendado

Esto comprende desde la llegada del residuo al relleno sanitario hasta la electricidad generada en el motor-generador y disponible en sitio, e incluye las etapas locales de recolección interna, disposición en celdas, generación y captación de biogás, acondicionamiento y conversión a electricidad.

Este alcance mantiene coherencia metodológica con los entregables previos y permite evaluar la reducción de emisiones mediante la sustitución de la energía de la red, excluyendo la distribución y el uso final de la electricidad. Para este ACV se han delimitado explícitamente las etapas consideradas dentro del perímetro de estudio, de modo que el análisis se concentra en las fases locales relacionadas con la generación y aprovechamiento del biogás en el relleno sanitario.

QUITO – ECUADOR | 2026

En consecuencia, en este ejercicio se excluyen la construcción de infraestructura fuera del perímetro operativo, la recolección externa de residuos y el transporte intermunicipal; dichas actividades deben ser consideradas en el análisis integral del proyecto, pero quedan fuera del alcance de la presente evaluación. Por tanto, el ACV aquí desarrollado se enfoca únicamente en las etapas señaladas en la Figura 7 (generación de biogás, captación, acondicionamiento y conversión a electricidad), garantizando coherencia con el alcance definido en entregables anteriores y facilitando un análisis operativo y comparativo acotado.

4.8 Análisis de Ciclo de Vida con valores cuantitativos proxy

En esta sección se exponen los supuestos claves utilizados como proxies, los cálculos básicos por tonelada de fracción orgánica y por kWh generado, y una tabla que diferencia las tres fases operativas consideradas: generación de biogás, captación y acondicionamiento, y conversión/combustión en motor generador. La tabla 24, resume dichos supuestos.

Tabla 24

Proxi utilizados para la estimación del ACV

Fase del proceso	Variable	Valor	Unidad
Generación de biogás	Rendimiento de biogás bruto	100	m ³ /ton
	CH ₄ volumétrico generado	60	m ³ CH ₄ /ton
	Masa de CH ₄ generado	42.8	kg CH ₄ /ton
	Energía teórica del CH ₄	600	kWh/ton
Captación y acondicionamiento	Captación de biogás	40	%
	CH ₄ no captado (fugitivo)	25.7	kg CH ₄ /ton
	Emisiones fugitivas (GWP100=28)	719.6	kg CO ₂ e/ton
	CH ₄ residual tras combustión (5%)	0.86	kg CH ₄ /ton
	Emisiones residuales (GWP100=28)	24	kg CO ₂ e/ton
Conversión a electricidad	Eficiencia eléctrica del motor generador	35	%
	Energía eléctrica útil	210	kWh/ton
	Energía eléctrica entregada (40% captación)	84	kWh/ton
Conversión a electricidad	Emisiones evitadas por sustitución de red	15.1	kg CO ₂ e/ton

Nota. Autores, 2026.

4.8.1 Fuentes de los proxys utilizados

A continuación, se detallan proxys y las fuentes de los proxys utilizados

- Potenciales de calentamiento global: (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2019)
- Datos de generación de biogás y captación y acondicionamiento: (Triviño-Pineda et al., 2024) (Anaya-Reza et al., 2024)
- Datos relacionados con conversión a electricidad: (Jameel et al., 2024; Ministerio de Ambiente y Energía [MAE], 2024; Qian et al., 2025; The Engineering ToolBox, 2018)

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.

4.8.2 Estimación ACV considerando 1 kWh de electricidad entregada en sitio

La presente estimación se fundamenta en los supuestos operativos y valores proxy definidos en la Tabla 24

- Energía teórica del CH₄ necesaria:
 - $\frac{600 \text{ kWh}}{84} = 7.14 \text{ kWh de CH}_4 \text{ por kWh eléctrico}$
 - Biogás requerido
 - $\frac{100 \text{ m}^3}{84} = 1.19 \text{ m}^3 \text{ biogás/kWh}$
 - Metano requerido
 - $1.19 \times 0.60 = 0.714 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{kWh}$
 - Masa total de CH₄ generada por kWh
 - $\frac{42.8}{84} = 0.51 \text{ kg CH}_4 / \text{kWh}$
 - CH₄ fugitivo (60 %)
 - $0.51 \times 0.60 = 0.306 \text{ kg CH}_4 / \text{kWh}$
 - $0.306 \times 28 = 8.57 \text{ kg CO}_2 \text{e/kWh}$
 - CH₄ residual no destruido (5 % del captado)
 - $0.51 \times 0.40 \times 0.05 = 0.0102 \text{ kg CH}_4 / \text{kWh}$
 - $0.0102 \times 28 = 0.29 \text{ kg CO}_2 \text{e/kWh}$
- Emisiones totales por CH₄
 - $8.57 + 0.29 = 8.86 \text{ kg CO}_2 \text{e/kWh}$
- Emisiones evitadas por sustitución de red
 - $\frac{15.1}{84} = 0.18 \text{ kg CO}_2 \text{e/kWh}$
- Balance climático neto
 - $8.86 - 0.18 = 8.68 \text{ kg CO}_2 \text{e/kWh}$

4.8.3 Análisis de resultados

La tabla 25, resume el desempeño climático del sistema bajo tres escenarios operativos de captación de metano, expresados en términos de la unidad funcional del análisis: 1 kWh de electricidad generada y disponible en sitio. Esta normalización permite comparar de manera consistente el impacto climático asociado a cada nivel de captación, independientemente de la cantidad de residuos procesados.

Tabla 25

Escenarios considerando 1 kWh de electricidad entregada en sitio

Escenario	Captación CH ₄	Electricidad entregada (kWh/ton)	Emisiones netas (kg CO ₂ e/kWh)
Conservador	40 %	84	+8.68
Mejorado	60 %	126	+2.00 (aprox.)
Óptimo	80 %	168	-1.49 (aprox.)

Nota. Autoes, 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.

Los resultados muestran cómo la eficiencia en la captación de CH_4 influye directamente en el balance neto de emisiones: a niveles bajos de captación, el sistema continúa siendo fuertemente emisor debido al metano fugitivo; sin embargo, conforme aumenta la captación, las emisiones fugitivas disminuyen y la electricidad generada evita mayores emisiones de la red, permitiendo que el sistema se acerque a la neutralidad e incluso alcance valores negativos en un escenario óptimo. Esta comparación evidencia el rol crítico del control de fugas y la eficiencia del sistema de captación como variables determinantes para la viabilidad climática del aprovechamiento energético del biogás en rellenos sanitarios

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES

5.1 Conclusiones generales

El estudio demuestra que la valorización energética de residuos sólidos orgánicos es una oportunidad tangible para los GADM de la Sierra ecuatoriana ya que existe una masa crítica de residuos orgánicos y un marco normativo que permite articular proyectos de captura de metano y generación eléctrica. Según datos del INEC, el país genera 14.194 toneladas diarias de residuos sólidos municipales, de las cuales el 50.5% son orgánicas, lo que evidencia el potencial técnico-energético disponible.

La propuesta central (una guía de viabilidad y toma de decisiones para municipios) responde a la necesidad de criterios técnicos, operativos y económicos claros que reduzcan la incertidumbre en inversiones públicas y permitan comparar alternativas (inversión directa, mancomunados o soluciones no energéticas). El proyecto consiste en la propuesta de diseño de una herramienta de toma de decisiones dirigida a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales de la Sierra ecuatoriana, integrando variables técnicas, operativas y económicas para producir un diagnóstico rápido.

El análisis integrado (PESTEL, benchmarking, ACV simplificado, FODA y diseño de un SIG) muestra que la viabilidad depende críticamente de la eficiencia de captación de metano, la gobernanza local y la inclusión social: sin control de fugas y sin aceptación comunitaria, los beneficios climáticos y económicos se reducen drásticamente. Los casos comparados (El Inga y Pichacay) ilustran que la escala no garantiza éxito; la estabilidad operativa y la gestión institucional son determinantes.

Finalmente, la guía propuesta es replicable y escalable si se acompaña de: i) fortalecimiento institucional (SIG y digitalización), ii) programas de separación en la fuente y capacitación, iii) estrategias financieras (acceso a fondos climáticos y modelos de negocio público-servicio) y iv) controles técnicos para minimizar fugas y riesgos ambientales. En conjunto, el estudio transforma un pasivo ambiental en una palanca de sostenibilidad técnica, social y financiera para municipios medianos y pequeños.

5.2 Conclusiones específicas

La investigación cumple con el objetivo general en su dimensión conceptual y metodológica al diseñar una herramienta de toma de decisiones que integra variables técnicas, operativas y económicas para estimar umbrales mínimos de generación de metano. Se desarrollaron los módulos metodológicos necesarios (modelación de biogás, CAPEX/OPEX, PESTEL, FODA, ACV simplificado y propuesta de SIG) que permiten evaluar escenarios y producir criterios de decisión.

En relación con los objetivos específicos, se cumplieron en su dimensión de diseño y análisis: se realizó un diagnóstico externo integral (PESTEL, benchmarking y mapeo de stakeholders) documentado en tablas y secciones específicas; se diseñaron estrategias de responsabilidad social y gobernanza orientadas a la aceptación comunitaria e inclusión de recicladores; se diagnosticó la posición estratégica mediante el análisis de las cinco fuerzas de Porter y una matriz FODA que identifican riesgos y oportunidades; se elaboró un plan operativo para la implementación de un Sistema Integrado de Gestión (SGI) con identificación de aspectos e impactos, controles operativos, protocolos de emergencia y propuestas de formación y comunicación; se definió un marco de gobernanza con misión, visión, estructura y un conjunto de indicadores económicos, sociales y ambientales sugeridos; y se desarrolló un ACV simplificado con inventario proxy y escenarios por kWh que se articula con el Plan de Manejo Ambiental. En conjunto, estos puntos constituyen una guía metodológica completa que cumple los objetivos en términos conceptuales y de producto documental,

quedando pendiente su validación empírica y pilotaje para convertir el diseño en un instrumento operativo plenamente implementable.

Contribución a la gestión empresarial aporta un marco conceptual y operativo que orienta a los GADM sobre qué variables monitorear y cómo estructurar la evaluación económico-técnica de proyectos de valorización energética. Ofrece criterios para definir umbrales de escala, indicadores KPI sugeridos y un esquema de SIG que, una vez implementado, puede mejorar la eficiencia en recolección, operación del relleno y mantenimiento. Es importante subrayar que no se entrega un instrumento implementado, sino una guía de diseño que facilita la estructuración de proyectos y la preparación para acceder a financiamiento y alianzas.

A nivel académico, el estudio integra y adapta metodologías reconocidas (IPCC, ACV, PESTEL, Porter, Canvas) a la realidad de GADMs pequeños y medianos, generando un caso aplicado replicable para investigación futura. Aporta insumos cuantitativos proxy y escenarios por kWh y por tonelada que sirven como referencia para calibrar modelos y para comparaciones intermunicipales. Además, documenta lecciones aprendidas de casos nacionales (El Inga, Pichacay) y propone una estructura metodológica que puede ser base para tesis, artículos y proyectos de investigación aplicada sobre gestión de residuos y energías renovables en contextos territoriales similares.

A nivel personal, el proceso fortaleció competencias técnicas y de gestión de los autores y equipos municipales: diseño de protocolos operativos, elaboración de matrices de requisitos legales, formulación de indicadores y desarrollo de planes de capacitación y comunicación con stakeholders. Promovió habilidades transversales en gobernanza, negociación con actores locales (recicladores, comunidades indígenas) y formulación de proyectos para acceso a fondos climáticos. En suma, la investigación elevó la capacidad profesional para diseñar, evaluar y gestionar proyectos de valorización energética en el ámbito público local.

La investigación presenta limitaciones relevantes que condicionan la solidez de sus conclusiones: falta de validación empírica, dado que muchas estimaciones del ACV y de la producción de biogás se apoyan en proxys y casos de referencia y requieren mediciones locales para robustecer los resultados; alta sensibilidad a la captación de metano, puesto que la viabilidad técnica, económica y ambiental depende fuertemente de la eficiencia real de captación y de las fugas, variables que pueden reducir drásticamente los beneficios esperados; incertidumbre financiera, ya que la rentabilidad final está condicionada por factores volátiles en el tiempo como tarifas eléctricas, acceso a financiamiento y precios de créditos de carbono; y complejidad institucional y social, porque la implementación exige gobernanza efectiva, aceptación comunitaria y coordinación intermunicipal cuando la escala municipal es insuficiente, elementos que requieren estrategias de participación y fortalecimiento institucional antes de cualquier escalamiento.

CAPITULO 6. REFERENCIAS

- Anaya-Reza, O., Altamirano-Corona, M. F., Basurto-García, G., Patricio-Fabián, H., García-González, S. A., Martínez-Hernandez, E., & Durán-Moreno, A. (2024). Wet anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste: experience with long-term pilot plant operation and industrial scale-up. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 47(2), 235–247. <https://doi.org/10.1007/s00449-023-02958-2>
- Asamblea Nacional. (2015). *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*.
- Asamblea Nacional. (2017). *Código Orgánico del Ambiente, COA*.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*.
- CIDEU. (2024). *Cuenca: Transformando residuos en energía limpia*.
- El Universo. (2023). *Crisis en el relleno sanitario de El Inga: lixiviados, malos olores y deudas afectan su operación*.
- EMAC EP. (2026). *Complejo de desarrollo humano y ambiental PICHACAY*.
- EMGIRS-EP. (2023). *Informe de situación del Relleno Sanitario El Inga*.
- EPA. (2021). *Landfill Gas Energy Project Development Handbook*.
- Epstein, M. J., & Buhovac, A. R. (2014). *Making Sustainability Work: Best Practices in Managing and Measuring Corporate Social, Environmental, and Economic Impacts*.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi. (2021). *Plan de Manejo Ambiental*.
- González Ordóñez, A. I., Armando J., U. M., & Odalys B., B. B. (2023). *Desempeño ambiental empresarial: informes de sostenibilidad en Ecuador*.
- INEC. (2022). *Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo de Población y Vivienda 2022*.
- Instituto de Gobernanza del Parlamento Andino. (2024). *Situación actual de la gestión de residuos domiciliarios sólidos en Ecuador*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report (AR5)*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2019). *Waste generation, composition and management data. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Jameel, M. K., Mustafa, M. A., Ahmed, H. S., Mohammed, A. jassim, Ghazy, H., Shakir, M. N., Lawas, A. M., Mohammed, S. khudhur, Idan, A. H., Mahmoud, Z. H., Sayadi, H., & Kianfar, E. (2024). Biogas: Production, properties, applications, economics and challenges: A review. *Results in Chemistry*, 7, 101549. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549>
- Martínez Carrera. (2025). *Gastos totales en la disposición final de la gestión integral de residuos sólidos en los GADS municipales en el Ecuador*. Universidad Técnica de Ambato.
- Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2024). *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional*.

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.

- Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2020). *Diagnóstico Nacional de Residuos Sólidos*.
- Ministerio de Ambiente y Energía [MAE]. (2024). *Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado – Informe 2024 de Ecuador*. Ministerio del Ambiente. (2024). *Gestión de residuos sólidos y economía circular inclusiva – (GRECI)*. <https://Www.Ambienteyenergia.Gob.Ec/Ambiente/Proyecto-Gestion-Integral-de-Residuos-Solidos-y-Economia-Circular-Inclusiva-Greci/>.
- Municipio de Cotacachi. (2026a). *Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en la zona de Intag y su articulación con el relleno sanitario de Cotacachi*.
- Municipio de Cotacachi. (2026b). *GADM de Cotacachi. Administración 2023-2027*. <https://Cotacachi.Gob.Ec/>.
- Municipio de Cotacachi. (2026c, March 9). *Municipio de Cotacachi*. <https://Cotacachi.Gob.Ec/>.
- OPS. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios*.
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos ISO 9001:2015*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>.
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2006a). *Gestión ambiental — Análisis de ciclo de vida — Principios y marco de referencia. ISO 14040:2006*. <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2006b). *Gestión ambiental — Análisis de ciclo de vida — Requisitos y directrices. ISO 14044:2006*. <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2015). *Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso. ISO 14001:2015*. <https://www.iso.org/standard/14001>.
- Presidencia de la República. (2015). *Código de Organización Territorial, COOTAD*.
- Presidencia de la República. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, RCOA*.
- Qian, S., Chen, L., Xu, S., Zeng, C., Lian, X., Xia, Z., & Zou, J. (2025). Research on Methane-Rich Biogas Production Technology by Anaerobic Digestion Under Carbon Neutrality: A Review. *Sustainability*, 17(4), 1425. <https://doi.org/10.3390/su17041425>
- Sánchez Jumbo, J. A. (2025). *Una aproximación descriptiva de los costos de la gestión integral de desechos sólidos en las provincias del Ecuador, Periodo 2017-2020, utilizando Machine Learning*. PUCE.
- The Engineering ToolBox. (2018). *Methane - Density and Specific Weight vs. Temperature and Pressure*.
- Triviño-Pineda, J.-S., Sanchez-Rodriguez, A., & Peláez, N. P. (2024). Biogas production from organic solid waste through anaerobic digestion: A meta-analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100618>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Vélez, A. G., Peñafiel, P. A., Heredia, M., Barreno, S. N., & Chávez, J. F. (2019). Propuesta de sistema de gestión de residuos sólidos domésticos en la comunidad Waorani Garenó de la Amazonía ecuatoriana. *Ciencia y Tecnología*, 12(2), 33–45. <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i2.324>

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.

6 ANEXOS

[Anexo 1. Mapa de Procesos Integrado..pdf](#)

[Anexo 2. Ejemplos de Formatos de Registro.pdf](#)

[Anexo 3. Flujoograma de actuación del Plan de Emergencias..pdf](#)

[Anexo 4.Estructura Orgánica GADMSAC 2026 O.pdf](#)

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.

