

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

“IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NORMATIVIDAD
APLICADAS EN EL LABORATORIO DE CALIDAD AMSPEC DE
MÉXICO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS Y NO
PELIGROSOS.”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA INDUSTRIAL

PRESENTA:

MARIANA CRUZ MONTERO

DIRECTOR DE TESIS:

M.I.I ROCÍO SÁNCHEZ ESCOBAR

Xoyotitla, municipio de Álamo Temapache, Ver. abril 2026

Agradecimientos

A mi mamá y papá, gracias por apoyarme en cada paso que di en este largo camino, por no dejarme caer a pesar de todos los obstáculos que enfrentamos como familia y gracias por estar ahí cuando más lo necesité.

A mis hermanos, gracias por acompañarme en cada etapa de mi vida y por qué no me dejan sola, por su apoyo y cariño incondicional, gracias, principalmente porque son mi motivación y mi orgullo, gracias por siempre creer en mí.

A mis abuelos maternos, también a mi tío los cuales ya no están presentes, gracias porque sin sus enseñanzas no habría tomado el mejor camino, gracias por esos regaños, esos buenos deseos y por el cariño que en su momento me dieron.

A mi abuelo paterno quien vio cada paso que di en esta carrera, pero hoy en día ya no está presente, le agradezco por confiar, por darme esa fortaleza y por cada una de sus historias que me enseñaron a no rendirme. Todo eso me dejó huella de amor, fortaleza y ejemplo que me inspira cada momento. De igual forma le agradezco a mi abuela quien ha sido parte esencial en la culminación de esta etapa.

Gracias a cada uno que conforma la familia Cruz y la familia Montero por darme cada enseñanza, que me ayudaron a salir adelante en mis días difíciles y continuar hasta el fin de mis estudios, por brindarme el apoyo a lo largo de mi carrera, por ustedes pude lograr cada una de mis metas y superar cada uno de los obstáculos que se me han presentado.

Gracias a mis amistades que conocí en este camino por convertirse en mis grandes amistades a pesar de todo pudimos conectar de la mejor manera, de igual forma le doy gracias a una compañera de residencias, que con poco tiempo de conocernos se ganó mi cariño y se volvió una amiga más, gracias por formar parte de este logro.

Gracias también a mi novio ya que es una persona muy especial para mí, gracias por cada consejo, por cada momento que me he permitido compartir con él, por cada historia que hemos vivido, por apoyarme cuando más lo necesite, gracias por estar presente en mi vida.

GRACIAS

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la gestión y el control operativo de los residuos peligrosos y no peligrosos generados en un laboratorio dedicado al análisis de combustibles, con énfasis en el cumplimiento normativo aplicable en México. Se empleó la metodología de Análisis Modal de Efectos y Fallas (AMEF) para identificar, evaluar y priorizar los riesgos asociados a los procesos de manejo de residuos.

Los resultados evidenciaron un nivel de cumplimiento del 73.75%, clasificándolo en un rango medio. Se identificaron fortalezas en la clasificación, segregación y manejo básico de residuos, así como en el cumplimiento de normas ambientales; sin embargo, se detectaron brechas significativas en la trazabilidad, el control documental y la integración de estos procesos dentro del sistema de calidad, particularmente en relación con la norma ISO/IEC 17025:2017.

Asimismo, los riesgos críticos identificados incluyen derrames de solventes y la acumulación de materiales contaminados con hidrocarburos, los cuales representan impactos relevantes en términos ambientales, de seguridad y regulatorios. Con base en estos hallazgos, se propusieron acciones de mejora enfocadas en la infraestructura y seguridad, el fortalecimiento del control documental, la capacitación del personal y la optimización de la gestión con proveedores.

PALABRAS CLAVE

- Gestión de residuos
- Cumplimiento normativo
- Residuos peligrosos
- AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas)
- Mejora continua

ABSTRAC

The present research aimed to evaluate the management and operational control of hazardous and non-hazardous waste generated in a laboratory dedicated to fuel analysis, with an emphasis on compliance with applicable regulations in Mexico. The Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) methodology was used to identify, evaluate, and prioritize the risks associated with waste management processes.

The results showed a compliance level of 73.75%, placing it in a medium range. Strengths were identified in the classification, segregation, and basic handling of waste, as well as in compliance with environmental regulations; however, significant gaps were detected in traceability, document control, and the integration of these processes within the quality system, particularly in relation to the ISO/IEC 17025:2017 standard.

Likewise, the identified critical risks include solvent spills and the accumulation of materials contaminated with hydrocarbons, which represent significant impacts in environmental, safety, and regulatory terms. Based on these findings, improvement actions were proposed focusing on infrastructure and safety, strengthening document control, staff training, and optimization of supplier management.

Índice

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Justificación	5
1.4 Pregunta de investigación.....	5
1.5 Objetivos	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
2. Marco teórico	7
2.1 Ingeniería Industrial aplicada a la gestión de residuos	7
2.2 Marco normativo ambiental en México.....	8
2.2.1 Legislación ambiental.....	8
2.1.2 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	8
2.3 Sistemas de gestión ambiental y calidad en laboratorios	9
2.4 Generación de residuos en laboratorios de análisis de combustibles	9
2.5 Estándares internacionales de calidad y gestión de riesgos (AIAG–VDA)	10
2.6 Evaluación de la severidad del impacto ambiental.....	11
2.7 Evaluación del cumplimiento normativo.....	12
2.8 Herramientas de Ingeniería Industrial aplicadas en el proyecto.....	12
2.9 Benchmarking en la gestión de residuos.....	12
2.10 Mejora continua en la gestión de residuos.....	13
3. Estado del arte.....	13
4. Metodología	16
Fase 1. Identificación de actividades en AMSPEC laboratorio de calidad	16
Fase 2. Identificación de no conformidades y efectos "residuos peligrosos y no peligrosos"	17
Fase 3. Análisis de las causas potenciales de fallo y controles actuales de detección.....	21
Fase 4. Nivel de riesgo y acciones de mejora en el AMEF	22
5. Análisis y discusión de resultados	25
6. Conclusiones	27
Recomendaciones	28
Anexos.....	29

Anexo 1. Formato de evaluación de riesgo.	29
Anexo 2. Normatividad aplicable al manejo de residuos.	30
Anexo 3. Clasificación de residuos según su nivel de riesgo.	31
Anexo 4. Matriz de requisitos legales	32
Referencias bibliográficas	38

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa de investigaciones	15
Tabla 2. Severidad en actividades AMSPEC	20
Tabla 3. Ocurrencia en actividades AMSPEC	21
Tabla 4. Eficiencia en las medidas de detección AMSPEC.	22
Tabla 5. Clasificación del nivel prioritario de riesgo NPR.	24
Tabla 6. Cumplimiento actual /proyectado	25
Tabla 7. Rangos de cumplimiento normativo	26

Índice de Ilustración

Ilustración 1. Listado de actividades AMSPEC	16
Ilustración 2. Formato check list manejo de residuos peligrosos y no peligrosos	17
Ilustración 3. Análisis de modo y efecto de fallo AMEF	23
Ilustración 4. Factores de evaluación de riesgo	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

La gestión de residuos es una actividad más relevante dentro del laboratorio AmSpec de México, existe la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (publicada en 2003) constituye un marco legal, establece bases de la prevención, valorización y una destino final de los residuos peligros y no peligrosos, junto con sus reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas (NOM) estas definen criterios técnicos obligatorios, permiten que las empresas puedan identificar, clasificar y manejar adecuadamente los residuos que están derivados de los procesos realizados dentro del laboratorio AmSpec .

Este proyecto consta de 4 capítulos, tienen como objetivo identificar y analizar la normatividad aplicable en el laboratorio.

Dentro del capítulo I se describe la empresa junto con su misión, visión, valores como también su organigrama del personal y las problemáticas relacionadas con el tema de gestión de residuos. Se introduce a los objetivos generales y específicos, la justificación del proyecto para el análisis de la normatividad.

En el capítulo II se enfoca en dar a conocer la definición como la descripción de las herramientas, elementos y técnicas que serán utilizadas para la ejecución del proceso de la realización y solución del problema en el proyecto.

El siguiente es el capítulo III en el cual se realizará la investigación, identificación y análisis de las normas aplicables, se realizarán matrices para conocer su nivel de cumplimiento de la normatividad para poder cumplir con el objetivo de este proyecto.

Por último, en el Capítulo IV de acuerdo a las actividades realizadas se podrá tener un resultado sobre el cumplimiento normativo y con ello se podrá obtener una mejora.

En el desarrollo de esto se identifican áreas de mayor actividades y riesgos para la empresa como para el personal operativo, se desarrollarán conocimientos adquiridos dentro de la carrera cada uno de los procesos o actividades se realizaron en conjunto para detallar el tema de gestión de residuos.

1.1 Antecedentes

La gestión de residuos se define como el conjunto de actividades técnicas y administrativas que comprenden la generación, separación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos, con el objetivo de minimizar los impactos ambientales y riesgos a la salud humana (Kaza et al., 2018; Pichtel, 2014). Este concepto es fundamental para comprender el problema, ya que permite analizar cómo se manejan los residuos dentro de los laboratorios y si estos procesos cumplen con la normativa vigente.

Los residuos peligrosos son aquellos que presentan características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad, lo que los convierte en un riesgo potencial para el medio ambiente y la salud humana (SEMARNAT, 2005; LaGrega et al., 2010). En el contexto de laboratorios de análisis de combustibles, estos residuos son generados principalmente por el uso de reactivos químicos y solventes, lo que hace indispensable su identificación y manejo adecuado.

Los residuos no peligrosos son aquellos que no presentan características de riesgo significativo; sin embargo, su manejo inadecuado puede generar impactos ambientales acumulativos, especialmente en términos de contaminación y saturación de sitios de disposición final (Tchobanoglous et al., 1993; Vargas-Restrepo et al., 2021). Su correcta segregación permite su valorización mediante reciclaje o reutilización.

La normatividad ambiental se refiere al conjunto de leyes, reglamentos y normas que regulan las actividades humanas con el fin de proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación (Cortinas, 2000; Gunningham & Sinclair, 2002). En México, esta normatividad establece las obligaciones de los generadores de residuos, siendo un elemento clave para analizar el cumplimiento dentro del laboratorio.

El cumplimiento normativo implica el grado en que una organización acata las disposiciones legales y regulatorias aplicables a sus actividades (Blackman, 2010). En el contexto de los laboratorios, este concepto permite evaluar si las prácticas de manejo de residuos se alinean con los requisitos establecidos por la legislación ambiental

Un sistema de gestión ambiental es un conjunto de procesos y prácticas que permiten a una organización identificar, controlar y reducir sus impactos ambientales, promoviendo la mejora continua (ISO, 2015; Medina et al., 2022). Este concepto es relevante porque proporciona un marco estructurado para la gestión adecuada de residuos en laboratorios.

El riesgo ambiental se define como la probabilidad de que una actividad genere un impacto negativo en el medio ambiente o en la salud humana (Canter, 1998). En laboratorios, este riesgo está asociado al manejo inadecuado de residuos peligrosos, lo que puede derivar en accidentes, contaminación o exposición a sustancias tóxicas.

La evaluación de impacto ambiental es un proceso que permite identificar, predecir y valorar los efectos que una actividad puede generar sobre el medio ambiente (Conesa, 2010; Glasson et al., 2013). Este concepto es importante para analizar la severidad de los impactos derivados del manejo de residuos en el laboratorio.

La Ingeniería Industrial es la disciplina encargada del diseño, mejora e implementación de sistemas integrados por personas, materiales y equipos, con el objetivo de optimizar procesos y recursos (Niebel & Freivalds, 2014; Salvendy, 2001). En este estudio, permite aplicar herramientas para mejorar la gestión de residuos y el cumplimiento normativo.

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una herramienta sistemática utilizada para identificar, evaluar y priorizar riesgos en procesos mediante el análisis de la severidad, ocurrencia y detección de fallas (AIAG & VDA, 2019; Stamatis, 2003). Su aplicación permite anticipar fallas en el manejo de residuos y establecer acciones preventivas.

La mejora continua es un enfoque sistemático orientado a optimizar procesos y resultados mediante la implementación de cambios progresivos (Deming, 1986). En el contexto de la gestión de residuos, implica la adopción de estrategias que reduzcan impactos ambientales y mejoren el cumplimiento normativo.

1.2 Planteamiento del problema

La gestión de residuos peligrosos y no peligrosos representa un desafío relevante en laboratorios de análisis de combustibles, debido al uso de reactivos químicos, solventes y muestras de hidrocarburos que generan residuos con potencial impacto ambiental y riesgo para la salud. En el laboratorio de AmSpec Group, estas actividades producen aproximadamente 1,000 litros de residuos de combustibles en un periodo semestral, además de otros materiales contaminados que requieren un manejo conforme a la normatividad vigente.

A nivel nacional, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales reporta que en México se generan más de 120 mil toneladas de residuos peligrosos anualmente, de los cuales una proporción significativa no es gestionada adecuadamente, lo que incrementa los riesgos de contaminación ambiental y afectaciones a la salud pública (SEMARNAT, 2020).

En el contexto de laboratorios, se han identificado deficiencias recurrentes en la segregación, almacenamiento y manejo de residuos, así como limitaciones en el conocimiento y aplicación de la normatividad ambiental (Vargas-Restrepo et al., 2021). Esta problemática se agrava cuando no se cuenta con herramientas sistemáticas para evaluar el cumplimiento normativo, situación que puede derivar en inconsistencias operativas y posibles sanciones por parte de organismos reguladores como la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente.

En este sentido, se ha detectado que en el laboratorio de AmSpec Group existe una falta de consolidación y actualización en el conocimiento de la normatividad aplicable, tanto nacional como internacional, lo que limita la adecuada gestión de residuos y la identificación de riesgos asociados.

Por lo tanto, surge la necesidad de analizar la normatividad vigente y evaluar el grado de cumplimiento en la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos, con el fin de identificar brechas y establecer estrategias que fortalezcan el desempeño ambiental y normativo del laboratorio.

1.3 Justificación

La gestión de residuos peligrosos y no peligrosos es un aspecto fundamental en los laboratorios de análisis de combustibles, debido a los riesgos ambientales, operativos y de salud asociados a su manejo. En el laboratorio de AmSpec Group, la generación constante de residuos derivados de sus procesos hace necesario asegurar su correcta gestión conforme a la normatividad vigente.

La presente investigación se justifica en la necesidad de identificar y analizar dicha normatividad, con el fin de evaluar el nivel de cumplimiento y detectar posibles áreas de mejora. La falta de actualización y consolidación en el conocimiento normativo puede derivar en incumplimientos legales, riesgos operativos y afectaciones al entorno ambiental.

Asimismo, este estudio aporta un diagnóstico técnico basado en herramientas de Ingeniería Industrial, lo que permite fortalecer la gestión integral de residuos y apoyar la toma de decisiones dentro del laboratorio. De esta manera, la investigación contribuye a mejorar el desempeño ambiental, el cumplimiento regulatorio y la seguridad en las operaciones.

1.4 Pregunta de investigación

¿Cuál es el grado de cumplimiento de la normatividad aplicable en la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos en el laboratorio de AmSpec y qué acciones pueden implementarse para mejorar su desempeño?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Incrementar el porcentaje de cumplimiento normativo en el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos con base en un análisis de modo y efecto de fallo.

1.5.2 Objetivos específicos

- Describir las actividades que comprenden el manejo de residuos (peligrosos y no peligrosos).
- Identificar las no conformidades ocurridas en el manejo de residuos y efecto que producen.
- Analizar a raíz las causas que originan no conformidades y los controles actuales de detección.
- Determinar el nivel de riesgo actual para proponer procedimientos y prácticas seguras.

2. Marco teórico

El marco teórico tiene como finalidad proporcionar los fundamentos normativos, operativos y metodológicos que sustentan el análisis desarrollado en el presente proyecto. De esta manera, constituye la base conceptual necesaria para comprender los elementos utilizados en la evaluación de la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos dentro del laboratorio de calidad de AmSpec Group en México (Hernández-Sampieri et al., 2018).

Asimismo, permite reconocer la importancia de la aplicación de herramientas propias de la Ingeniería Industrial e indicadores de gestión integral, los cuales facilitan el diagnóstico, la evaluación del cumplimiento y la formulación de propuestas de mejora en la gestión integral de los residuos (García et al., 2021).

2.1 Ingeniería Industrial aplicada a la gestión de residuos

La ingeniería es la aplicación de conocimientos científicos orientados al diseño, mejora e implementación de sistemas con el objetivo de optimizar procesos y mejorar el desempeño organizacional (Meza, 2015; Niebel & Freivalds, 2014).

La Ingeniería Industrial abarca el diseño, mejora e instalación de sistemas integrados por personas, materiales y equipos, permitiendo optimizar recursos y procesos productivos (Salvendy, 2001). En el contexto de la gestión de residuos, esta disciplina contribuye a mejorar la eficiencia operativa, reducir riesgos y asegurar el cumplimiento normativo (Tchobanoglous et al., 1993).

Asimismo, la gestión de residuos se define como el conjunto de actividades que incluyen la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos generados por actividades humanas o industriales (Kaza et al., 2018).

2.2 Marco normativo ambiental en México

2.2.1 Legislación ambiental

El marco normativo mexicano en materia de residuos se sustenta en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la cual establece las bases para la gestión integral de los residuos peligrosos y no peligrosos, así como las responsabilidades de los generadores (SEMARNAT, 2003).

Asimismo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece principios fundamentales para la protección ambiental y el control de la contaminación (DOF, 1988).

Estas leyes obligan a los generadores a identificar, clasificar, registrar y disponer adecuadamente sus residuos, promoviendo la prevención y minimización de impactos ambientales (SEMARNAT, 2003; Cortinas, 2000).

2.1.2 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Las Normas Oficiales Mexicanas constituyen instrumentos técnicos obligatorios que regulan el manejo de residuos. Entre las principales destacan:

- NOM-052-SEMARNAT-2005
- NOM-053-SEMARNAT-1993
- NOM-054-SEMARNAT-1993
- NOM-161-SEMARNAT-2011

Estas normas establecen criterios técnicos para la identificación, análisis y manejo seguro de residuos peligrosos, garantizando la protección ambiental (SEMARNAT, 2005; INECC, 2012).

2.3 Sistemas de gestión ambiental y calidad en laboratorios

Los sistemas de gestión permiten a los laboratorios estructurar sus procesos para cumplir con la normativa y mejorar su desempeño ambiental (ISO, 2015).

La norma ISO 14001 establece lineamientos para la identificación de aspectos ambientales, el control de impactos y la mejora continua (Medina et al., 2022; ISO, 2015).

Por su parte, la ISO/IEC 17025 establece requisitos para garantizar la competencia técnica de los laboratorios, incluyendo el control de condiciones ambientales y la confiabilidad de los resultados (ISO, 2017; Ellison & Williams, 2012).

2.4 Generación de residuos en laboratorios de análisis de combustibles

Los laboratorios de análisis de combustibles generan residuos derivados de procesos como cromatografía, destilación y análisis fisicoquímicos (Skoog et al., 2014).

Estos residuos incluyen líquidos inflamables, vapores tóxicos y materiales contaminados, los cuales requieren manejo especializado debido a sus propiedades químicas (Casco, 2015; Dean, 1998).

El manejo inadecuado de estos residuos puede generar daños ambientales y riesgos para la salud, lo que hace indispensable su control conforme a la normativa vigente (LaGrega et al., 2010). En este sentido, la implementación de prácticas adecuadas de gestión, que incluyan la identificación, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos, resulta fundamental para minimizar riesgos ambientales y sanitarios (Pichtel, 2014).

2.5 Estándares internacionales de calidad y gestión de riesgos (AIAG–VDA)

Los estándares desarrollados por la Automotive Industry Action Group y la Verband der Automobilindustrie han establecido metodologías para la gestión de calidad y análisis de riesgos, destacando el AMEF (FMEA) como herramienta clave para la identificación de fallas (AIAG & VDA, 2019).

La armonización de estos estándares dio origen al enfoque AIAG-VDA, el cual permite unificar criterios para la evaluación de riesgos, facilitando la prevención de fallas y la mejora continua en procesos industriales (Stamatis, 2003).

En laboratorios, el AMEF permite identificar riesgos asociados al manejo de residuos, priorizando acciones preventivas (Carlson, 2012). El Número de Prioridad de Riesgo (NPR), conocido en inglés como *Risk Priority Number (RPN)*, es un indicador utilizado en el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) para priorizar los riesgos asociados a posibles fallas en un proceso o sistema. Este valor se obtiene a partir del producto de tres factores: severidad (S), ocurrencia (O) y detección (D), cada uno evaluado generalmente en una escala del 1 al 10 (Automotive Industry Action Group & Verband der Automobilindustrie, 2019).

El NPR se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

Donde:

- **Severidad (S):** mide la gravedad del impacto de la falla
- **Ocurrencia (O):** evalúa la frecuencia de aparición de la falla
- **Detección (D):** determina la capacidad de detectar la falla antes de que ocurra el efecto.

El resultado del NPR puede variar en un rango de **1 a 1000**, lo que permite clasificar y priorizar los riesgos según su nivel de criticidad (Stamatis, 2003). En la práctica industrial, particularmente bajo el enfoque armonizado AIAG-VDA FMEA, no se establece un valor único universal de aceptación del NPR; sin embargo, se utilizan criterios de referencia para la toma de decisiones. De manera general:

- **NPR < 40:** Riesgo bajo (aceptable, controlado)
- **NPR entre 40 y 100:** Riesgo medio (requiere seguimiento)
- **NPR > 100:** Riesgo alto (requiere acción correctiva inmediata)

Es importante señalar que, en la metodología más reciente de AIAG-VDA (2019), el NPR ha sido complementado —y en algunos casos sustituido— por el enfoque de **Action Priority (AP)**, el cual prioriza las acciones en función de combinaciones específicas de severidad, ocurrencia y detección, mejorando la toma de decisiones frente a los riesgos (AIAG & VDA, 2019).

Por lo tanto, el NPR sigue siendo una herramienta ampliamente utilizada en la industria para la evaluación inicial de riesgos; sin embargo, su interpretación debe complementarse con criterios técnicos, normativos y de impacto operativo para una gestión más efectiva.

2.6 Evaluación de la severidad del impacto ambiental

La evaluación de la severidad permite determinar la magnitud del impacto ambiental generado por las actividades de laboratorio. Esta evaluación considera factores como extensión, reversibilidad, irreversibilidad, persistencia y recuperabilidad (Conesa, 2010).

Estos criterios permiten clasificar los impactos y priorizar acciones de control ambiental, facilitando la toma de decisiones en la gestión de residuos (Canter, 1998; Glasson et al., 2013).

2.7 Evaluación del cumplimiento normativo

La evaluación del cumplimiento normativo permite identificar el grado en que un laboratorio cumple con la legislación vigente (Gunningham & Sinclair, 2002).

En este contexto, la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente regula las actividades del sector hidrocarburos en materia ambiental y de seguridad (ASEA, 2020).

La aplicación de instrumentos de evaluación puede evidenciar incumplimientos en áreas como impacto ambiental, salud humana e infraestructura, lo que requiere la implementación de acciones correctivas (Blackman, 2010).

2.8 Herramientas de Ingeniería Industrial aplicadas en el proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se emplean diversas herramientas de Ingeniería Industrial que permiten analizar, evaluar y mejorar la gestión de residuos:

- Checklist normativo
- Matriz de requisitos legales
- Matriz de riesgos
- Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF)
- Benchmarking

Estas herramientas permiten identificar brechas, evaluar riesgos y proponer mejoras en la gestión integral de residuos (Montgomery, 2013; Stamatis, 2003).

2.9 Benchmarking en la gestión de residuos

El benchmarking es una herramienta que permite comparar prácticas organizacionales con estándares de excelencia para identificar oportunidades de mejora (Camp, 1989).

En la gestión de residuos, esta herramienta facilita la adopción de mejores prácticas, optimizando procesos y fortaleciendo el cumplimiento normativo (Spendolini, 1992; Watson, 1993)

2.10 Mejora continua en la gestión de residuos

La mejora continua es un principio fundamental en los sistemas de gestión ambiental. En el contexto de los residuos, implica la implementación de estrategias como minimización en la fuente, reutilización, reciclaje, sustitución de sustancias peligrosas y capacitación del personal (Deming, 1986; Rodríguez, 2024).

Estas acciones permiten reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia operativa del laboratorio (ISO, 2015; Kaza et al., 2018).

3. Estado del arte

Diversas investigaciones han analizado la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos en contextos industriales, institucionales y urbanos, evidenciando la necesidad de implementar sistemas integrales que permitan minimizar impactos ambientales y cumplir con la normativa vigente. En este sentido, Reséndiz Chávez (2015) propuso un sistema de manejo de residuos peligrosos en la industria química basado en la identificación, clasificación y tratamiento de los residuos generados durante los procesos productivos.

De manera similar, Mariscal Vélez (2016) analizó la gestión de residuos peligrosos en la industria maquiladora desde una perspectiva de gobernanza ambiental, destacando la importancia del fortalecimiento institucional y regulatorio.

A nivel internacional, Kaza et al. (2018) desarrollaron un análisis global sobre la gestión de residuos sólidos, destacando que el manejo inadecuado de residuos peligrosos representa un riesgo creciente en países en desarrollo. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>

En investigaciones recientes, Pichtel (2014) señala que los residuos peligrosos requieren tratamientos especializados para evitar contaminación ambiental. <https://doi.org/10.1201/b17052>

Asimismo, Skoog et al. (2014) destacan que los procesos analíticos generan residuos químicos que requieren control estricto.

De igual forma, Vargas-Restrepo et al. (2021) concluyen que la falta de segregación adecuada incrementa los riesgos ambientales.

Otros estudios relevantes incluyen:

- Guerrero et al. (2013) analizaron la gestión de residuos sólidos en países en desarrollo. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Wilson et al. (2015) evaluaron sistemas globales de gestión de residuos. <https://doi.org/10.1177/0734242X14568404>
- Zorpas et al. (2017) estudiaron estrategias de gestión sostenible. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.163>
- Ferronato & Torretta (2019) analizaron los desafíos globales en residuos. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Abdoli et al. (2011) evaluaron residuos peligrosos industriales. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.062>

De acuerdo con Zhang et al. (2010), la gestión adecuada de residuos peligrosos en entornos industriales requiere la implementación de sistemas integrales que incluyan control en la generación, almacenamiento y disposición final, con el fin de reducir riesgos ambientales y mejorar la eficiencia operativa. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.072>

En México, Martínez Velázquez (2024) identificó deficiencias en el conocimiento sobre la NOM087-SEMARNAT-SSA1-2002, evidenciando malas prácticas como la mezcla de residuos peligrosos con urbanos.

En el ámbito académico, Cruz Vázquez et al. (2024) diseñaron un plan de manejo de residuos peligrosos para laboratorios de la Universidad Veracruzana, identificando volúmenes anuales y proponiendo estrategias de segregación y almacenamiento

Asimismo, Huatuco Lozano et al. (2025) realizaron un diagnóstico en laboratorios universitarios de Perú, identificando deficiencias críticas en la segregación, almacenamiento y disposición final, lo que evidencia la necesidad de capacitación y mejora de infraestructura.

Asimismo, According to Velázquez et al. (2020), en los laboratorios de análisis químico, la correcta segregación y almacenamiento de residuos es un factor crítico para prevenir riesgos ocupacionales y ambientales, destacando la necesidad de capacitación continua del personal.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120381>

De manera complementaria, Quispe Pilco (2020) determinó un nivel muy deficiente en el manejo de residuos peligrosos en un laboratorio universitario, proponiendo un modelo de gestión integral.

En el caso de laboratorios como AmSpec Group, la generación de residuos químicos representa un riesgo ambiental si no se gestiona adecuadamente (Huatuco et al., 2025). En conjunto, estos estudios evidencian la necesidad de fortalecer la gestión de residuos mediante herramientas de ingeniería, cumplimiento normativo y mejora continua.

Tabla 1. Comparativa de investigaciones

Autor – Año	Objetivo	Metodología	Resultados
Reséndiz Chávez (2015)	Proponer sistema de manejo de RP	Análisis documental	Mejora en clasificación y tratamiento
Mariscal Vélez (2016)	Evaluar gestión en maquiladora	Estudio de caso	Necesidad de regulación
Cruz Vázquez et al. (2024)	Plan de manejo UV	Diagnóstico + propuesta	Estrategias de segregación
Huatuco et al. (2025)	Diagnóstico en laboratorios	Evaluación de campo	Deficiencias críticas
Quispe Pilco (2020)	Evaluar manejo de RP	Diagnóstico	Nivel muy deficiente
Kaza et al. (2018)	Análisis global residuos	Estudio estadístico	Problema creciente global
Pichtel (2014)	Manejo de residuos	Revisión técnica	Tratamiento especializado
Guerrero et al. (2013)	Gestión en países en desarrollo	Revisión	Falta de infraestructura
Wilson et al. (2015)	Sistemas globales	Comparativo	Mejores prácticas
Zorpas et al. (2017)	Gestión sostenible	Análisis ambiental	Estrategias sostenibles
Ferronato (2019)	Problemas globales	Revisión	Retos en países en desarrollo

Abdoli (2011)	Residuos peligrosos	Evaluación	Impacto ambiental alto
Vargas et al. (2021)	Gestión en instituciones	Estudio aplicado	Deficiencias en segregación
Martínez (2024)	Evaluar conocimiento NOM	Encuestas	Bajo conocimiento

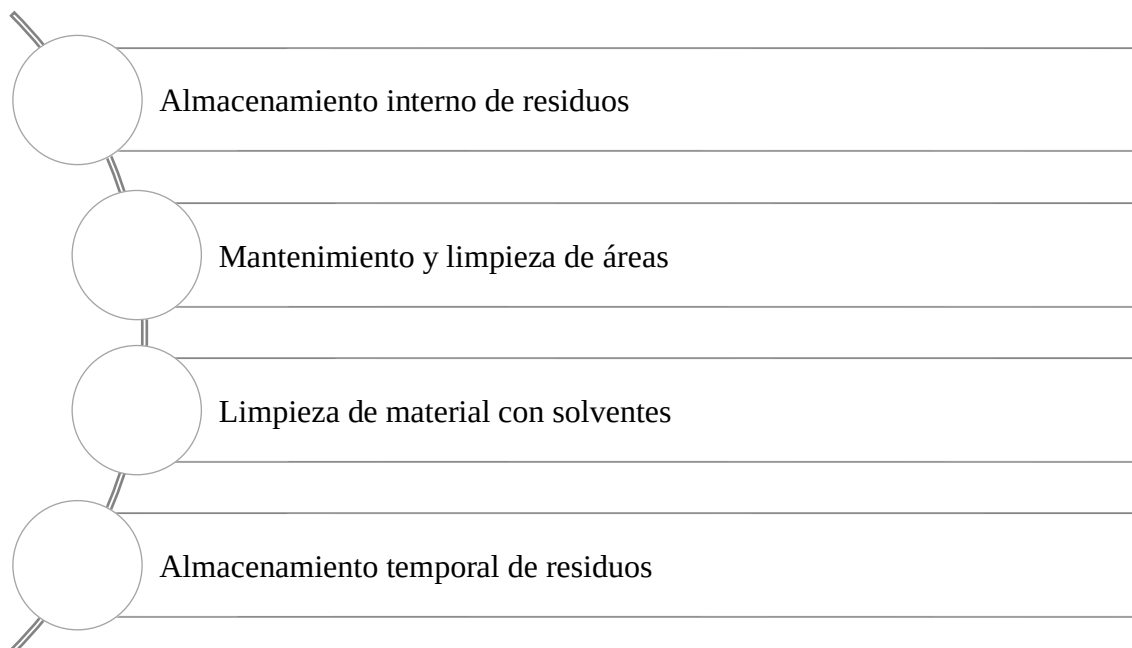
4. Metodología

En la presente sección se analiza la problemática mediante la aplicación de la metodología de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), la cual se estructura en cuatro fases que permiten realizar un estudio sistemático y detallado de las actividades desarrolladas en el laboratorio de calidad AMSPEC, así como de la forma en que estas se ejecutan.

Asimismo, dicha metodología se emplea con el propósito de anticipar posibles fallas que puedan interferir en el cumplimiento de la normativa vigente en materia de manejo de residuos.

Fase 1. Identificación de actividades en AMSPEC laboratorio de calidad

Ilustración 1. Listado de actividades AMSPEC



Fase 2. Identificación de no conformidades y efectos "residuos peligrosos y no peligrosos"

En el siguiente Check list se identifican las no conformidades en AmSpec con respecto a las políticas internas, procedimientos operativos y prácticas relacionadas con la gestión de los residuos peligrosos y no peligrosos. Esta identificación es primordial porque determina si las actividades relacionadas con el laboratorio se encuentran alineadas con los requerimientos establecidos por cada norma mexicana vigente.

Ilustración 2. Formato check list manejo de residuos peligrosos y no peligrosos

						
N°	Pregunta	CUMPLE			Evidencia	Referencia Legal
		Si	Parcial	No		
1	¿El personal clasifica correctamente los residuos peligrosos según las características CRETIB?	✓				NOM-052SEMARNAT-2005
2	¿Los contenedores de residuos cuentan con etiquetas visibles y legibles?	✓				NOM-052SEMARNAT-2005
3	¿Se evita mezclar residuos incompatibles como son los solventes, combustibles, trapos, etc.?	✓				NOM-052SEMARNAT-2005

4	¿Se revisan periódicamente los resultados de caracterización para actualizar la clasificación de residuos?	✓				NOM-053SEMARNAT-1993
5	¿El laboratorio cuenta con áreas diferenciadas para residuos peligrosos?	✓				NOM-054-SEMARNAT-1993
6	¿Los residuos peligrosos y no peligros se almacenan en sitios autorizados?	✓				NOM-083-SEMARNAT -2003
7	¿Los residuos biológico-infecciosos se separan en recipientes rojos rígidos según la norma?	✓				NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002
8	¿El almacenamiento temporal cumple con las condiciones de tiempo, temperatura y señalización exigidas?	✓				NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002
9	¿Se cuenta con EPP (guantes, mascarilla, bata, etc.) para su manipulación?	✓				NOM-087-SEMARNAT-2002
10	¿Se entregan los residuos peligrosos a empresas autorizadas?	✓				Disposiciones administrativas del sector hidrocarburos (2018)
11	¿Se lleva un registro de la entrega de residuos a empresas autorizadas?		✓			Disposiciones administrativas del sector hidrocarburos (2018)

12	¿Se revisa periódicamente el cumplimiento ambiental conforme a la ASEA?			✓		NOM-001-ASEA-2019
13	¿El laboratorio conserva registros del manejo de residuos como parte del sistema de calidad?			✓		ISO/IEC 17025:2017

Fuente de elaboración: propia

La aplicación del instrumento de evaluación anterior señala incumplimiento ambiental administrativo de acuerdo a la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA), así mismo ante la (ISO/IEC 17025:2017) esta norma exige que dichos laboratorios prioricen las buenas prácticas de calidad y desarrollen un sistema de gestión de la calidad fiable para establecer y demostrar su competencia.

En consecuencia, las no conformidades señaladas generan un efecto negativo de carácter técnico que puede ser clasificado en una escala numérica oficial estandarizada, generalmente del 1 al 10 de acuerdo con escalas oficiales basadas en los estándares de la industria como AIAG o AIAGVDA. (Ver tabulador 2)

Tabla 2. Severidad en actividades AMSPEC

Actividad	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Severidad
Almacenamiento interno de residuos	Fuga o derrame de solventes o residuos líquidos por algún contenedor dañado, algún sobrellenado o contenedor no apto.	Contaminación del suelo y agua, riesgo a la salud del personal, sanciones legales o posible Clausura (Incumplimiento LGPGIR / NOM-052)	10
Mantenimiento y limpieza de áreas	Riesgo de incendio accidental o explosión por acumulación de trapos contaminados (Hidrocarburos) cerca de fuentes de calor.	Riesgo en el ambiente y al personal, Incendios catastrófico o exposición a gases, pérdida de instalaciones	9
Limpieza de material con solventes	Exposición por inhalación o contacto con solventes a la hora de la limpieza del material.	Daño a la salud como son las enfermedades ocupacionales a largo plazo (daño dérmico/respiratorio), riesgo de incendio, riesgo químico.	8
Almacenamiento temporal de residuos	Saturación del área (Acumulación excesiva en área de residuos).	Riesgo de incendio; Incumplimiento del plazo legal de almacenamiento Art. 52 LGPGIR; sanciones.	4

Se observa que la actividad que implica daño mayor es el almacenamiento interno de residuos considerando principalmente el área afectada, la irreversibilidad y recuperabilidad del suelo, agua; así como los riesgos a la salud del personal, sanciones legales o posible Clausura (Incumplimiento LGPGIR / NOM-052)

Fase 3. Análisis de las causas potenciales de fallo y controles actuales de detección

La causa de fallo o inconformidad puede ser una o más de una en cada caso, en este análisis se aprecian dos actividades en las que frecuentemente ocurren fallos en las operaciones que se mencionan. (Ver tabulador 3)

Tabla 3. Ocurrencia en actividades AMSPEC

Actividad	Tipo	Causas potenciales de fallo	Ocurrencia
Almacenamiento interno de residuos	Ambiental, Seguridad, Normativo (ALTO)	Contar con contenedores en mal estado ya sea deteriorados o genéricos, mal cerrado o sobrellenado, contenedores viejos falta de inspección formal y chequeo de llenado al 80%.	5
Mantenimiento y limpieza de áreas	Ambiental, Seguridad (ALTO)	1.-Acumulación excesiva, falta de revisión y falta de recolección frecuente. 2.- Mal almacenamiento por uso de contenedores inadecuados, sin tapa o no certificados (incumplimiento NOM-054).	5
Limpieza de material con solventes	Salud del personal (MEDIO)	1.-Uso incorrecto o nulo de EPP 2.-Falta de capacitación 3.- Ventilación deficiente. 4.-Mala manipulación.	4
Almacenamiento temporal de residuos	Ambiental, seguridad (MEDIO)	1.-Falta de control y monitoreo 2.-Retraso del proveedor de recolección 3.-Ausencia de algún registro	4

Es importante mencionar que estos tabuladores han sido documentados a partir de un marco legal aplicable en este contexto, estructurados conforme a la metodología AMEF e información recabada en la realización del presente trabajo académico. Sin embargo, este análisis se amplía a manera de conocer la eficiencia de las medidas de detección empleadas en el laboratorio.

Tabla 4. Eficiencia en las medidas de detección AMSPEC.

Actividad	Tipo	Controles	Ocurrencia
Almacenamiento interno de residuos	Ambiental, Seguridad, Normativo (ALTO)	Revisión constantemente para verificar el hallazgo de fugas, sustituir contenedores dañados, revisión visual no documentada.	5
Mantenimiento y limpieza de áreas	Ambiental, Seguridad (ALTO)	Supervisión semanal, Mantener trapos en contenedor exclusivos. Evitar acumulación. Recolección frecuente. Recolección irregular; contenedor plástico.	5
Limpieza de material con solventes	Salud del personal (MEDIO)	Utilizar EPP adecuadamente. Capacitar general al personal.	4
Almacenamiento temporal de residuos	Ambiental, seguridad (MEDIO)	Supervisar y verificar frecuente-mente el llenado, no sobrellenar.	4

Finalmente, la metodología AMEF indica que se debe determinar el nivel prioritario de riesgo y proponer acciones que contribuyan a mitigar o remediar los daños ocasionados.

Fase 4. Nivel de riesgo y acciones de mejora en el AMEF

El nivel de riesgo señala la probabilidad de que las acciones actuales causen un daño futuro que puede afectar no solamente al ambiente, si no también impactar en la salud humana y entorno material. El objetivo es que las acciones de mejora propuestas se apeguen a las exigencias legales aplicables a laboratorios de la misma naturaleza.

Ilustración 3. Análisis de modo y efecto de fallo AMEF

Actividad	Modo de fallo	Efecto potencial de fallo	Severidad	Tipo	Ocurrencia	Detección	NPR	Acciones recomendadas
Almacenamiento interno de residuos	Fuga o derrame de solventes o residuos líquidos por algún contenedor dañado, algún sobrellenado o contenedor no apto	Contaminación del suelo y agua, riesgo a la salud del personal, sanciones legales o posible Clausura (Incumplimiento LGPGIR / NOM-052)	10	Ambiental, Seguridad, Normativo (ALTO)	5	5	250	Sustituir envases dañados, capacitar al personal.
Mantenimiento y limpieza de áreas	Riesgo de incendio accidental o explosión por acumulación de trapos contaminados (Hidrocarburos) cerca de fuentes de calor	Riesgo en el ambiente y al personal, Incendios catastrófico o exposición a gases, pérdida de instalaciones	9	Ambiental, Seguridad (ALTO)	5	5	225	Implementar contenedor metálico destinados para el material de limpieza como son trapos contaminados, programa de recolección diaria.
Limpieza de material con solventes	Exposición por inhalación o contacto con solventes a la hora de la limpieza del material.	Daño a la salud como son las enfermedades ocupacionales a largo plazo (daño dérmico/respiratorio), riesgo de incendio, riesgo químico.	8	Salud del personal (MEDIO)	4	4	128	Reforzar las capacitaciones sobre el uso obligatorio y correcto de EPP por tipo de solvente, colocar check-list sobre el EPP en el punto de trabajo, señalización de riesgos químicos.
Almacenamiento temporal de residuos	Saturación del área (Acumulación excesiva en área de residuos).	Riesgo de incendio; Incumplimiento del plazo legal de almacenamiento Art. 52 LGPGIR; sanciones.	4	Ambiental, seguridad (MEDIO)	4	4	64	Implementar algún registro semanal del % de llenado con un límite máximo 80%. Programar recolecciones para asegurar que el área no exceda el 80% de su capacidad.

El análisis AMEF permitió identificar que los riesgos de mayor prioridad corresponden a las fugas o derrames de solventes y a la posibilidad de incendios o explosión por la acumulación de trapos contaminados, ambos con números de prioridad de riesgo (NPR) elevados. Estos modos de falla representan **riesgos ambientales**, de **seguridad** y de **cumplimiento normativo**, pudiendo generar sanciones o impactos graves en la operación del laboratorio.

Tabla 5. Clasificación del nivel prioritario de riesgo NPR

Rango de NPR	Nivel de riesgo	Descripción	Acción recomendada
1 – 39	Bajo	Riesgo mínimo o controlado	No requiere acción inmediata, mantener controles
40 – 99	Medio	Riesgo moderado	Requiere seguimiento y posible mejora
100 – 199	Alto	Riesgo significativo	Implementar acciones correctivas
≥ 200	Crítico	Riesgo inaceptable	Acción inmediata y prioritaria

El NPR permite clasificar los riesgos en diferentes niveles de prioridad, facilitando la toma de decisiones para la implementación de acciones preventivas o correctivas. Aunque los estándares como AIAG-VDA FMEA no establecen valores rígidos universales, en la práctica industrial se utilizan rangos de referencia ampliamente aceptados para la interpretación del NPR (Stamatis, 2003; Carlson, 2012).

5. Análisis y discusión de resultados

El análisis y la discusión de resultados se fundamentan en la aplicación de la metodología AMEF. En una primera etapa, se identificaron las principales actividades relacionadas con el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos. Posteriormente, al evaluar el cumplimiento normativo, se observó que los resultados no fueron óptimos.

No obstante, el análisis de un escenario proyectado indica que dicho cumplimiento puede incrementarse de manera considerable mediante el cierre de brechas, lo que permitiría alcanzar un nivel óptimo.

Tabla 6. Cumplimiento actual /proyectado

Norma	Total	Si Cumple	Cumple Parcial	No Cumple	Cumplimiento	
					Actual	Proyectado
NOM-052-SEMARNAT-2005	3	3			100%	100%
NOM-053-SEMARNAT-1993	1	1			100%	100%
NOM-054-SEMARNAT-1993	1	1			100%	100%
NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002	3	3			100%	100%
NOM-083-SEMARNAT-2003.	1	1			100%	100%
Disposiciones Administrativas de Carácter General para la gestión integral de los residuos de manejo especial del sector hidrocarburos (2018).	2	1	0.8		90%	95%
NOM-001-ASEA-2019	1			0	0%	95%
ISO/IEC 17025:2017	1			0	0%	95%
	13				73.75%	98.13%

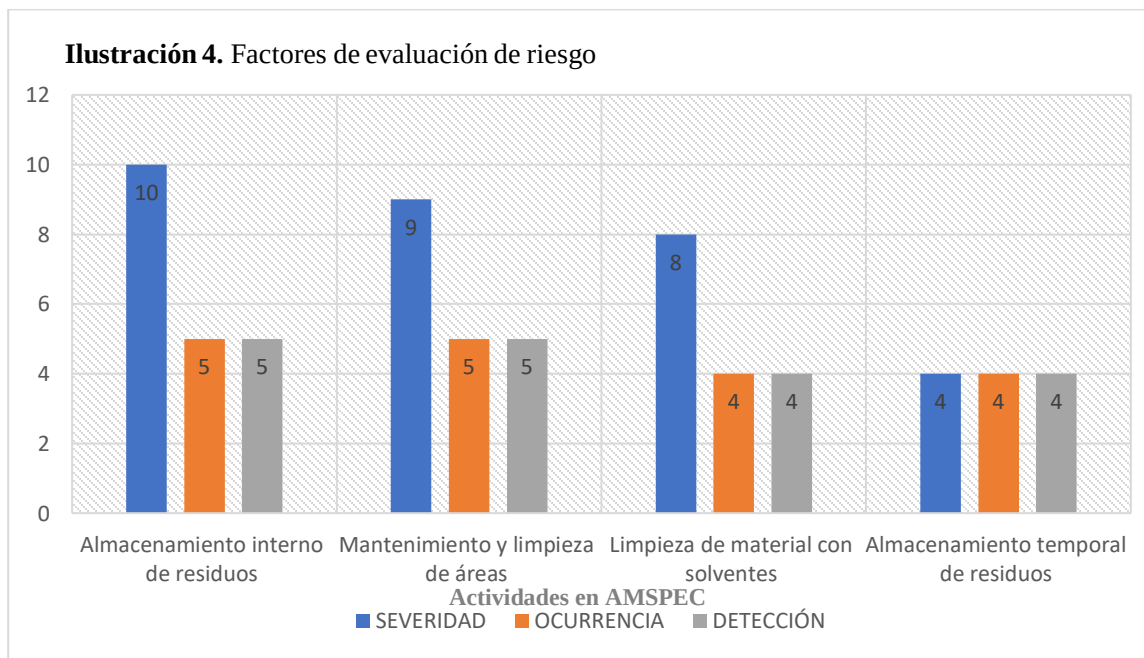
Actualmente el cumplimiento de laboratorio AMSPEC es medio (ver tabla 6) con una oportunidad de mejora significativo.

Tabla 7. Rangos de cumplimiento normativo

Rango	Nivel de cumplimiento	Interpretación
90 – 100 %	Alto	Cumplimiento óptimo
70 – 89 %	Medio	Cumplimiento aceptable con brechas menores
50 – 69 %	Bajo	Cumplimiento parcial, requiere mejoras
< 50 %	Crítico	Riesgo ambiental o incumplimiento legal

El gráfico1 permite identificar y priorizar los riesgos más críticos, considerando su severidad, ocurrencia y capacidad de detección, lo que facilita enfocar de manera eficiente los recursos de la empresa. Asimismo, para lograr una medición más integral, se recomienda que en trabajos futuros se implemente un tablero de control con diversos KPI alineados a diferentes normas:

- **Calidad (ISO 9001)**
- **Ambiental (ISO 14001)**
- **Seguridad y Salud (ISO 45001)**



Con base en los resultados del Nivel de Prioridad de Riesgo (NPR) obtenidos en el AMEF y presentados en la Ilustración 2, se definieron e implementaron medidas de atención inmediata, entre las cuales destacan:

- La sustitución de contenedores deteriorados.
- Eliminación de la acumulación de trapos contaminados.
- Mejorar la ventilación y uso de EPP.
- Implementación de registros formales de llenado.

6. Conclusiones

En esta investigación se evaluó la situación actual del laboratorio en materia de gestión y control de residuos generados durante el análisis y muestreo de combustibles, obteniendo un nivel de cumplimiento del 73.75%, lo que lo posiciona en un rango medio. Este resultado evidencia que existen prácticas adecuadas en el manejo básico de residuos; sin embargo, se identificaron brechas relevantes en trazabilidad, control documental e integración al sistema de calidad.

El análisis normativo permitió reconocer fortalezas en el cumplimiento de normas ambientales clave, lo que garantiza condiciones operativas y de seguridad aceptables. No obstante, se detectaron incumplimientos en disposiciones regulatorias y en la ISO/IEC 17025:2017, principalmente asociados a la falta de registros formales y evidencia documental continua.

A través de la metodología AMEF, se identificaron como riesgos críticos los derrames de solventes y la acumulación de materiales contaminados con hidrocarburos, los cuales representan impactos significativos en materia ambiental, de seguridad y cumplimiento normativo.

Derivado de estos hallazgos, se propusieron acciones de mejora enfocadas en cuatro ejes: fortalecimiento de la infraestructura y seguridad, implementación de un control documental robusto, capacitación del personal y optimización de la gestión con proveedores. Estas acciones están orientadas a cerrar brechas y elevar el nivel de cumplimiento normativo.

Finalmente, se concluye que se cumplió el objetivo general de la investigación y se responde la pregunta de investigación planteada, demostrando que la implementación de un sistema de gestión integral basado en la priorización de riesgos permite mejorar significativamente el cumplimiento en el manejo de residuos.

Recomendaciones

Con los resultados obtenidos dentro de este proyecto se pueden dar diversas recomendaciones como son las siguientes:

- Diseñar e implementar un sistema que sea de manera formal para el control documental y trazabilidad, que sea alineado a los diferentes requisitos de la ISO/IEC 17025:2017 y a la Disposiciones Administrativas del Sector Hidrocarburos.
- Sustituir contenedores dañados y utilizar envases certificados para residuos peligrosos.
- Utilizar contenedores metálicos con tapa para el almacenamiento de trapos contaminados, reduciendo así el riesgo de incendio.
- Establecer registros periódicos del porcentaje de llenado del área de almacenamiento temporal y programar recolecciones preventivas.
- Estandarizar el etiquetado de residuos conforme al Sistema Globalmente Armonizado (GHS).
- Realizar capacitaciones continuas al personal sobre manejo de residuos, uso de EPP y prevención de riesgos.

Al utilizar estas recomendaciones contribuirá al fortalecimiento del cumplimiento normativo, así como también reducir los riesgos operativos y mejorar la seguridad de igual forma la confiabilidad de los procesos del laboratorio.

Anexos

Anexo 1. Formato de evaluación de riesgo.

							Identificación:		FG-036		
									Revisión:		9
									Inicio de vigencia:		26/11/2024
Centro de trabajo:			Tuxpan		Departamento de calidad						
Fecha de elaboración:			08/11/2025		Procedimiento						
Fecha de actualización:											
IDENTIFICACION				EVALUACIÓN DEL RIESGO				TRATAMIENTO DEL RIESGO			
Supervisor de riesgo	Fuente/ Proceso	Etapa critica	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel de riesgo	Clasificación del riesgo	Decisión	Controles		
Responsable de Seguridad	Almacenamiento temporal de residuos	Inspección y resguardo de contenedores	Fuga o derrame solventes y residuos líquidos por algún contenedor dañado.	2	5	10	ALTO	Modificar el riesgo	Sustituir contenedores dañados, revisar constantemente para verificar que no haya alguna fuga o derrame.		
Personal de laboratorio (Analistas)	Limpieza de material con solventes adecuados	Lavado de material contaminado	Inhalación o contacto con diversas sustancias químicas	2	4	8	MEDIO	Modificar el riesgo	Utilizar el EPP adecuadamente, capacitar al personal para el mejor manejo de los materiales contaminados		
Responsable de residuos	Traslado interno de residuos peligrosos	Transporte hacia almacenamiento temporal	Derrame de residuos durante el traslado interno (almacén temporal)	2	4	8	MEDIO	Modificar el riesgo	Transportar contenedores debidamente sellados por zonas señalizadas		
Encargado del área administrativa	Registro y etiquetado de los residuos generados	Identificación y control documental	Error al ser etiquetado o pérdida de trazabilidad	1	2	2	BAJO	Retener el riesgo	Implementar checklist de etiquetas, verificación de documentación		
Personal de mantenimiento	Mantenimiento y limpieza de áreas	Limpieza con trapos contaminados de hidrocarburo	Riesgo de incendio accidental o explosión	2	5	10	ALTO	Evitar el riesgo	Mantener trapos en contenedor exclusivos, evitar acumulación de ellos, recolección frecuente.		
Supervisor de calidad	Área de almacenamiento temporal	Máxima acumulación de los residuos	Incumplimiento normativo	2	4	8	MEDIO	Modificar el riesgo	Realizar auditorías internas frecuentemente		

Anexo 2. Normatividad aplicable al manejo de residuos.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)
NOM-052-SEMARNAT-2005 Establece características, procedimientos de identificación, clasificación y listados de residuos peligrosos.
NOM-053-SEMARNAT-1993 Establece procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción de residuos peligrosos, con el fin de determinar los constituyentes que los hacen tóxicos para el ambiente.
NOM-054-SEMARNAT-1993 Establece procedimientos para la determinación de la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados peligrosos según la NOM-052-ECOL-1993
NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Establece requisitos para la clasificación y manejo integral de los residuos peligrosos biológicos e infecciosos (RPBI), generados en establecimiento que presentan servicios médicos y otros establecimientos que manejan estos residuos.
NOM-083-SEMARNAT-2003. establece las especificaciones de protección ambiental para su selección, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras que complementan los sitios de destino final de residuos sólidos en México.
NOM-001-ASEA-2019 Establece criterios para la clasificación de los residuos del sector hidrocarburos, para así poder determinar cuáles de ellos requieren un plan de manejo, y define cómo deben formularse dichos planes.
Normas internacionales
La norma ISO/IEC 17025:2017 Establece los requisitos para la competencia técnica y la operación uniforme de los laboratorios de ensayo y calibración.

Anexo 3. Clasificación de residuos según su nivel de riesgo.

PELIGROSOS	NO PELIGROSOS	AMBOS
NOM-052-SEMARNAT-2005 Establece características, el procedimiento de identificación, clasificación y el listado de residuos peligrosos.	NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para su selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y diversas obras que complementan un sitio de destino final de los diferentes residuos sólidos.	NOM-001-ASEA-2019, Establece criterios para la clasificación de residuos en el sector de hidrocarburos y la determinación de los que están sujetos al plan de manejo; el enlistado de los mismos, como también los elementos para la formulación y gestión del plan de manejo de los residuos peligrosos.
NOM-053-SEMARNAT-1993 Establece procedimientos para realizar la prueba de extracción y así determinar los constituyentes que es un residuo peligroso por la toxicidad al ambiente.	Disposiciones Administrativas de Carácter General para la Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial del Sector Hidrocarburos (2018). Establece lineamientos específicos para hidrocarburos.	La norma ISO/IEC 17025:2017 Establecen requisitos generales para la competencias técnicas y operación uniforme de los laboratorios de ensayo y calibración.
NOM-054-SEMARNAT-1993 Establece los procedimientos para determinar una incompatibilidad entre residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-SEMARNAT-1993		

NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 Protección ambiental y de salud entre residuos peligrosos biológicos infecciosos, su clasificación y especificaciones de su manejo.		
--	--	--

Anexo 4. Matriz de requisitos legales.

No	Norma	Disposición que regula	Tipo de residuo aplicable	Objetivo o propósito	Obligación para la empresa
1	NOM-052-SEMARNAT-2005	La identificación, la clasificación y listado de los residuos peligrosos en México.	Peligrosos	Determina el proceso para identificar si un residuo es peligroso, en el cual se incluye la lista de residuos peligrosos y las propiedades o características que los hacen ser considerados como tales.	Realizar la identificación y clasificación conforme a las características CRETIB.
2	NOM-053-SEMARNAT-1993	La identificación de residuos peligrosos a través de la prueba de extracción para determinar su toxicidad al ambiente.	Peligrosos	Establece un procedimiento para realizar una prueba, que incluye el muestreo, la realización de extracciones y la comparación de los resultados con los niveles máximos permitidos para clasificar los residuos.	Realizar una prueba de extracción para la determinación, si un residuo es peligroso por la toxicidad hacia el ambiente, si es así, clasificarlo adecuadamente para su manejo posterior

3	NOM-054-SEMARNAT-1993	Establecer el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados peligrosos.	Peligrosos	Evitar o prevenir reacciones adversas como explosiones, incendios o emisiones tóxicas en el manejo de estos materiales peligrosos, al mezclar residuos incompatibles.	Determinar y aplicar el procedimiento de incompatibilidad entre los residuos peligrosos que genera, con el fin de prevenir los riesgos asociados a la mezcla de sustancias peligrosas.
4	NOM-087SEMARNAT-SSA1-2002	Establece las especificaciones para el manejo integral de los Residuos Peligrosos BiológicoInfecciosos, regulando su separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final en establecimientos de atención médica y bioterios.	Peligrosos	Proteger al personal, al medio ambiente y a la población de los diferentes riesgos sanitarios y ambientales asociados a estos residuos.	Determinar y documentar la incompatibilidad entre sus residuos peligrosos para prevenir reacciones adversas

5	NOM-083-SEMARNAT-2003	Se enfoca en establecer las especificaciones de protección ambiental para la selección, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y cuidado posterior de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en México	No Peligrosos	Establecer las especificaciones para una correcta selección de un sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo y clausura de los sitios de destino de los residuos y el manejo especial, con el fin de proteger el ambiente.	Cumplir con las especificaciones técnicas y ambientales, realizar estudios previos, garantizar la protección del suelo y el agua, así como el monitoreo ambiental durante la operación del sitio y su posterior cierre.
6	Disposiciones Administrativas de Carácter General para la gestión integral de los residuos de manejo especial del sector de hidrocarburos (2018).	Establecen los lineamientos para la gestión integral de estos residuos y buscan prevenir y minimizar impactos negativos en la salud y el medio ambiente.	No Peligrosos	Determinar los lineamientos y criterios para una gestión y control de residuos, incluyendo la clasificación, la determinación de un plan de manejo, y los procedimientos para su formulación y ejecución, con el fin de evitar y minimizar la contaminación ambiental.	Realizar un análisis para determinar cuáles de sus residuos son «Residuos Peligrosos», y en su caso, clasificarlos y darles el tratamiento y seguimiento que corresponda.

7	NOM-001- ASEA-2019	Supervisa el cumplimiento de esta norma para clasificar residuos de manejo especial del sector, determinar cuáles requieren un plan de manejo y establecer los lineamientos para su formulación y gestión.	Ambos	Establecer criterios para la clasificación de los residuos de hidrocarburos y así determinar los cuales requieren un plan de manejo, definir los elementos para su formulación y gestión, promoviendo la gestión integral de los residuos y la prevención de la contaminación.	Clasificar, identificar y gestionar sus residuos de manejo especial a través de un Plan de Manejo, debe incluir estrategias para minimizarlos, valorizarlos, y tratarlos para su disposición final.
8	ISO/IEC 17025:2017	Establece el seguimiento para demostrar que son técnicamente competentes y capaces de producir resultados válidos y confiables, lo que les permite ganar la confianza de sus clientes y del mercado.	Ambos	Promover una confianza dentro de la operación de los laboratorios de ensayo y calibración, demostrando su competencia para generar resultados técnicamente válidos	Requisitos para una competencia de laboratorios de ensayo y calibración. Cumplir con regulaciones específicas, facilitar el comercio internacional o si un cliente lo exige para poder garantizar la fiabilidad entre los resultados.

Anexo 5. Comparación del ANTES vs DESPUÉS de la Gestión de Residuos.

Aspecto evaluado	Situación ANTES (Diagnóstico)	Situación DESPUÉS (Escenario Proyectado)	Fuente del dato / herramienta
Riesgos ALTO identificados (AMEF)	2	0	AMEF
Riesgos MEDIO identificados (AMEF)	2	1	AMEF
NPR máximo (AMEF)	250	100	AMEF
Fugas o derrames por contenedores	Probables	Controladas	AMEF
Acumulación de trapos contaminados	Frecuente	Eliminada	AMEF
Registro y trazabilidad documental	Inexistente	Digital y estandarizada	Checklist / benchmarking
Frecuencia de recolección de residuos	Reactiva	Programada	AMEF
Capacitación en manejo de residuos	Informal	Formal y documentada	AMEF

Anexo 6. Benchmarking (Análisis Comparativo): Prácticas actuales vs. normatividad aplicable.

Norma aplicable	Requisito de la norma	Práctica actual del laboratorio	Nivel de cumplimiento	Brecha identificada
NOM-052-SEMARNAT-2005	Clasificación, etiquetado, no mezclar residuos	Clasifican correctamente sin mezclar los residuos y cuenta con etiquetas presentes	ALTO	Falta de estándares en las etiquetas y en las bitácoras visuales
NOM-053-SEMARNAT-1993	Prueba para determinar la toxicidad en el ambiente	No se realiza la prueba con frecuencia	ALTO	Falta actualización periódicamente de la caracterización de los residuos
NOM-054-SEMARNAT-1993	Determinar la incompatibilidad entre los residuos peligrosos	Se evita mezclar los residuos en contenedores aptos para su traslado	ALTO	Falta documento oficial de incompatibilidades
NOM-087-SEMARNATSSA1-2002	Manejo seguro, almacenamiento y EPP	No cuenta con condiciones de temperatura adecuadas, pero sí se utiliza adecuadamente el EPP	ALTO	Únicamente se necesitaría reforzarlo con una capacitación
NOM-083-SEMARNAT-2003	Almacenamiento adecuado y controlado	Área establecida con un registro parcial de llenado	ALTO	Control documentado adecuado
NOM-001-ASEA-2019	Entrega a empresas autorizadas y certificadas, llevar un control documental	Entrega a personal autorizado lleva registros básicos	ALTO	Mejorar trazabilidad digital
Disposiciones Administrativas del Sector Hidrocarburos (2018)	Trazabilidad completa, control documental, entrega a gestor, reportes adecuados.	El laboratorio SÍ entrega residuos a gestor, pero NO tiene registro digital completo ni reportes	BAJO	Falta trazabilidad, reportes formales, control digital y evidencias

Referencias bibliográficas

- Martínez Velázquez, Y. D. (2024). *Implementación del manejo adecuado de residuos peligrosos bajo las normas mexicanas actuales en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas campus IV, UNACH*. Tapachula: Universidad Autónoma de Chiapas. Obtenido de <https://repositorio.unach.mx/jspui/handle/123456789/4224>
- Tello Espinoza, D., Campani, D., & Rosalba Sarafian, I. (2018). *Gestión integral de residuos sólidos urbanos*. AIDIS. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/844087922/LIBROAIDIS-CAP-1>
- Criterios empleados en México para clasificar un residuo como peligroso*. (marzo de 2017). Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2017/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet10ea.html
- Cruz Vázquez, N. A., Sánchez Meza, A. L., & Fuentes Vergara, E. (2025). Diseño de Plan de Manejo de Residuos Peligrosos para la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, en Poza Rica de Hidalgo, Veracruz. 22. doi: <https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n3.209>
- DE DIPUTADOS, C. D. (30 de mayo de 2023). *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- DOF - Visor de imágenes. (s.f.). Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4795532&fecha=22/10/1993&cod_diario=206415
- Federación, D. O. (17 de febrero de 2003). *NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002*. Obtenido de Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=704675&fecha=17/02/2003
- Federación, D. O. (17 de mayo de 2018). *DISPOSICIONES administrativas de carácter general que establecen los lineamientos para la gestión integral*. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex176658.pdf>
- Federación, D. O. (16 de abril de 2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ASEA-2019*. Obtenido de SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/502872/NORMAS_OFICIALES_MEXICANAS_NOM-001-ASEA-2019.pdf
- Huatuco Lozano, M. M., Carlos Reyes, G. J., & Miranda Jara, A. s. (2025). *EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LABORATORIOS UNIVERSITARIOS*:

CASO LABORATORIO DE AGROINDUSTRIAL. *Aula virtual*, 10. doi:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17457519>

ISO/IEC 17025:2017. (noviembre de 2017). Obtenido de Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración:
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:17025:ed-3:v1:en>

MARTÍNEZ VELÁZQUEZ, Y. D. (2024). *Implementación del manejo adecuado de residuos peligrosos bajo las normas mexicanas actuales en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas campus IV, UNACH*. Tapachula: Universidad Autónoma de Chiapas. Obtenido de <https://repositorio.unach.mx/jspui/handle/123456789/4224>

Meza, F. G. (2015). *INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA INDUSTRIAL*. Fondo Editorial de la Universidad Continental. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/2e50de8b-8938-4157ab90-3e815f97f77e/content>

NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. (s.f.). Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>

Norma Oficial Mexicana NOM-054-SEMARNAT-1993. (11 de octubre de 2021). Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680165/NOM-054-SEMARNAT1993.pdf>

Oficial, D. (20 de Octubre de 2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003*. Obtenido de <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat2003.pdf>

Quispe Pilco, J. (2020). *Propuesta de un modelo de gestión para el adecuado manejo, caracterización y almacenamiento de residuos peligrosos en los laboratorios de la Universidad Nacional De Ucayali, provincia de Coronel Portillo - Ucayali, Perú, 2020*. Perú: Universidad Nacional de Ucayali, Perú.

Unión, C. d. (30 de mayo de 2023). *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>