



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Rediseño de un cuarto de fumigación en la fábrica de puro A.J Fernández basado en la ley 618 en la ciudad de Estelí durante el año 2025

Amador, B; Rodriguez, M.

Tutor(a)

MSc. Luis Enrique Saavedra Torres

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE ESTELÍ

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**Centro Universitario Regional de Estelí
CUR-ESTELÍ**

Recinto Universitario “Leonel Rugama Rugama”
Departamento ciencias tecnológicas y salud

**Rediseño de un cuarto de fumigación en la fábrica de puro
A.J Fernández basado en la ley 618 en la ciudad de Estelí
durante el año 2025**

Trabajo de investigación para optar al grado de
Ingeniería Industrial

Autores

Britany Fernanda Amador Soza
Martha Abigail Rodriguez Meza

Tutor

MSc. Luis Enrique Saavedra Torres

Noviembre, 2025



Dedicatoria

Primeramente, a Dios, por ser nuestra guía y fortaleza en cada momento de este camino.

A nuestros padres, por su amor incondicional, comprensión y sacrificios que nos han permitido alcanzar este sueño, ejemplo de perseverancia. Este logro también les pertenece.

A nuestros hermanos, por ser apoyo, compañía y motivación constante en momentos de dificultad y alegría.

A nuestros docentes que nos encaminaron y enseñaron en todo este proceso para llegar hasta aquí.

A nuestros compañeros de lucha y amigos, con quienes compartimos alegrías y esfuerzos, recordándonos que este recorrido no lo hicimos solos.

Con gratitud y humildad, nuestro más sincero agradecimiento.

Agradecimiento.

A Dios, por guiarnos con sabiduría y fortaleza en cada etapa de esta carrera.

A nuestros padres, por su amor, paciencia y sacrificio, que han sido el motor para alcanzar este logro. A nuestros hermanos, por su apoyo y compañía incondicional.

A nuestros docentes, quienes con entrega y dedicación compartieron sus conocimientos, dejando huellas imborrables en nuestra formación académica y personal.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL, ESTELÍ
“2025: Eficiencia y Calidad para seguir en victorias”
Departamento de Ciencias de la Educación y Humanidades

CARTA AVAL DEL TUTOR

Estelí, 09 de diciembre de 2025

Por medio de la presente, en calidad de tutor(a) del trabajo de modalidad de graduación titulado: **“Rediseño de un cuarto de fumigación en la fábrica de puros A.J Fernández basado en la ley 618 en la ciudad de Estelí, durante el año 2025.”**, elaborado por las estudiantes:

Britany Fernanda Amador Soza,

21504890

Martha Abigail Rodriguez Meza

20074789

Estudiantes de la carrera de **Ingeniería industrial**, hago constar que he brindado acompañamiento académico y metodológico durante el desarrollo de dicho trabajo, cumpliendo con lo establecido en el cronograma y en la normativa institucional vigente. Asimismo, avalo que el trabajo cumple con los requisitos formales, científicos y éticos exigidos por la Universidad, en cumplimiento de la modalidad de graduación correspondiente.

Atentamente,

MSc. Luis Enrique Saavedra Torres

Orcid:0009-0005-5711218X

UNAN-Managua/CUR-Estelí

CC/

Resumen

La presente tesis se enfoca en el rediseño integral de un cuarto de fumigación de hoja de tabaco en la empresa A.J. Fernández, ubicada en la ciudad de Estelí, Nicaragua, con ejecución proyectada para el año 2025. El objetivo principal es optimizar y estandarizar tanto los espacios físicos como los procesos operativos para asegurar una fumigación totalmente segura y sin fugas, lo cual impactará directamente en una mejor calidad del producto final y en la protección del personal. La investigación se centra en varios pilares clave para la mejora continua, que incluye el rediseño de un sistema de ventilación superior para la eliminación eficiente de impurezas y el control de contaminantes, una organización estandarizada bajo los lineamientos de la ley 618, Además, se incorpora un robusto conjunto de medidas de seguridad e higiene para proteger a los trabajadores y garantizar el cumplimiento estricto de las normativas sanitarias y ambientales vigentes. Específicamente, el rediseño busca crear un ambiente que facilite el manejo seguro de los productos químicos y un control ambiental preciso. Esto implica mantener condiciones de ventilación ideales para la seguridad de los operarios, evitar la filtración del gas y mantener la humedad del ambiente controlada. Se espera que el diseño de este cuarto de fumigación no solo garantice la seguridad operacional al prevenir fugas y riesgos laborales, sino que también eleve significativamente el control de calidad del puro, ofreciendo un producto final con características superiores y consistentes.

Palabras claves: Rediseñar, fumigación, ventilación, optimización.

Abstract

This thesis focuses on the comprehensive redesign of a tobacco leaf fumigation room at the company A.J. Fernández, located in the city of Estelí, Nicaragua, with projected implementation for the year 2025. The main objective is to optimize and standardize both the physical spaces and operational processes to ensure fumigation that is completely safe and leak-free, which will directly impact better quality of the final product and protection of personnel.

The research focuses on several key pillars for continuous improvement, including the redesign of a superior ventilation system for the efficient removal of impurities and the control of contaminants, a standardized organization under the guidelines of law 618. In addition, a robust set of safety and hygiene measures is incorporated to protect workers and ensure strict compliance with current health and environmental regulations.

Specifically, the redesign aims to create an environment that facilitates the safe handling of chemicals and precise environmental control. This involves maintaining controlled temperatures, generally between 30°C and 48°C, and controlled humidity, decreasing from 65%–85% in the initial phases to 35%–45% at the end of the process. This precise control, along with a constant airflow, is essential to reduce humidity in a controlled way, prevent mold, and improve the organoleptic properties of the leaves

Keywords: Redesign, fumigation, ventilation, optimization.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	2
2.1.	Internacional	2
	Diseño industrial de una cámara de fumigación para el control de plagas.	2
2.2.	Nacional.....	2
2.3.	Local	2
3.	Planteamiento del problema	4
4.	Justificación.....	5
5.	Objetivos de investigación.....	6
5.1.	Objetivo General	6
5.2.	Objetivos específicos.....	6
6.	Limitaciones del estudio	7
7.	Supuestos básicos.	8
8.	Categorías, temas y patrones emergentes de la investigación.	9
9.	Preguntas de investigación.	10
9.1.	Pregunta general	10
9.2.	Preguntas específicas.....	10
10.	Marco Teórico	11
10.1.	Ley 618	11
10.2.	Puntos Focales de la Ley 618 en el Sector Tabacalero	11
10.3.	Gestión de Riesgos Químicos y Biológicos.....	11
10.4.	Equipos de Protección Personal y Capacitación.....	11
10.5.	Salud Ocupacional y Vigilancia Médica	12
10.6.	Obligaciones Generales del Empleador	12
10.7.	Cuarto de fumigación.....	13
10.7.1.	Historia y evolución de los cuartos de fumigación de hojas de tabaco.....	13
10.7.2.	Tipos de fumigación o curados en cuartos cerrados.	13
10.8.	Importancia.	17

10.9.	Tratamientos de fumigación.	19
10.9.1.	Fumigación con fosfina.....	19
10.9.2.	Características de la fosfina	20
10.9.3.	Sistemas de monitoreo de temperatura.....	21
10.9.4.	Sistema de monitoreo de ventilación	22
10.9.5.	Detección de fugas: Análisis de gas	22
10.9.6.	Seguridad	22
11.	Diseño metodológico.	37
11.1.	Enfoque cualitativo asumido.....	37
11.1.	Tipo de investigación.....	37
11.2.	Muestra teórica y sujetos del estudio.	38
11.3.	Métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	38
11.4.	Criterios de calidad aplicados	39
11.5.	Métodos, técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos e información.....	40
12.	Análisis y discusión de resultados.	41
12.1.	Diagnóstico en el cuarto de fumigación de las hojas de tabaco, para la identificación de limitaciones y oportunidades de mejoras.	41
12.1.1.	Descripción del proceso de Fumigación.....	41
12.1.2.	Diagnóstico del proceso	45
12.1.3.	Condiciones del Cuarto.....	51
12.2.	Requisitos técnicos, de seguridad y normativos basados en la Ley 618 que debe cumplir el nuevo diseño adecuándose al manejo de productos químicos.....	55
12.2.1.	Revisión documental de la normativa 618 sobre fumigación.	55
12.2.2.	Clasificación según sus efectos tóxicos en mamíferos.	58
12.3.	Requisitos técnicos del cuarto de fumigación.....	59
12.3.1.	Infraestructura	59
12.3.2.	Ventilación.....	61
12.3.3.	Equipamiento de seguridad.....	61
12.3.4.	Procedimientos operativos.....	63

12.3.5.	Formato de registro de entrada del personal al cuarto de fumigación:	67
12.4.	Rediseño de un cuarto de fumigación en modelo 3D	71
12.4.1.	Requisitos técnicos de la Ley 618.	71
13.	Conclusiones	83
14.	Recomendaciones.....	84
	A la empresa.	84
	A la facultad.....	84
	A estudiantes.....	85
	Bibliografía	86
15.	Anexos	88
	89

Índice de tablas

Tabla 1. Categorías, temas y patrones emergentes de la investigación.	10
Tabla 2. Métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	39
Tabla 3. Guía de observación.	46
Tabla 4. Check list de fumigación.	51
Tabla 5. Clasificación de químicos según su exposición y peligrosidad.	59
Tabla 6. Registro de ingreso del personal al cuarto de fumigación	67
Tabla 7. Costo del rediseño del cuarto de fumigación	82

Índice de figuras

Ilustración 1. Concentraciones estándar requeridas para una tasa de dosis en un tiempo específico.	14
Ilustración 2. Tolerancia a los residuos de fosfina (ppm) y periodo mínimo de aireación en horas.	14
Ilustración 3. Concentraciones estándar requeridas para una tasa de dosis en un tiempo específico.	14
Ilustración 4. Tolerancia a los residuos de fosfina (ppm) y periodo mínimo de aireación en horas.	21
Ilustración 5. Esquema de fumigación con fosfina.	21
Ilustración 6. Tolerancia a los residuos de fosfina (ppm) y periodo mínimo de aireación en horas.	21
Ilustración 7. Esquema de fumigación con fosfina.	21
Ilustración 8. Simbología ISO para flujogramas.	21
Ilustración 9. Esquema de fumigación con fosfina.	21
Ilustración 10. Simbología ISO para flujogramas.	43
Ilustración 11. Flujograma del proceso de fumigación.	43
Ilustración 12. Simbología ISO para flujogramas.	43
Ilustración 13. Flujograma del proceso de fumigación.	44
Ilustración 14. Concentraciones de fosfina que ameritan uso de sistemas de respiración.	44
Ilustración 15. Flujograma del proceso de fumigación.	44
Ilustración 16. Concentraciones de fosfina que ameritan uso de sistemas de respiración.	49
Ilustración 17. Cuadro de la Clasificación de Plaguicidas Según peligrosidad y vías de administración según la OMS 1996-1997.	49
Ilustración 18. Concentraciones de fosfina que ameritan uso de sistemas de respiración.	49
Ilustración 19. Gráfico de evaluación del cuarto de fumigación.	53
Ilustración 20. Cuadro de la Clasificación de Plaguicidas Según peligrosidad y vías de administración según la OMS 1996-1997.	58
Ilustración 21. Concentraciones de fosfina que ameritan uso de sistema de respiración.	62
Ilustración 22. Clasificación y etiquetado de fosfina.	63
Ilustración 23. Hoja de datos de seguridad de sustancias químicas.	70
Ilustración 24. Estructura del cuarto de fumigación.	74
Ilustración 25. Material de la estructura.	75
Ilustración 26. Recubrimiento de la pared.	75
Ilustración 27. Extractor de aire.	76
Ilustración 28: interior con vista desde el lado norte.	77
Ilustración 29: vista desde arriba.	77
Ilustración 30: vista total del cuarto.	78
Ilustración 31. Tubería de extracción del gas.	79
Ilustración 32. Puerta del cuarto de fumigación.	79

Ilustración 33. Rediseño final del cuarto de fumigación.....	80
--	----

Índice de anexos

anexo 1 Validación de resultados.....	89
anexo 2 Formato de entrevista.....	92
anexo 3 Check list de normativas	100
anexo 4 Check list de normativa NTON 11-001-00	102

1. Introducción

La ciudad de Estelí, ha experimentado un crecimiento notable en la industria de tabacalera durante las últimas décadas, consolidándose como uno de los exportadores más importantes a nivel nacional y global. La producción se concentra principalmente en los departamentos de Estelí y Nueva Segovia, que aportan aproximadamente el 80% de la producción total, con una menor participación de la Isla de Ometepe. La falta de controles eficientes de fumigación representa un desafío significativo para la industria procesadora de puros.

Actualmente, las empresas del sector están enfocando sus esfuerzos en la mejora continua con respecto a los procesos de fumigado y control de plagas, priorizando la seguridad del personal durante la ejecución de estas tareas.

A pesar de las normas de seguridad implementadas en la empresa A.J. Fernández, se ha identificado un riesgo considerable asociado a la exposición de los químicos utilizados para la fumigación del tabaco. Este riesgo llega a representar un problema mayor dado que el cuarto de fumigación no se encuentra totalmente sellado, lo que puede llegar a provocar fugas de químicos perjudiciales para la salud de los colaboradores encargados de este proceso, incluyendo también a trabajadores de áreas aledañas. Estas fugas y la falta de control ambiental pueden llegarse a presentar como un inconveniente no solo de seguridad laboral, sino que también comprometen la calidad del proceso de curado y, por ende, la calidad del puro final.

La importancia de este estudio radica en su potencial para lograr una mejora dual: no solo busca optimizar la calidad del tabaco procesado, sino también proteger la salud de los operarios expuestos a las fugas de químicos en el cuarto de fumigación. Esta investigación contribuirá al desarrollo de conocimiento práctico en el campo de la seguridad industrial y la higiene ocupacional.

2. Antecedentes

2.1. Internacional

Diseño industrial de una cámara de fumigación para el control de plagas

- Se diseñó por Marco Polo (2018) una cámara de fumigación diseñada para funcionar con diversos tipos de agentes fumigantes desde solventes minerales, hasta compuestos de origen orgánico sin riesgo de toxicidad. Su diseño permite el monitoreo visual del proceso de fumigación y de temperatura Y humedad al interior. Cuenta con termohigrómetro digital, nebulizador ultrasónico y ventilador interior. Con medidas (2.70 x 2.80 x 2.30 m. de h. | Banco de filtros: 1 x 1.5). Fabricada y diseñada en México, Con sistema de extracción de vapores y gases residuales con el objetivo de eliminar plagas especialmente en la hoja de tabaco. publicado en la república del Ecuador, este manual se realizó con el objetivo de establecer un proceso estandarizado que permita mejorar el tratamiento efectivo contra las plagas, manteniéndose en las normas efectivas para las personas y el medio ambiente. (Polo, 2018).

2.2. Nacional

- Se realizó un estudio en el hospital Roberto Calderón (Managua) de aplicación de las normas terapéuticas en pacientes intoxicados por plaguicidas, se revisó 46 casos de intoxicación por diversos plaguicidas (fosfina, organofosforados, paraquat, rodenticidas). Con mayor predominio del sexo masculino, de escolaridad primaria, con una edad media entre 15 y 25 años. Llegando a la conclusión de que el plaguicida mayor utilizado es la Fosfina, con una severidad global del 60% y una mortalidad general del 72%. (Ramon Hernandez, 15 marzo, 2010).

2.3. Local

- Un estudio en Nicaragua, se realizó una investigación de intoxicaciones por plaguicidas cuyo universo estuvo conformado por 108 pacientes destacando que en Nicaragua el 50 % de la población se ve expuesta a este tipo de intoxicaciones, en un grupo de edad de 16 a 25 años, La tasa de mortalidad promedio fue de 0.46 por 100,000 habitantes y la tasa de letalidad de 9.4% en diferencia significativa con relación a sexo en todos los grupos de

edades. Chinandega, Estelí y Matagalpa fueron los SILAIS donde se reportaron la mayor frecuencia de intoxicados. (Grillo, enero 2011)

- Se realizó un estudio el cual lleva por título Frecuencia hospitalaria de intoxicaciones por plaguicidas en pacientes mayores de 14 años 2013-2019. Estelí, Nicaragua, dando como resultado 111 casos reportados en el periodo de estudio. Los resultados; determinaron una tasa de prevalencia de intoxicación de 2.77 casos debidos principalmente al fosfuro de aluminio y Paraquat ingeridos intencionalmente en el 83.8% de los casos con una tasa de mortalidad de 8.1%. (Olivas López, 2023)

3. Planteamiento del problema

La ciudad de Estelí, Nicaragua, se ha consolidado como uno de los lugares de gran relevancia a nivel mundial para la producción de puros, liderando las exportaciones nacionales. No obstante, este crecimiento exponencial plantea desafíos operativos cruciales, particularmente en la etapa de curación del tabaco, un proceso determinante en la calidad del producto, una etapa clave y crucial para la eliminación de plagas en la materia prima.

Si bien los espacios tradicionales de curado se han utilizado durante décadas de manera efectiva, presentan una fuerte dependencia de factores ambientales variables como la temperatura, la humedad y la ventilación natural. Esta dependencia conlleva riesgos significativos de inconsistencias en la calidad, pérdidas por hongos o poca efectividad en el fumigado. Estos desafíos justifican la necesidad de espacios controlados y estandarizados dentro de la industria. El uso y rediseño de cuartos de fumigación representa una evolución tecnológica que combina el tratamiento tradicional del cultivo con herramientas modernas de control ambiental, siendo clave para garantizar consistencia, calidad y eficiencia en la elaboración de puros de alta gama.

El presente estudio se enfoca en la insuficiencia del cuarto de fumigación existente en la empresa A.J. Fernández. La instalación opera bajo un rediseño estructural básico que impone claras limitaciones en términos de sellado y control ambiental. Su infraestructura, compuesta principalmente por concreto y un portón metálico, carece de un sistema de hermeticidad efectivo. La elección del concreto es un factor de riesgo inherente, dado que es susceptible a desarrollar fisuras y grietas, lo que compromete la integridad del confinamiento de los plaguicidas.

Esta vulnerabilidad estructural se traduce en dos problemas críticos:

Riesgo sanitario y operacional por la falta de sellado, puede llegar provocar fugas de químicos utilizados en el proceso (como la fosfina), exponiendo a los colaboradores a posibles contaminantes biológicos y químicos, lo que representa un grave riesgo de salud y seguridad ocupacional.

Riesgo de calidad, la ausencia de un control preciso y la falta de hermeticidad impiden un curado adecuado de la hoja. Esto se manifiesta en la proliferación de plagas después del tratamiento y una afectación directa a las propiedades organolépticas, impactando negativamente la calidad del puro final y reduciendo la vida útil de la materia prima.

4. Justificación

La calidad en la producción de puros premium depende intrínsecamente de un proceso de curación óptimo. La ausencia de un cuarto de fumigación totalmente sellado se ha identificado como una problemática recurrente en la industria. Sin embargo, un sellado hermético durante la fumigación es crucial, ya que permite la efectividad del tratamiento y disminuye el riesgo de inconsistencias en la calidad del tabaco curado. Por lo tanto, abordar esta deficiencia no solo resuelve un problema técnico, sino que responde a una necesidad estratégica para la competitividad de la empresa.

Frente a estos desafíos, el rediseño de un cuarto de fumigación con control ambiental representa una solución eficiente, segura y altamente rentable. Este sistema permite mantener condiciones ideales de curado de manera independiente del clima o la ubicación, lo cual garantiza una mayor uniformidad en la calidad del tabaco y reduce significativamente las pérdidas por hongos o causas ambientales.

Además, la estandarización y la trazabilidad que ofrece este rediseño facilitan el cumplimiento de rigurosos estándares internacionales de calidad, lo cual es fundamental para acceder y mantener la presencia en mercados de exportación altamente exigentes. En esencia, el desarrollo de este cuarto no es solo una necesidad técnica, sino un paso clave para modernizar y optimizar el proceso productivo, asegurando la sostenibilidad y la calidad del producto.

5. Objetivos de investigación

5.1. Objetivo General

- Rediseñar un cuarto de fumigación basado en la ley 618 para la curación de hojas de tabaco en la empresa de puros A.J Fernández, durante el año 2025.

5.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico en el cuarto de fumigación de las hojas de tabaco, para la identificación de limitaciones y oportunidades de mejoras.
- Determinar requisitos técnicos, de seguridad y normativos basados en la ley 618 que debe cumplir el nuevo diseño adecuándose al manejo de productos químicos.
- Proponer un rediseño de un cuarto de fumigación en modelo 3D.

6. Limitaciones del estudio

Uno de las principales limitantes con los que cuenta el estudio es el proceso químico utilizado por la empresa. La investigación acepta el agente fumigante actual (Fosfina) y no incluye una propuesta de cambio en el tipo de plaguicida utilizado. Dado que el químico es el adecuado y que el problema es de contención y manejo, recordando también que la empresa es la única con la autorización para cambiar de pesticida de ser necesario.

Como segunda limitante se encuentra que el estudio culmina con una propuesta de diseño, y su impacto real y medición de utilidad dependerá de la implementación y capacidad financiera de la empresa (A.J. Fernández) para ejecutar las modificaciones propuestas.

Como tercer y último limitante se encuentra el factor humano, la eficacia de los nuevos protocolos de seguridad del cuarto dependerá directamente del cumplimiento y capacitación adecuado del personal operativo de A.J. Fernández.

7. Supuestos básicos

La implementación de un rediseño de un cuarto de fumigación para el control de plagas en la hoja de tabaco en la empresa A.J Fernández mejorara significativamente el control de plagas y la calidad de la materia prima (hoja de tabaco). Esta mejora se medirá a través de disminución casi total de variabilidad en la calidad y sanidad de la hoja de tabaco, se espera que la propuesta de mejora (Rediseño de un cuarto de fumigación) aumente la efectividad de la fumigación contra plagas y disminuya el riesgo laboral aplicando la ley 618.

8. Categorías, temas y patrones emergentes de la investigación

Objetivos específicos	Categorías	Definición conceptual	Subcategorías	Técnicas e instrumentos	Indicadores
Realizar un diagnóstico del proceso de fumigación de las hojas de tabaco en la empresa AJ Fernández, donde se puedan identificar limitaciones y oportunidades de mejora.	Proceso de fumigación de las hojas de tabaco	Fumigación es el acto de liberar y dispersar un tóxico químico y así alcanzar el organismo objetivo en estado gaseoso. Los productos químicos aplicados como aerosoles, humos, nieblas son suspensiones de material particulado que se dispersan en el aire y no constituyen fumigantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos • Normativa • Seguridad ocupacional • Control ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de observación • Entrevista • Guía de entrevista estructurada 	<p>1-Cumplimiento con protocolos de seguridad</p> <p>2-VARIABLES ambientales (Temperatura, Humedad)</p>
Determinar requisitos técnicos, de seguridad y normativos basados en la ley 618 que debe cumplir el nuevo diseño adecuándose al manejo de productos químicos.	Ficha Técnica	La ficha técnica es un documento que describe las características principales, la composición y las aplicaciones de un producto, aportando información detallada sobre los aspectos del mismo.	<ul style="list-style-type: none"> • Características estructurales del cuarto de fumigación • Norma Técnica Obligatoria (NTON). • Ley 618 	<ul style="list-style-type: none"> • Check List • Guía de Observación 	<p>1-Cumplimiento normativo nacional</p> <p>2-Cumplimiento normativo internacional</p> <p>3-Ficha técnica actualizada</p>

Proponer un diseño de un cuarto de fumigación en modelo 3D	Diseño en 3D.	El diseño 3D, se refiere a la creación de representaciones digitales de objetos o entornos en tres dimensiones.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones • Medidas • Materiales • Diseño 	Sketchup	1-Cumplimiento de medidas y materiales correcto. 2-Diseño 3d realizado.
--	---------------	---	--	----------	--

Tabla 1. Categorías, temas y patrones emergentes de la investigación.

Fuente: elaboración propia

9. Preguntas de investigación

9.1. Pregunta general

¿Qué diseño es el más óptimo para el cuarto de fumigación basado en la ley 618 para la curación de hojas de tabaco en la empresa de puros A.J. Fernández?

9.2. Preguntas específicas.

¿Qué elementos deben de tomarse en cuenta para un diagnóstico en el cuarto de fumigación de las hojas de tabaco, para la identificación de limitaciones y oportunidades de mejoras?

¿Qué requisitos técnicos, de seguridad y normativos basados en la ley 618 que debe cumplir el nuevo diseño adecuándose al manejo de productos químicos?

¿Qué diseño se adecua a la propuesta de un cuarto de fumigación en modelo 3D?

10.Marco Teórico

10.1. Ley 618

La Ley No. 618, también conocida como Ley General de Higiene y Seguridad, se aplica en la industria del tabaco de la misma manera que a cualquier otro sector industrial, teniendo como principal objetivo la prevención de riesgos laborales, protección de la salud de los trabajadores y el mantenimiento de un ambiente laboral seguro. (ley general de hifiene y seguridad)

Dado que la industria del tabaco, especialmente en áreas como el cultivo, curado, fermentación y fabricación, presenta riesgos específicos, la Ley 618 exige medidas rigurosas para abordar estos peligros.

10.2. Puntos Focales de la Ley 618 en el Sector Tabacalero

Esta ley obliga a las empresas tabacaleras, a enfocarse en los ciertos aspectos críticos, dado a que muchas de estas operan bajo régimen de Zona Franca.

10.3. Gestión de Riesgos Químicos y Biológicos

Identificar y Evaluar Riesgos: Reconocer y cuantificar los peligros asociados al manejo del tabaco, incluyendo la exposición a agroquímicos (pesticidas y plaguicidas, como en el fumigado de pacas), polvo de tabaco y riesgos biológicos (bacterias y hongos) durante los procesos de curado y fermentación.

Controles Ambientales: Implementar sistemas de ventilación y extracción adecuados, especialmente en áreas de fermentación, manipulación de químicos y manufactura, para controlar la exposición a humos, gases (como el amoníaco).

10.4. Equipos de Protección Personal y Capacitación

El empleador debe:

Suministrar EPP: Proporcionar y garantizar el uso de Equipo de Protección Personal adecuado y certificado para cada tarea de riesgo dependiendo del área a trabajar, como:

Mascarillas KN95 para proteger contra el polvo de tabaco y los vapores químicos.

Guantes y delantal industrial para el manejo de químicos y tabaco húmedo.

Capacitación Obligatoria: Realizar capacitaciones periódicas en seguridad y salud ocupacional. Esto es estrictamente necesario para tareas de alto riesgo como el fumigado de pacas, donde los trabajadores deben estar al tanto de las fichas de seguridad de los productos utilizados, dosificaciones correcta y procedimientos de emergencia.

10.5. Salud Ocupacional y Vigilancia Médica

Exámenes Médicos Periódicos: Este tipo de exámenes se realizarán con la finalidad de garantizar y salvaguardar la salud de sus trabajadores, adaptados a los riesgos específicos de la industria. Esto incluye monitorear la función respiratoria por la exposición constante a los químicos.

Registro de Exposición: Cada empresa se encuentra bajo la obligación de mantener un registro detallado de los trabajadores expuestos a agentes nocivos y de los accidentes laborales ocurridos.

“El TLV (valor límite umbral), es la máxima concentración de fumigante al que un trabajador puede exponerse repetidamente en el lugar de trabajo sin sufrir efectos dañinos” (Departament of Agriculture, 2013).

10.6. Obligaciones Generales del Empleador

El Artículo 18 de la Ley 618 establece las obligaciones del empleador, dirigidas directamente al rubro tabacalero.

- Medidas Preventivas: Garantizar la higiene y seguridad de los trabajadores en todos los aspectos.
- Designar Especialista: Nombrar a una o más personas con formación en salud ocupacional para atender las actividades de promoción, prevención y protección contra riesgos laborales.
- Planificación Preventiva: Planificar las acciones preventivas con base en el principio de evitar el riesgo o combatirlo en su origen.

En conclusión, la Ley 618 es el marco legal que exige a la industria tabacalera no solo producir un producto de calidad, respetando y cumpliendo las condiciones laborales ya establecidas que salvaguarden la integridad física y la salud de su capital humano ante los riesgos inherentes de la actividad.

10.7. Cuarto de fumigación

Según ((industrial fumigant company food , enfoque desde 1937) un cuarto de fumigación para hojas de puros es un espacio controlado donde se utilizan agentes fumigantes para eliminar y combatir plagas, moho o cualquier organismo que comprometa dañar la hoja de tabaco.

Su función y objetivo es garantizar la calidad y conservación de la hoja del tabaco durante su almacenamiento y producción.

10.7.1. Historia y evolución de los cuartos de fumigación de hojas de tabaco

La historia de la curación del tabaco después de las pacas se remonta a los métodos tradicionales utilizados por los indígenas americanos. Estos métodos se centraban en secar las hojas de tabaco al aire libre, en el sol o en estructuras protegidas, para reducir el contenido de humedad y modificar su composición química y utilizar fuentes naturales como plaguicidas para el control de plagas. Con la llegada de los europeos, la curación del tabaco se profesionalizó, dando lugar a diversos métodos como la curación al aire, al fuego y la curación en estufas, cada uno con sus características y resultados únicos (Rubio Monteverde & Rubio Magaña, 2006).

Este proceso de curado ha venido evolucionando en diversas maneras mediante cuartos completamente sellados donde no hay fugas y el material del cual están elaborados es completamente diseñado para no absorber los químicos colocados en la hoja de tabaco para su debida curación. Se utilizan métodos de curación más sofisticados, como el uso de cámaras de secado y sistemas de ventilación controlados para optimizar el proceso.

10.7.2. Tipos de fumigación o curados en cuartos cerrados

Existen diversos tipos de fumigación para la hoja del tabaco, que se pueden clasificar en métodos químicos, biológicos y naturales. Los métodos químicos incluyen insecticidas de amplio espectro y otros específicos para plagas o enfermedades como el hongo del moho azul. Los métodos biológicos utilizan enemigos naturales de las plagas, como ciertos insectos o microorganismos. Los métodos naturales, como el uso de extractos vegetales de tabaco, jabón insecticida o aceite de neem, también pueden ser efectivos. (luis angel orozco, 2020).

Tabla 4: Concentraciones estándar requeridas para una tasa de dosis en un tiempo específico

Concentraciones Estándar Requeridas (g/m ³)														
Hours	Retention	32	48	56	64	72	80	88	96	104	128	136	144	152
¼	85.00%	27.2	40.8	47.6	54.4	61.2	68.0	74.8	81.6	88.4	108.8	115.6	122.4	129.2
½	75.00%	24.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0	66.0	72.0	78.0	96.0	102.0	108.0	114.0
1	70.00%	22.4	33.6	39.2	44.8	50.4	56.0	61.6	67.2	72.8	89.6	95.2	100.8	106.4
2	60.00%	19.2	28.8	33.6	38.4	43.2	48.0	52.8	57.6	62.4	76.8	81.6	86.4	91.2
3	54.80%	17.5	26.3	30.7	35.1	39.5	43.8	48.2	52.6	57.0	70.1	74.5	78.9	83.3
4	50.00%	16.0	24.0	28.0	32.0	36.0	40.0	44.0	48.0	52.0	64.0	68.0	72.0	76.0
5	47.80%	15.3	22.9	26.8	30.6	34.4	38.2	42.1	45.9	49.7	61.2	65.0	68.8	72.7
6	45.70%	14.6	21.9	25.6	29.2	32.9	36.6	40.2	43.9	47.5	58.5	62.2	65.8	69.5
7	43.70%	14.0	21.0	24.5	28.0	31.5	35.0	38.5	42.0	45.4	55.9	59.4	62.9	66.4
8	41.80%	13.4	20.1	23.4	26.8	30.1	33.4	36.8	40.1	43.5	53.5	56.8	60.2	63.5
9	40.00%	12.8	19.2	22.4	25.6	28.8	32.0	35.2	38.4	41.6	51.2	54.4	57.6	60.8
10	38.30%	12.3	18.4	21.4	24.5	27.6	30.6	33.7	36.8	39.8	49.0	52.1	55.2	58.2
11	36.60%	11.7	17.6	20.5	23.4	26.4	29.3	32.2	35.1	38.1	46.8	49.8	52.7	55.6
12	35.00%	11.2	16.8	19.6	22.4	25.2	28.0	30.8	33.6	36.4	44.8	47.6	50.4	53.2
16	33.35%	10.7	16.0	18.7	21.3	24.0	26.7	29.3	32.0	34.7	42.7	45.4	48.0	50.7
20	31.65%	10.1	15.2	17.7	20.3	22.8	25.3	27.9	30.4	32.9	40.5	43.0	45.6	48.1
24	30.00%	9.6	14.4	16.8	19.2	21.6	24.0	26.4	28.8	31.2	38.4	40.8	43.2	45.6
28	29.15%	9.3	14.0	16.3	18.7	21.0	23.3	25.7	28.0	30.3	37.3	39.6	42.0	44.3
32	28.31%	9.1	13.6	15.9	18.1	20.4	22.6	24.9	27.2	29.4	36.2	38.5	40.8	43.0
36	27.47%	8.8	13.2	15.4	17.6	19.8	22.0	24.2	26.4	28.6	35.2	37.4	39.6	41.8
40	26.64%	8.5	12.8	14.9	17.0	19.2	21.3	23.4	25.6	27.7	34.1	36.2	38.4	40.5
44	25.82%	8.3	12.4	14.5	16.5	18.6	20.7	22.7	24.8	26.9	33.0	35.1	37.2	39.2
48	25.00%	8.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	32.0	34.0	36.0	38.0
La concentración mínima que permite compensación es:		- 5g/m ³ bajo el Estándar de Concentración.				- 8g/m ³ bajo el Estándar de Concentración								
La concentración máxima que permite compensación es:		+ 5g/m ³ por sobre el Estándar de Concentración				+ 8g/m ³ por sobre el Estándar de Concentración								

Ilustración 1. Concentraciones estándar requeridas para una tasa de dosis en un tiempo específico.

Ilustración 2. Tolerancia a los residuos de fosfina (ppm) y periodo mínimo de aireación en horas. Ilustración 3. Concentraciones estándar requeridas para una tasa de dosis en un tiempo específico.

Fuente: (Department of Agriculture, 2013)

Fumigación de gas

La fumigación con gas es un método de control de plagas que utiliza gases fumigantes para eliminar insectos y otros organismos dañinos como plagas. Este tipo de fumigación se realiza típicamente en espacios cerrados o al envolver el área a tratar con una cubierta a prueba de gases. El objetivo es asegurar que el gas alcance todos los rincones y espacios, erradicando las plagas de manera efectiva.

- Beneficios de la fumigación con gas

➤ **Eficacia**

La fumigación con gas puede ser muy efectiva para eliminar plagas, especialmente en espacios donde otras técnicas de control no son posibles o no son lo suficientemente efectivas.

➤ **Cobertura**

El gas puede alcanzar áreas difíciles de llegar con otros métodos, como grietas, agujeros y espacios ocultos.

➤ **Aplicación en diversos entornos**

Se puede utilizar en una variedad de entornos, desde almacenes y bodegas hasta hogares y estructuras antes de la fumigación, es importante preparar un plan de manejo de fumigación (FMP), es decir, pasos detallados sobre cómo sellar y cerrar el almacén, aplicar el fumigante, monitorear la concentración del fumigante, lograr la aireación posterior al tratamiento y, por último, despejar las instalaciones para el reingreso de personas.

“Una vez preparado el FMP, todas las aberturas del almacén, como puertas, rejillas, ventiladores, etc., se sellan temporalmente con cinta adhesiva, adhesivo y láminas de plástico”, explicó Yeaman. “Se colocan carteles de advertencia y se aplica el fumigante. El tiempo de exposición del producto suele ser de entre 96 y 144 horas. Durante la exposición, se monitorean periódicamente las concentraciones de fumigante para garantizar que se mantenga un nivel adecuado”. Al finalizar el período de exposición, el almacén se airea de forma natural retirando los sellos temporales. Una vez finalizado el proceso, se puede volver a acceder al almacén (Schmid, 2017).

▪ **Fumigación Química**

La fumigación química es para erradicar plagas utilizando productos químicos, para eliminar o controlar la presencia de plagas en siembras o cultivos. Se aplica mediante diferentes técnicas, como la aplicación Tiene como ventaja la eliminación rápida de plagas y la prevención de futuras infestaciones plaguicidas si se realiza debidamente. (FAO, 2019)

▪ **Desventajas de la fumigación química**

- Riesgo para la salud: La fumigación química puede ser perjudicial para la salud si no se toman las precauciones necesarias.
- Contaminación ambiental: Los productos químicos pueden contaminar el medio ambiente si no se manejan correctamente.
- Residuos químicos: Los productos químicos pueden dejar residuos en el área tratada.

▪ **Fumigación térmica**

La fumigación térmica, también conocida como termo nebulización, es una técnica de control de plagas que utiliza calor para transformar insecticidas líquidos en una niebla densa que penetra en áreas de difícil acceso, eliminando insectos de forma eficaz. Esta niebla, al salir de la máquina, choca con el aire más frío y se condensa, formando una nube que se puede observar fácilmente, facilitando la supervisión de la dispersión del producto. (Control ambiental España Sur)

▪ **Ventajas de la fumigación térmica.**

- Eficiencia en áreas de difícil acceso: La niebla densa permite llegar a lugares inaccesibles con otros métodos.
- No deja residuos: El producto se evapora rápidamente, sin dejar residuos en las superficies.
- Visibilidad y control: La niebla permite observar fácilmente su dispersión y penetración, facilitando el control del proceso.
- Versatilidad: Se puede utilizar en diversos espacios, como interiores, exteriores, bodegas, etc.

▪ **Fumigación biológica.**

La fumigación biológica es un método de control de plagas que utiliza organismos vivos, como depredadores naturales o agentes entomopatógenos, para controlar las plagas de manera natural y sin dañar el medio ambiente. A diferencia de la fumigación tradicional que utiliza productos químicos, la fumigación biológica se basa en la introducción de organismos que naturalmente controlan la población de plagas, como avispas parásitas o nematodos.

▪ **Ventajas de la fumigación biológica**

- Seguridad para el medio ambiente: Es seguro porque no utiliza productos químicos tóxicos, lo que minimiza el impacto en el ecosistema y la salud humana.
- Respeto al equilibrio natural: Busca restaurar el equilibrio natural del ecosistema al utilizar organismos que ya forman parte de él.
- Eficacia a largo plazo: El uso de enemigos naturales puede ayudar a establecer un control de plagas más sostenible a largo plazo, evitando la resistencia a los insecticidas químicos.
- Desventajas de la fumigación biológica
- Menos efectivo en plagas fuertes: Puede no ser tan efectiva como la fumigación tradicional en casos de infestaciones muy graves.
- Tiempo de espera: Puede tomar más tiempo para observar los resultados, ya que los organismos biológicos necesitan tiempo para reproducirse y controlar la población de plagas.
- Posible necesidad de intervención adicional: En algunos casos, puede ser necesaria la intervención adicional de otros métodos de control de plagas para complementar la fumigación biológica.

10.8. Importancia

Los cuartos de fumigación son indispensables para la industria del tabaco, especialmente en la etapa posterior a la cosecha, para controlar plagas y enfermedades que podrían dañar o reducir la calidad de la hoja de tabaco. Sin embargo, durante su almacenamiento para empezar a ser procesado tiene que pasar por un cuarto de fumigación completamente sellado para la eliminación total de plagas. La fumigación con gases como el fosforo de aluminio o el bromuro de metilo ayuda a eliminar insectos y otros organismos nocivos que puedan afectar al tabaco durante su almacenamiento y transporte.

El proceso de curado del tabaco es un proceso esencial posterior a la cosecha, durante el cual las hojas experimentan transformaciones físicas y químicas que determinan su calidad final. Existen varios métodos de curación, entre los cuales se destacan la curación al aire, al sol, al fuego y la

curación en cuartos de fumigación. Este último método ha ganado relevancia debido a su capacidad para ofrecer condiciones controladas que optimizan el proceso y mejoran la homogeneidad del producto.

El cuarto de fumigación es una cámara cerrada diseñada para controlar con precisión variables como temperatura, humedad y ventilación, permitiendo una curación uniforme e higiénica del tabaco. La automatización del ambiente en el cuarto térmico minimiza el riesgo de daños por microorganismos y reduce la pérdida de calidad causada por condiciones climáticas inestables.

Durante el proceso de curado, se deben atravesar varias etapas: amarillamiento, secado de la hoja y secado de la vena. Cada una requiere condiciones ambientales específicas. Por ejemplo, el amarillamiento necesita una temperatura moderada y alta humedad, mientras que el secado de la vena requiere calor más intenso y menor humedad. Un cuarto térmico permite ajustar estas variables de forma programada, lo que resulta en un mejor control del proceso comparado con métodos tradicionales.

Además, los avances tecnológicos han permitido integrar sensores y sistemas de control automático en estos espacios, reduciendo la dependencia del conocimiento empírico y mejorando la eficiencia energética. El diseño de un cuarto térmico también debe considerar aspectos de aislamiento térmico, circulación de aire y facilidad de carga y descarga del producto.

- **Control de plagas y enfermedades:**

Los cuartos de fumigación permiten la aplicación controlada de gases fumigantes que, al entrar en contacto con las plagas y enfermedades presentes en la hoja de tabaco, las eliminan o las inhabilitan.

- **Mantenimiento de la calidad:**

Al eliminar plagas y enfermedades de la hoja, se preserva la calidad del tabaco, evitando daños que puedan afectar su apariencia, sabor y aroma.

- **Seguridad en el almacenamiento y transporte:**

La fumigación ayuda a asegurar que el tabaco se mantenga libre de plagas y enfermedades durante su almacenamiento y transporte, reduciendo el riesgo de contaminación y pérdidas.

- **Cumplimiento normativo:**

En muchos países, la fumigación es un requisito obligatorio para la exportación e importación de tabaco, para prevenir la introducción de plagas y enfermedades que puedan afectar la producción agrícola local.

10.9. Tratamientos de fumigación.

Fumigación es el acto de liberar y dispersar un tóxico químico y así alcanzar el organismo objetivo en estado gaseoso. Los productos químicos aplicados como aerosoles, humos, nieblas son suspensiones de material particulado que se dispersan en el aire y no constituyen fumigantes.

La toxicidad de un fumigante depende de la tasa respiratoria del organismo objetivo. Generalmente, menor temperatura, la tasa respiratoria es menor lo cual tiende a hacer al organismo menos susceptible. Fumigaciones a menores temperaturas requieren de mayores dosis por períodos más largos.

Los fumigantes varían en gran medida en sus modos de acción. Algunos matan rápidamente mientras que otros lo hacen en forma lenta. Con dosis sub letales, algunos fumigantes pueden tener un efecto paralizante sobre las plagas mientras que otros no permiten que la plaga se recupere.

Algunos fumigantes no tienen efecto sobre el producto básico mientras que otros son detrimenitillos aún a bajas concentraciones. Los productos básicos varían en la porción del fumigante y en el esfuerzo requerido para airear el producto básico después de la fumigación.

El fumigante autorizado en los cuartos de fumigación para la hoja de tabaco es la Fosfina (Fosfuro de magnesio y Fosfuro de Aluminio).

10.9.1. Fumigación con fosfina

Las formulaciones utilizadas corresponden a fosfuro de aluminio y fosfuro de magnesio. Este tipo de tratamientos se efectúa en las instalaciones del importador o exportador que lo solicita y es allí donde los inspectores supervisan los mismos.

Antes de la fumigación, es importante preparar un plan de manejo de fumigación (FMP), es decir, pasos detallados sobre cómo sellar y cerrar el almacén, aplicar el fumigante, monitorear la

concentración del fumigante, lograr la aireación posterior al tratamiento y, por último, despejar las instalaciones para el reingreso de personas.

“Una vez preparado el FMP, todas las aberturas del almacén, como puertas, rejillas, ventiladores, etc., se sellan temporalmente con cinta adhesiva, adhesivo y láminas de plástico; se colocan carteles de advertencia y se aplica el fumigante. El tiempo de exposición del producto suele ser de entre 96 y 144 horas. Durante la exposición, se monitorean periódicamente las concentraciones de fumigante para garantizar que se mantenga un nivel adecuado” (Schmid, 2017). Al finalizar el período de exposición, el almacén se airea de forma natural retirando los sellos temporales. Una vez finalizado el proceso, se puede volver a acceder al almacén.

10.9.2. Características de la fosfina

En presencia de humedad, la fosfina (fosfuro de hidrógeno PH₃) un gas incoloro es emitido desde el producto sólido. El punto de inflamación es de 100 °C. El contacto directo con un líquido puede causar combustión espontánea. En caso de fuego, se debe usar un extinguidor de polvo de CO₂. NUNCA se debería usar agua para extinguir un fuego por ignición de PH₃. (Saad M, 2024)

El fosfuro de hidrógeno tiene un olor como de ajo, lo cual permite que el mismo gas sirva como su propio sistema de advertencia. Sin embargo, en algunas ocasiones el olor se pierde, aún en concentraciones tóxicas.

La fosfina (PH₃) es altamente tóxica a humanos y otros animales. Se debe evitar la exposición de organismos no objetivo. El límite de exposición (LEP) para fosfina es 0,3 ppm en un tiempo de 8 horas con un peso promedio. El Límite de exposición de corto tiempo (LECP) para fosfina es de 1ppm en un período de 15 minutos a peso promedio.

La fosfina es incolora y a concentraciones bajo el LEP tiene el olor de un pescado en descomposición con ajo. Exposiciones intermitentes a bajas concentraciones pueden causar dolor de cabeza, malestar, zumbido de oídos, fatiga, náuseas, y presión en el pecho.

Una exposición moderada causa debilidad, vómitos, y dolor de estómago y pecho, con dificultades para respirar. El gas de fosfina reacciona con la humedad para formar ácido fosfórico, el cual causa edema pulmonar.

La fosfina puede hacer ignición espontánea en el aire a niveles sobre su menor límite de inflamación de 1,8% v/v (18.000 ppm). No exceda esta concentración porque, puede ocurrir una explosión. Nunca permita que la fosfina exceda la concentración explosiva.

Productos	ppm	Periodo mínimo de aireación (horas)
Alimentos de uso animal, granos, nueces, dátiles	0.1	48
Alimentos procesados	0.01	48
Frutas y hortalizas frescas	0.01	48
Productos no alimenticios	<0.3	Ninguno
Tabaco	<0.3	48

Ilustración 4. Tolerancia a los residuos de fosfina (ppm) y periodo mínimo de aireación en horas.

Ilustración 5. Esquema de fumigación con fosfina Ilustración 6. Tolerancia a los residuos de fosfina (ppm) y periodo mínimo de aireación en horas.

Fuente: (Agrocalidad Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro, 2016)

10.9.3. Sistemas de monitoreo de temperatura

La fosfina solo se aplica a presión atmosférica. Bajo condiciones de vacío, la fosfina puede causar un peligro de explosión. No aplique fosfina en cámaras de vacío. Además, puede reaccionar con ciertos metales y causar corrosión (especialmente a mayores temperaturas y bajas humedades relativas). Oro, plata, cobre, latón, y otras aleaciones de cobre son susceptibles a la corrosión.

◆ Granos

Para insectos de la Familia Bruchidae y *Prostephanus truncatus* (Coleoptera Bostrichidae).

DOSIS (gr/m3) de fosfina	TIEMPO DE EXPOSICION (días)	TEMPERATURA DEL PRODUCTO (°C)
2.5	7	12-15
2.5	6	16-20
2.5	5	21-25
2.5	4	26 o más

◆ Semillas

Para insectos de la Familia Bruchidae

DOSIS (gr/m3) de fosfina	TIEMPO DE EXPOSICION (días)	TEMPERATURA DEL PRODUCTO (°C)
2.5	7	12-15
2.5	6	16-20
2.5	5	21-25
2.5	4	26 o más

Ilustración 7. Esquema de fumigación con fosfina

Fuente: (Agrocalidad Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro, 2016)

10.9.4. Sistema de monitoreo de ventilación

Los ventiladores y sopladores que se usen en los procesos de fumigación con fosfina deben ser fabricados con productos resistentes al fumigante. De preferencia las aspas deben ser de aluminio o plástico.

10.9.5. Detección de fugas: Análisis de gas

Los niveles de fosfina pueden ser detectados usando tarjetas detectoras, tubos detectores colorimétricos dosímetros, detectores electroquímicos.

Estos equipos son usados para determinar tanto las altas concentraciones (concentración de fumigación) como las bajas concentraciones de fosfina (seguridad del personal).

10.9.6. Seguridad

Requisitos para el aplicador.

Un aplicador certificado debería estar físicamente presente, siendo responsable por el proceso de fumigación. Debe mantener contacto visual y de voz con todos los trabajadores de la fumigación durante 1 aplicación y durante la apertura para iniciar la aireación.

Almacenaje y manejo.

Aunque la fosfina es inflamable y puede hacer ignición cuando se expone a humedad excesiva, las precauciones comerciales para fosforo de aluminio y fosforo de magnesio se consideran seguras respecto del fuego y explosión cuando se usan de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

No coloque más de 10 pellet de fosfina en un solo recinto, el cual debe ser suministrado por el fabricante.

Una placa no debería estar en contacto con otra placa ni con el producto básico.

Los empaques de fosforo de aluminio y de magnesio se almacenan en lugares frescos, secos, bajo llave ventilados en áreas protegidas, no sometidas a temperaturas extremas.

Nunca permita que el agua entre en contacto con el fosforo de aluminio o fosforo de magnesio.

La vida útil de un envase no abierto es virtualmente ilimitada. Cuando un tubo o envase es abierto por primera vez, el olor a ajo y amonio será notable y a veces se produce una llama de color azul. Sin embargo, la cantidad de PH₃ presente dentro del envase no debería ser considerada peligrosa.

Adicionalmente a las instrucciones y precauciones encontradas en la etiqueta, se debe:

- Cumplir con todas las regulaciones (agricultura, trabajo, salud, ambiente)
- Permitir solo personal entrenado para conducir la fumigación bajo la supervisión de un aplicador certificado.
- Asegurar la disponibilidad en el sitio de un equipo de primeros auxilios, hoja de seguridad del producto, y etiquetas del fumigante.
- Señalar el área a ser fumigada y un área que se extienda 9,14 metros más allá del recinto de fumigación - (Avisos de fumigación)
- Siempre trabaje en parejas, nunca solo- un mínimo de dos personas deben estar presentes durante la introducción, muestreo y aireación del fumigante
- Nunca coma, beba o fume cuando maneja productos de fosfina.
- Remueva los avisos cuando la aireación ha sido completada y la concentración está bajo el Valor. Umbral Límite (TLV Treshold Limit Value)
- Los avisos pueden ser removidos solo por el aplicador o su personal bajo su supervisión.

Otras Medidas

- No aplicar fosfina en cámaras de vacío
- Usar guantes secos cuando manipule Fosforo de aluminio o magnesio
- Usar zapatos de seguridad (con punta de acero)
- Siempre usar lentes de seguridad cuando manipule equipo presurizado.

11. Diseño metodológico

11.1. Enfoque cualitativo asumido.

La investigación presenta un enfoque positivista, que es definido según Sirangela Beltrán como (Beltrán, 2020) “El planteamiento sobre la posibilidad de llegar a verdades absolutas en la medida en que se abordan los problemas y se establece una distancia significativa entre el investigador y el objeto de estudio”, se eligió este enfoque debido a que se plantea la distancia entre los investigadores y el objeto estudiado, de manera que se pueda estudiar los fenómenos ocurridos mediante la observación asumiendo que el conocimiento es objetivo y por tanto susceptible a medición.

El enfoque de la investigación es cualitativo porque el objetivo central del estudio es comprender en profundidad el funcionamiento actual del cuarto de fumigación, así como identificar las condiciones, prácticas y dinámicas que influyen en su uso. Para formular una propuesta de rediseño, resulta indispensable describir detalladamente cómo se llevan a cabo los procesos dentro del espacio, cómo interactúan los usuarios con el equipamiento y cuáles son las percepciones asociadas a la seguridad, eficiencia y organización del área.

Dado que la propuesta de rediseño se fundamenta en estas descripciones detalladas del estado actual, el enfoque cualitativo permite interpretar el contexto y comprender qué aspectos deben transformarse para garantizar un diseño más seguro, eficiente y acorde con las necesidades reales del proceso de fumigación. (Bogdan, 1986)

En síntesis, el enfoque cualitativo es el más adecuado porque permite analizar el cuarto de fumigación como un fenómeno complejo, donde intervienen factores humanos, espaciales, operativos y organizacionales, cuya comprensión profunda es esencial para sustentar el rediseño propuesto.

11.1. Tipo de investigación

En la definición de Carlos Sabino una investigación descriptiva es “La investigación que tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios sistemáticos que permiten establecer la

estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes” (Martínez, 2018).” La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que su objetivo principal es detallar y analizar las condiciones y el estado actual del cuarto de fumigación de la fábrica A.J Fernández, con el propósito de realizar una propuesta de mejora sobre las debilidades detectadas.

11.2. Muestra teórica y sujetos del estudio

- Población

La población es el grupo completo, compuesta por todos los elementos que participan del fenómeno sobre el que se quiere sacar conclusiones, mientras que la muestra es un subconjunto de la población del que se recopilarán los datos, la población a estudiar son los miembros del área de fumigado debido que la población es lo suficientemente reducida para realizar un correcto análisis, no se seleccionó una muestra para obtener una muestra representativa de la población específicamente en jefes de área y fumigadores del cuarto de fumigación en el periodo del año 2025.

- Muestra

Para esta investigación la población coincide con la muestra debido a que los miembros del área de fumigación están conformados por el personal dividido según sus responsabilidades, gerente general de pre industria, encargado de recursos humanos y 3 colaboradores del IPSA que se encargan de la fumigación.

11.3. Métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos

Métodos teóricos, empleados para el análisis e interpretación de los datos: análisis y síntesis, deductivo, inductivo, etc.

Técnica	Objetivo	Instrumento	Fuente de Información
Observación directa	Identificar condiciones actuales del cuarto, los procesos de fumigación y el cronograma de fumigación	Check list Pruebas de inspección de salubridad	Instalaciones del cuarto de fumigación
Entrevistas	Obtener información de los operarios sobre las condiciones	Entrevista estructurada	Operarios y jefes de área

	actuales y posibles problemas en el cuarto de fumigación		
Revisión documental	Analizar investigaciones sobre cuartos de fumigación, planos, normativas de salubridad internacionales (OMS)	Documentos técnicos y normativos	Manuales, documentos técnicos y normativos
Medición de variables ambientales	Conocer condiciones actuales de temperatura, ventilación, humedad	Termómetro	Cuarto de fumigación
Análisis de procesos	Entender el flujo de fumigación	Diagrama de flujo	Observación directa en el cuarto de fumigación
Normativa internacional y nacional	Comparar las prácticas actuales con las recomendadas por los organismos internacionales	Matriz comparativa Ley 618	Test de acreditación en normativas internacionales

Tabla 2. Métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos.

Fuente: elaboración propia.

11.4. Criterios de calidad aplicados

De los criterios que la universidad posee y están empleados en la investigación son los siguientes:

1.- Pertinencia y coherencia institucional

- Alineación de las políticas de calidad con la misión, visión y valores institucionales.
- Respuesta a necesidades sociales, productivas y científicas del país.
- Integración de la calidad en todos los niveles: académico, administrativo y comunitario.

3. Investigación con impacto

- La UNAN-Managua aplica criterios de calidad para fortalecer la investigación:
- Relevancia social y científica.
- Producción de conocimiento aplicable.
- Ética en investigación.
- Participación en redes y publicaciones indexadas.
- Vinculación con sectores productivos y comunitarios.

- Vinculación y extensión universitaria
- Respuesta efectiva a problemas del entorno.
- Proyectos sostenibles que integran estudiantes, docentes y actores sociales.
- Transparencia en la gestión administrativa.
- Uso óptimo de recursos humanos, financieros y tecnológicos.
- Evaluación y mejora continua
- Es un eje central de las estrategias de calidad:
- Evaluación institucional interna y externa (CNEA).
- Indicadores de desempeño para medir logros.
- Auditorías académicas y administrativas.
- Implementación sistemática de acciones de mejora

11.5. Métodos, técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos e información

En el apartado de tabulación de resultados, se recopiló información de la muestra resumida, en la cual se presenta según los módulos del instrumento de chek list, el desempeño de cada uno, representando un porcentaje sobre el nivel de cumplimiento en el que se encuentra el cuarto de fumigación, con respecto a lo que establece la ley 618 y las normativas técnicas obligatoria nicaragüense NTON.

Las variables trabajadas son de tipo cualitativas, pues no se representan numéricamente, son de tipo discreto pues los valores son consecutivos, de manera que no pueden adquirir valores intermedios, los datos se agruparon en distintos valores ordinales, pues se pueden ordenar de mayor a menor, pero los resultados no son numéricos.

12. Análisis y discusión de resultados

El análisis y discusión de resultados se llevó a cabo mediante las variables de cada objetivo propuesto en la actual investigación, dando sentido a la información recolectada dentro de la empresa A.J Fernández, a través de la aplicación de los instrumentos entrevista y check list, realizados a los operarios que conforman el área de fumigación, con el propósito de recopilar información pertinente sobre el proceso de fumigación, los actores involucrados, los criterios utilizados para realizar sus actividades y generar una descripción adecuada de las operaciones que conforman el proceso de fumigación,

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la propuesta de un diseño de un cuarto de fumigación de tabaco en la fábrica de puros A.J Fernández en la ciudad de Estelí del año 2025. Los resultados se presentaron según los objetivos específicos propuestos.

12.1. Diagnóstico en el cuarto de fumigación de las hojas de tabaco, para la identificación de limitaciones y oportunidades de mejoras

Para realizar un correcto diagnóstico sobre el proceso de fumigación se realizó una descripción del proceso de fumigación a través de la información extraída de la observación directa en planta, las entrevistas realizadas a los operarios y los índices evaluadores del check list.

12.1.1. Descripción del proceso de Fumigación

El proceso de fumigación no está reflejado en un manual con las instrucciones sobre cómo debe de llevarse a cabo las operaciones, con lo cual, para identificar el proceso, se consultó a los operarios sobre la ejecución de sus actividades y se registró el proceso mediante observación directa.

1. Recepción de materia prima

Las pacas que entran al proceso de fumigación pueden provenir de la producción interna de tabaco proveniente de las fincas y otra parte es importada de producción de otras empresas nacionales o de producción internacional; las pacas son transportadas en un camión hasta el área de descarga, en el cual las pacas son descargadas por los operarios, estas son

transportadas hasta el almacenadas en un almacén, las pacas permanecen en el almacén en un máximo de cinco días para evitar la proliferación de plagas y enfermedades.

2. Preparación del cuarto de fumigación

Se realiza una limpieza general del cuarto de fumigación, asegurándose de que no hay demasiada suciedad que interfiera con el proceso, se revisa el sellado de las puertas y uniones.

3. Ingreso y acomodo de pacas

Las pacas son transportadas por los operarios al interior del cuarto, estas son ordenadas en columnas y apiñadas desde el fondo hasta la salida, sin dejar mucho espacio de por medio entre ellas; el cuarto cuenta con una capacidad máxima de 350 pacas de tamaño variable, con lo cual antes de entrar al proceso se verifica el número de pacas que entran para llevar un registro sobre las pacas fumigadas.

4. Sellado del cuarto de fumigación

Cuando todas las pacas han sido acomodadas, se procede a realizar un cierre hermético del cuarto, sellando los orificios, uniones y cualquier elemento en el que se pueda fugar el gas; el sellado se realiza con cinta adhesiva no especializada para este tipo de procesos, por último, se realiza una inspección visual de que no existan fugas.

5. Aplicación del fumigante

Se coloca en unas bandejas las tabletas de fosforo de aluminio (ph_3), distribuidos en el cuarto, de manera que la fumigación sea realizada uniformemente, se procede a activar la fosfina a través del contacto con la humedad ambiental, se lleva un control sobre fecha y hora en la que inició el proceso.

6. Periodo de exposición

Durante el tiempo que dure el proceso de fumigación se realiza un monitoreo visual sobre que no existan fugas y la prohibición al ingreso del área de cualquier persona que no sea el responsable del proceso de fumigación.

7. Retiro de Pacas

Se abre el cuarto de fumigación y se deja un periodo de tiempo de ventilación para que la concentración del gas disminuya, esta operación se realiza sin una herramienta con la cual medir las partes por millón, por lo cual se realiza de manera intuitiva en el tiempo que el jefe de área considera. Las pacas son retiradas por los operarios al área de almacenamiento de pacas que ya están listas para la producción interna

8. Limpieza final

Se realiza una inspección sobre el cuarto asegurándose que no exista residuos tóxicos y de ser así, se procede a su eliminación de manera controlada, de manera posterior se realiza una limpieza general, asegurándose de que el cuarto se encuentre listo para reiniciar el proceso cuando se requiera nuevamente.







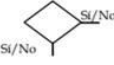




Símbolo	Significado	¿Para que se utiliza?
	Operación	Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento.
	Operación e Inspección	Indica la verificación o supervisión durante las fases del proceso, método o procedimiento de sus componentes.
	Inspección y Medición	Representa el hecho de verificar la naturaleza, cantidad y calidad de los insumos y productos.
	Transporte	Indica cada vez que un documento se mueve o traslada a otra oficina y/o funcionario.
	Entrada de bienes	Indica productos o materiales que ingresan al proceso.
	Almacenamiento	Indica el depósito permanente de un documento o información dentro de un archivo.
	Decisión	Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternativos.
	Líneas de flujo	Conecta los símbolos señalando el orden en que se deben realizar las distintas operaciones.
	Demora	Indica cuando un documento o el proceso se encuentra detenido, ya que se requiere la ejecución de otra operación o el tiempo de respuesta es lento.
	Conector	Conector dentro de página. Representa la continuidad del diagrama dentro de la misma página. Enlaza dos pasos no consecutivos en una misma página.
	Conector de página	Representa la continuidad del diagrama en otra página. Representa una conexión o enlace con otra hoja diferente en la que continua el diagrama de flujo.

Ilustración 10. Simbología ISO para flujogramas.

Fuente: <https://www.iso.org/home.html>

Flujograma

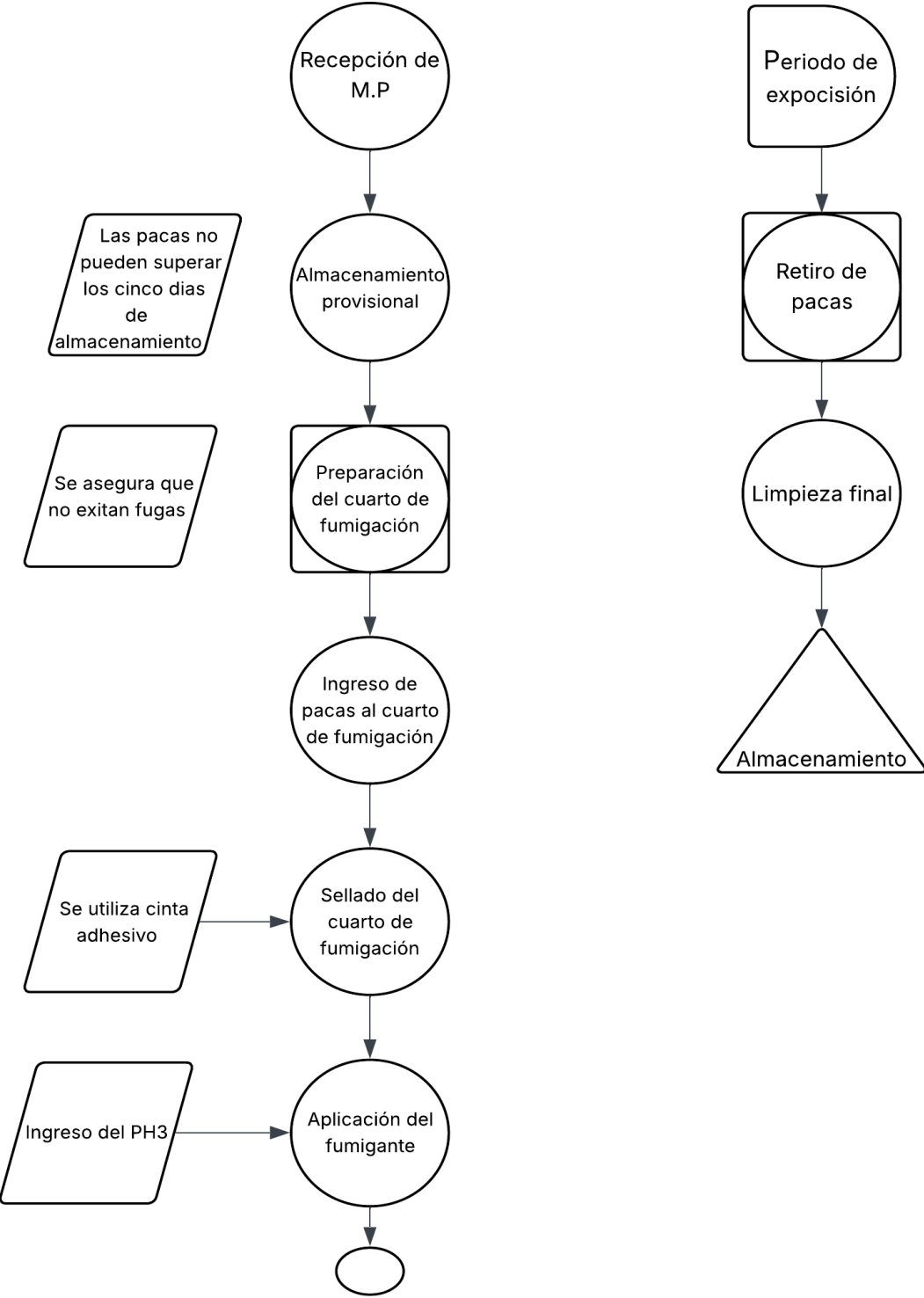


Ilustración 13. Flujograma del proceso de fumigación.

Fuente: elaboración propia

12.1.2. Diagnóstico del proceso

Para realizar el diagnóstico del proceso de fumigación se consolidó la información en la guía de observación, con el cual se evaluaron seis aspectos correspondientes a las 6M (Mano de obra, Máquina, Material, Método, Medición y Medio ambiente.), con el propósito de entender en múltiples aspectos los problemas encontrados.

	Nombre de la Empresa: A.J Fernández			
	Área: Cuarto de fumigación			
	Fecha: 03 de octubre 2025			
	Mediante la guía de observación y entrevista aplicaremos los siguientes parámetros.			
	Materiales	Si	No	Problemas Observados
1	¿El cuarto está hecho con los materiales adecuado?		X	Los materiales utilizados no son los adecuados para este tipo de cuarto.
2	¿se encuentran fugas en el cuarto durante la fumigación?	X		Se encuentran fisuras en donde se fuga el químico fumigador.
3	¿El tamaño del cuarto es suficiente para la cantidad de pacas que ingresan a fumigar?	X		
4	¿El cuarto cuenta con las condiciones necesarias para realizar las fumigaciones?		X	
5	¿De qué materia están hechas las paredes, techo y el piso del cuarto de fumigación?			Concreto y lamina gypsum, zinc y piso de concreto liso.
6	¿Utiliza un sistema de ventilación? ¿Qué tipo de sistema de ventilación o extracción se utiliza?		X	No tienen ningún sistema de ventilación ni extracción.

7	¿Las puertas resisten la presión y los químicos utilizados durante la fumigación?		X	
---	---	--	---	--

Tabla 3. Guía de observación.

Fuente: elaboración propia.

❖ Material

Para evaluar el material con el que se realiza la fumigación, durante la entrevista se preguntó “¿Qué tipo de productos químicos se utilizan para fumigar y cómo se aplican?” El encargado de recursos humanos expreso que el químico que siempre se ha utilizado es fosfina (PH₃), que es un gas incoloro, tóxico, altamente inflamable y con un olor característico a pescado o ajo podrido según (venus, 2020), aunque en su forma pura es inodora, lo que nos advierte de su toxicidad, expreso que la fumigación está en manos de un equipo especializado para realizarlo (IPSA) y su aplicación es colocar la pastilla de fosfina en cada paca de acuerdo con la dosis necesaria.

Para evaluar este apartado, se entiende el cuarto de fumigación como el material con el cual realizar el proceso, por lo cual, para evaluar el estado del cuarto de fumigación, se evaluó la infraestructura, ventilación, el sellado y su ubicación.

En la pregunta número dos de la entrevista realizada “¿De qué materiales está construido el cuarto?” el gerente general de pre industria respondió que los materiales del cuarto son materiales de construcciones usuales, como hormigón común, paredes sin un acabado uniforme con un cierto grado de porosidad, cuenta con un falso techo que esta deteriorado así que puede almacenar residuos tóxicos de los procesos de fumigación, eso sumado a que se generan pequeñas filtraciones de gas, debido a que el techo de zinc tiene un cierto número de orificios. Estos puntos son especialmente críticos debido a que la fosfina al contacto con el agua puede ocasionar una combustión espontánea, por lo cual orificios en el techo que puedan volverse goteras según el clima, generando un riesgo sobre la integridad de los colaboradores y las instalaciones.

En relación a la ventilación, el cuarto no cuenta con extractores para disminuir la densidad del fosforo de aluminio, el límite de exposición de la fosfina es de 0.3 ppm (publica)(partes por millón), por lo cual esperar que la ventilación natural disminuya la concentración incurre directamente en un riesgo con el colaborador que se expone al gas durante el proceso de extracción de las pacas.

En el aspecto de sellado, la empresa utiliza cinta adhesiva comercial o común, por lo cual puede perder adhesividad debido a factores como la humedad, la temperatura, el polvo del ambiente, por lo cual se puede filtrar el gas de dentro del cuarto de fumigación, atentando contra la seguridad ocupacional de los colaboradores.

Con respecto en donde se encuentra ubicado, el cuarto de fumigación se encuentra cerca del área administrativa de preindustria, del área de pílón capa y el área de almacenamiento de pacas; lo cual implica un riesgo innecesario, debido a que, si existe un fallo en el proceso de activación de ph_3 puede ser catastrófico para las zonas contiguas al cuarto de fumigación. Una de las recomendaciones básicas sobre el límite del área, es que los vehículos de motor no pueden acercarse en al menos 9 metros desde donde se activó la pastilla de ph_3 debido al riesgo de combustión, pero la empresa acerca vehículos medianos como camiones de 1.5 toneladas acercarse a menos de cinco metros del cuarto de fumigación.

❖ Método

El proceso de fumigación no cuenta con un manual de instrucciones sobre la fórmula para medir la cantidad de fosfina que se debe de utilizar por metro cuadrado, de igual forma que la activación de la fosfina se realiza de forma manual, generando un riesgo sobre el operario, ya que la fosfina puede hacer ignición espontanea en el aire a niveles sobre su menor límite de inflamación en un 1.8% v/v (18,000 ppm), con lo cual si se excede este nivel de concentración y la humedad del aire es suficiente puede incurrir en la ignición.

Posterior a la activación de la fosfina no se encuentra dentro de las actividades recomendadas la fabricación de avisos claros que evidencien a quien se acerque sobre la peligrosidad y el riesgo en el que se encuentran las personas aledañas al área, cuando según (insertar cita) “Deben incluir el nombre del fumigante, la fecha de fumigación, tiempo que durará la

fumigación, y el nombre de la compañía que conduce la fumigación con un teléfono para cualquier emergencia”.

En relación a la parte final del primer objetivo la empresa no cuenta con un método estandarizado de tratamiento de desechos, lo cual implica un riesgo ocupacional, debido que, al culmen de la fumigación con fosforo de aluminio, queda un polvo compuesto principalmente de hidróxido de aluminio, el cual es altamente toxico y debe de recibir un tratamiento especial en su recolección y posterior desecho.

En relación sobre la efectividad del método de fumigación según el entrevistado del IPSA comentó que en un 95% las fumigaciones son exitosas y se logra cumplir con el objetivo de eliminar las plagas de las pacas de tabaco ya que en el cuarto queda cerrado sin acceso durante 72 horas que es el tiempo estipulado para que mueran las plagas, también expresaron que los residuos son llevados a un predio alejado de la ciudad en donde las pastillas son enterradas y mientras realizan la fumigación siempre tienen sus equipos de protección personal; con lo cual se entiende que el personal de IPSA cumple con los procedimientos comunes al tratamiento de residuos, mientras que el personal interno de la empresa no cumple con estos procedimientos.

❖ Máquina

En relación a la maquinaria utilizada, la empresa realiza el proceso de manera manual, sin el apoyo de maquinaria para realizar la fumigación, con lo cual no es una necesidad de primera categoría, pero en la actualidad, los procesos de fumigación son asistidos por sistemas de tubería para la dosificación del gas de manera uniforme en el cuarto, a su vez que se utiliza extractores para realizar de forma rápida y segura la disipación del gas.

❖ Medición

Los procesos de fumigación con fosfina son delicados y requieren de un control sobre la ppm que genere el gas, por lo cual se recomienda el uso de manómetros para medir a concentración del gas y asegurarse que el proceso se realiza correctamente, en el cual se recomienda la primera inspección después de 6 a 24 horas después de dispensadas las formulaciones de fosforo de aluminio, acciones que la empresa no realiza sobre la medición del proceso y genera un riesgo implícito sobre la seguridad de los colaboradores.

❖ Mano de obra

En relación al personal que se ocupa de las operaciones del cuarto de fumigación, este no se encuentra capacitado técnicamente sobre el tratamiento con fosfina, por lo cual puede haber fallas sobre el adecuado procedimiento para realizar la fumigación.

Dentro de los problemas más graves en los que incurre la compañía, es en la ausencia de equipos y materiales para el tratamiento con fosfina, el personal no cuenta con calzado resistente a los químicos, ni guantes resistentes a los mismos químicos, trajes completos resistentes con capucha gafas de protección y máscara con respirador, esto debido a que cuando se aplique fosfuro de aluminio y fosfuro de magnesio, debe haber un equipo de respiración autónoma disponible en el sitio.

Según el nivel de concentración se debe de tener mayor precaución en relación a los equipos de protección respiratorios, como muestra la siguiente tabla:

Ppm de gas Fosfina	Protección respiratoria mínima
0.3 - 3.0	Suministre un respirador de aire
3.1 - 7.5	Suministre un respirador de aire operado en modo de flujo continuo
7.6 - 15 1	1. Aparato de respiración autónomo con la máscara completa 2. Suministre un respirador de aire con máscara completa 3. Purificador de aire con máscara completa con un cilindro frontal en la barbilla o montado en la espalda
16 - 50 1.	1. Suministre un respirador de aire con máscara completa y operado en modo de presión por demanda 2. Sistema de respiración autónomo con máscara completa operada en el modo de presión por demanda

Ilustración 16. Concentraciones de fosfina que ameritan uso de sistemas de respiración

Fuente: (Agrocalidad Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro, 2016)

❖ Medio Ambiente

En relación a las condiciones ambientales en las que se genere la fumigación son muy importantes, debido a que la humedad es un elemento alto riesgo en el tratamiento de fosfina, mientras que las bajas temperaturas no son adecuadas para realizar la fumigación, por lo cual

la ausencia de medios tecnológicos con lo cual regular las variables ambientales funciona como elementos de alto riesgo.

Check list de fumigación.			Fecha	
Detalles del cuarto.		Si	No	Observaciones
1	¿El cuarto posee las condiciones adecuadas para realizar la fumigación?		X	
2	¿La capacidad del cuarto y la dosis son calculadas conforme a la cantidad de materia a fumigar?	X		
Químicos y tratamiento de residuo.				
2	¿El químico que se utiliza en la fumigación es fosfina?	X		
3	Calculan Composición y porcentaje de los ingredientes activos.	X		
Higiene y seguridad.				
1	Señalización adecuada y de precaución.	x		
2	Iluminación adecuada dentro del cuarto.		x	
3	Señal de fecha que se realiza cada fumigación.	x		

Orden y aseo				
4	Pisos limpios en cada fumigación.	x		
5	Se elimina todo residuo después de cada fumigación.	x		
6	Revisan que no hallan fugas durante el proceso de fumigación y curado.	x		
Personal manipulador				
8	No uso de teléfonos, uñas largas, cabello sin protección, audífonos.	x		
9	Uniforme completo y adecuado en cada fumigación.	x		

Tabla 4. Check list de fumigación.

Fuente: elaboración propia.

Tras la aplicación del checklist en el área de fumigación, se obtuvieron resultados que permiten evaluar de forma integral el cumplimiento de los requisitos mínimos para llevar a cabo procesos de fumigación seguros, eficaces y acordes con la ley de higiene y seguridad 618.

12.1.3. Condiciones del Cuarto

Uno de los puntos más relevantes identificados es que el cuarto no posee condiciones adecuadas para realizar fumigaciones. Esta observación es crítica, ya que la infraestructura de este es un factor determinante para garantizar la hermeticidad y el confinamiento del gas fumigante. La ausencia de condiciones óptimas puede generar fugas, pérdida de efectividad en el tratamiento, y riesgos graves para la salud de los trabajadores y del entorno. Sin embargo, se destaca que la capacidad del cuarto y la dosis del químico son calculadas de acuerdo a la cantidad de materia a fumigar, lo cual indica un adecuado control técnico del proceso, al menos en términos cuantitativos.

El químico utilizado para la fumigación es fosfina, un compuesto altamente efectivo, pero también tóxico, por lo que requiere condiciones de aplicación extremadamente controladas. Se constató que el personal realiza el cálculo de la composición y del porcentaje de los ingredientes activos, lo cual es una práctica positiva que contribuye a la correcta dosificación y minimiza los riesgos de sobreexposición o aplicación ineficiente.

En cuanto a las condiciones de higiene y seguridad, el checklist evidenció cumplimiento en aspectos clave como:

Señalización de advertencia y precaución durante cada fumigación, pero falta de iluminación dentro de este cuarto de fumigación, se lleva un registro de fechas de cada fumigación. Estos elementos son fundamentales para garantizar que el personal esté informado y alerta sobre los riesgos presentes en el área durante y después del tratamiento.

El orden y limpieza en el cuarto de fumigación también se consideran adecuados. Se observó que los pisos están limpios después de que se realizó la fumigación y los residuos son eliminados tras cada tratamiento llevándolos lejos de la ciudad sin exponer ningún peligro, y que se realiza una revisión para detectar posibles fugas. Mas sin embargo esto no se resuelve del todo debido a que siempre hay fugas por las condiciones del cuarto y los materiales por los cuales él está compuesto.

La Conducta y Presentación del Personal Manipulador (personal del IPSA) si cumple con normas básicas de comportamiento del personal durante las fumigaciones: No se permite el uso de teléfonos móviles, uñas largas, cabello sin protección ni audífonos, lo cual evita distracciones y reduce riesgos de contaminación y incidentes, así como también el uso de uniforme completo y adecuado también se encuentra conforme, lo que contribuye a la protección personal y al cumplimiento de normas de bioseguridad.

Logrando así analizar varios puntos se determina practicas correctas en cuanto al trato del químico al momento de aplicarlo, pero una gran deficiencia estructural comprometiendo la seguridad de toda la operación y la calidad por fugas representando un riesgo latente para el personal expuesto.

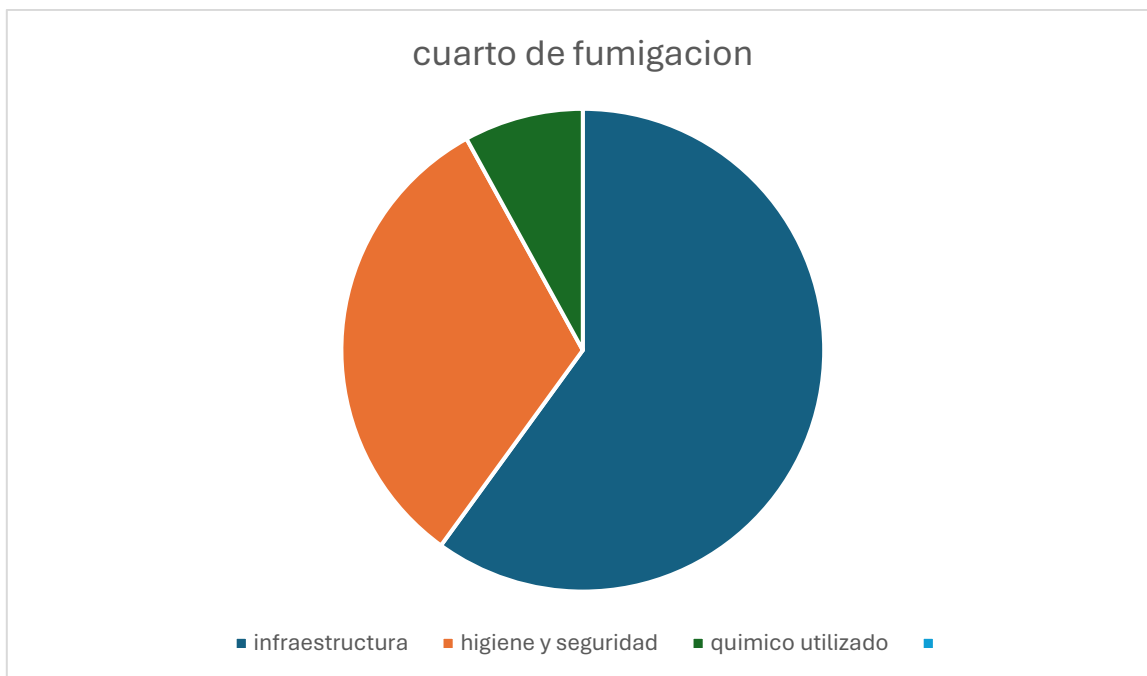


Ilustración 19. Gráfico de evaluación del cuarto de fumigación.

Fuente: Elaboración propia.

Infraestructura: se considera que el 60% de este estudio se centra en la estructura del cuarto y los materiales inadecuados que este posee, posicionándose como la prioridad de mejora.

Higiene y seguridad: Es importante y clave para llevar a cabo cada fumigación poner en práctica las normas de higiene y seguridad en un 32 % de esta investigación.

Químico utilizado: la fosfina como tal en esta investigación no es una razón para plantear como problema, sin embargo, en un 8% se considera importante porque es el químico utilizado y que forma parte del cuarto de fumigación en donde las cantidades de químico son calculadas por el tamaño del cuarto y la concentración dentro del cuarto.

Principales conclusiones del diagnóstico:

- Uno de los puntos más críticos es que el cuarto no está construido con materiales adecuados para este tipo de procedimiento. Aunque se identificó que las paredes están hechas de concreto y lámina gypsum, el techo de zinc y el piso de concreto liso, estos materiales no garantizan un sellado hermético ni resistencia suficiente ante la

exposición prolongada a agentes químicos. Este aspecto se ve reflejado en las fisuras que se encuentran en la infraestructura, lo cual permite la fuga del químico fumigador, reduciendo la efectividad del tratamiento y generando riesgos de intoxicación.

- También se identificó la ausencia total de un sistema de ventilación o extracción, lo cual constituye una grave omisión desde el punto de vista de seguridad ocupacional. En procesos de fumigación, es fundamental contar con mecanismos que permitan controlar la concentración de gases tóxicos y asegurar la evacuación segura del personal una vez finalizado el procedimiento.
- Otra limitante que va en contra es la puerta del cuarto, no son adecuadas ya que el material no es apto por la mala calidad. Esto no solo puede comprometer la calidad, sino también contribuir a las fugas de gas y comprometer el confinamiento de los productos durante el proceso de fumigación. Las razones principales para hacer que las habitaciones fumigadas sean herméticas son evitar la liberación de fumigantes, mantener la concentración de fumigante requerida y evitar el escape de agentes biológicos. Para la capacidad de sellado de la fumigación, los principales problemas son la hermeticidad de la construcción de la envolvente de la habitación, la compatibilidad de materiales y el espacio cerrado y las áreas adyacentes durante todo el ciclo de fumigación. (LINKEDIN, 2023)
- Pese a todas estas deficiencias, se reconoce que el tamaño del cuarto es adecuado para la cantidad de pacas que se manipulan, lo cual facilita la organización y la aplicación uniforme del químico. No obstante, el simple cumplimiento de este parámetro no compensa las demás carencias, ya que el entorno físico general no cuenta con las condiciones mínimas necesarias para realizar fumigaciones de forma segura y eficaz o de fumigación esta realizado con materiales comunes.

12.2. Requisitos técnicos, de seguridad y normativos basados en la Ley 618 que debe cumplir el nuevo diseño adecuándose al manejo de productos químicos

Para la realización de este objetivo se consultó los apartados de la ley 618 y NTON, sobre sus acápites aplicables a la industria del tabaco y en particular sobre los cuartos de fumigación, con el propósito de generar una serie de requerimientos técnicos que cumplan con las recomendaciones de diseño y procedimientos sobre el proceso de fumigación.

12.2.1. Revisión documental de la normativa 618 sobre fumigación

En relación a la infraestructura que debe de seguir un espacio de trabajo la ley 618 en los artículos describe:

- Artículo 87.- El pavimento constituirá un conjunto homogéneo, llano y liso sin soluciones de continuidad; será de material consistente, no resbaladizo o susceptible de serio con el uso y de fácil limpieza, estará al mismo nivel y de no ser así se salvarán las diferencias de alturas por rampas de pendiente no superior al 10 por 100.
- Artículo 88.- Las paredes serán lisas y pintadas en tonos claros y susceptibles de ser lavadas o blanqueadas.
- Artículo 89.- Los techos deberán reunir las condiciones suficientes para resguardar a los trabajadores de las inclemencias del tiempo. Si han de soportar o suspender cargas deberán ofrecer resistencia suficiente para garantizar la seguridad de los trabajadores.

Por otra parte, sobre los riesgos que implica el proceso de fumigación, en términos generales sobre “Las condiciones de higiene industrial en los lugares de trabajo”, el artículo 114 describe que:

- Artículo 114.- La evaluación de los riesgos para la salud de los trabajadores en los centros de trabajo deberá partir de:
 1. Una Evaluación Inicial de los Riesgos que se deberá realizar con carácter general para identificarlos, teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad, la cual se deberá realizar con una prioridad mínima de una vez al año.
 2. La evaluación será actualizada cuando se produzcan modificaciones del proceso, para la elección de los Equipos de Protección Personal, en la elección de sustancias o

preparados químicos que afecten el grado de exposición de los trabajadores a dichos agentes, en la modificación del acondicionamiento de los lugares de trabajo o cuando se detecte en algún trabajador una intoxicación o enfermedad atribuible a una exposición a estos agentes.

3. Si los resultados de la evaluación muestran la existencia de un riesgo para la seguridad o salud de los trabajadores por exposición a agentes nocivos, el empleador deberá adoptar las medidas necesarias para evitar esa exposición.

En el capítulo VIII sobre las sustancias químicas en ambientes industriales, los artículos 129 y 130 hacen referencia sobre los criterios con el cual evaluar los riesgos a la exposición química y consecuentemente sobre la obligación del empleador de cambiar las instalaciones en caso de no contar con los espacios de trabajo adecuadamente condicionados o si no se cuenta con el equipo de protección pertinente para el tratamiento de químicos.

- Artículo 129.- El Ministerio del Trabajo en uso de sus facultades de protección a la salud de los trabajadores, dictará para las sustancias químicas que se detecten en los diferentes centros de trabajo, los valores límites de exposición del trabajador. Estos valores se establecerán de acuerdo a criterios internacionales y a las investigaciones nacionales que se realizan en esta materia. Se faculta a la Dirección General de Higiene y Seguridad del Trabajo, para tomar como referencia en sus inspecciones los valores THRESHOLD LIMIT VALUES (T.L.V.) de la American Conference Of Governmental Industrial Hygienists (A.C.G.I.H.). (A.C.G.I.H)
- Artículo 130.- Cuando en el medio de trabajo se rebasen los límites de tolerancia a los que hace referencia el apartado anterior, el empleador corregirá sus instalaciones o adoptará las medidas técnicas necesarias para anular o disminuir los contaminantes químicos presentes en su establecimiento hasta límites tolerables, y en su caso, cuando ello fuera imposible, facilitará a sus trabajadores los medios de protección personal, debidamente homologados, preceptivos y adecuados a los trabajos que realicen.

Sobre la señalización que debe de seguir el cuarto de fumigación el título VIII sobre “De la señalización” indica las instrucciones visuales obligatorias con las que debe de contar el cuarto indicado en el artículo 139 y artículo 147.

- Artículo 139.- Deberán señalizarse adecuadamente, en la forma establecida por la presente ley sobre señalización de higiene y seguridad del trabajo, las siguientes partes o elementos de los lugares de trabajo. Las zonas peligrosas donde exista peligro de caída de personas, caídas de objetos, contacto o exposición con agentes o elementos agresivos y peligrosos.
- Artículo 147.- Toda sustancia peligrosa llevará adherida a su embalaje, dibujos o textos de rótulos y etiquetas, que podrán ir grabados o pegados al mismo, en idioma español y en caso concreto de las Regiones Autónoma del Atlántico, ser traducido al idioma local, cuando fuese necesario.

En relación a normativas que son más explícitas sobre el tratamiento y manejo de plaguicidas se citó la NTON 02 010-02 sobre “Norma técnica ambiental para la clasificación ecotoxicológica y etiquetado de plaguicidas, sustancias tóxicas peligrosas y otras similares”.

Debido a que no existe una especificación gubernamental sobre la ley o el tratamiento específico de la Fosfina se procedió a clasificar la fosfina en tres aspectos propuestos por la normativa NTON 02 010-02:

- Clasificación según características fisicoquímicas: según la normativa La información necesaria para clasificar los plaguicidas, sustancias tóxicas, peligrosas y otras similares de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas, deberán estar fundamentada en estudios realizados según métodos reconocidos por Organismos Internacionales como la Unión Europea (UE), Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (U. S. EPA) y otros.

Según la NTON corresponde a la clasificación R18 de “AI usarlo, pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas / inflamables”. Congruente con la definición de la ONU: 2199, que define la fosfina como un gas que es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante, sobre los riesgos químicos que genera, se descompone al calentarla intensamente y al arder. Esto produce humos tóxicos incluyendo óxidos de fósforo. Reacciona violentamente con aire, oxígeno, oxidantes tales como óxidos de cloro, óxidos de nitrógeno, nitratos

metálicos, halógenos y muchas otras sustancias. Esto genera peligro de incendio y explosión. Ataca muchos metales (Organización Mundial de la Salud, 2018).

12.2.2. Clasificación según sus efectos tóxicos en mamíferos.

En caso de corresponder a líquidos emulsificables o emulsiones concentradas, debe además considerarse en los cálculos de DL50 (dosis letal 50/concentración letal 50) la toxicidad del vehículo del ingrediente activo. Clasificación según sus efectos tóxicos 1

Categoría toxicológica	DL50 oral rata mg/kg	CL50 Inhalatoria rata mg/1de aire inhalado/4h	DL50 cutánea Rata o conejo mg/kg
	Sólidos	Líquidos	Vapor y gases Aerosoles Sólidos/ Líquidos SólidosLíquidos
I a Extremadamente peligroso	5 ó menos	20 ó <	< de 0.5< de 0.2510 ó <40 ó <
I b Altamente peligroso	> de 5 hasta 50	> de 20 hasta 200	De 0.5 hasta 2De 0.25 hasta 1> de 10 hasta 100> de 40 hasta 400
II Moderadamente peligroso	>de 50 hasta 500	> de 200 hasta 2000	> de 2 hasta < 20> de 1 hasta < 5.0> de 100 hasta 1000> de 400 hasta 4000
III Ligeramente peligroso	> de 500 hasta 2000	> de 2000 hasta 3000	> de 20> de 5> de 1000> de 4000

Ilustración 20. Cuadro de la Clasificación de Plaguicidas Según peligrosidad y vías de administración según la OMS 1996-1997

Fuente: OMS.

$$L = 3.03 \text{ mg/kg}$$

$$A = \frac{3.03 \times 100}{1} = 3.03$$

$$A = \frac{3.03 \times 100}{0.1} = 3030$$

Vía de exposición	Valor	Categoría según tabla	Grado de peligro
Oral (rata)	3.03 mg/kg	I a	Extremadamente peligrosa
Inhalatoria	0.015 mg/L	I a	Extremadamente peligrosa
Cutánea	> 2000 mg	III	Ligeramente peligrosa

Tabla 5. Clasificación de químicos según su exposición y peligrosidad.

Fuente: elaboración propia a partir de la ley 618

Por lo tanto, según las diferentes clasificaciones de la NTON en toxicidad en mamíferos se cataloga el ph3 como extremadamente peligrosa, por lo cual la correcta selección de materiales para la construcción del cuarto y el seguimiento de la normativa pertinente es fundamental.

- Criterios de clasificación según sus efectos sobre el ambiente: Las sustancias se clasificarán como peligrosas para el ambiente de acuerdo con los criterios establecidos a continuación. También se les asignarán las frases de riesgo en función de los criterios siguientes

R54. Tóxico para la flora.

R55. Tóxico para la fauna.

R56. Tóxico para los organismos del suelo.

R57. Tóxico para las abejas.

R58. Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.

La fosfina ph3 cumple con los apartados de R55 de tóxico para la fauna, pues puede ser letal para los mamíferos que se exponen al gas, al igual que el R57, en el cual afecta fuertemente a las abejas, lo demás criterios de toxicidad ambiental generan un riesgo medio/bajo en relación sobre la fosfina.

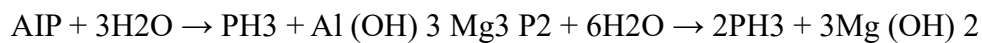
12.3. Requisitos técnicos del cuarto de fumigación

12.3.1. Infraestructura

En relación a las paredes y el suelo, deben de ser recubiertas con un material impermeable, que no contengan porosidad que permita la absorción de fosfina, con lo cual se seleccionó que el material más seguro y práctico para el proceso de fumigación son las láminas de polietileno de alta densidad, el polietileno es un termoplástico compuesto por una cadena de

moléculas de etileno, con lo cual se caracteriza por su alta resistencia a la exposición química, tener un peso extremadamente ligero, de alta maleabilidad con lo cual se puede diseñar piezas específicas para el sellado entre las uniones en las que se pueda filtrar el gas, por lo cual se considera que es un material que responde de manera ideal ante los desafíos que presenta la fumigación de fosfina.

Las formulaciones de PH_3 para fumigar que se colocan en tabletas tienen un bajo peso molecular (33,99758 gramos por mol), un bajo punto de ebullición ($-87,7^\circ\text{C}$) y una densidad de 1,38 kilogramos por metro cúbico, lo que lo hace ligeramente más pesado que el aire. Esta propiedad le otorga una alta capacidad de penetración en materiales, por lo cual para una correcta liberación del gas se sigue la formulación:



Donde el fósforo de aluminio entra en contacto con el agua o con la humedad, donde los iones de hidrógeno del agua reaccionan con el anión del fósforo, generando la reacción de la fosfina en gas, con lo cual el aluminio metálico se oxida y se hidrata, formando el hidróxido de aluminio.

Teniendo en cuenta lo anterior, el polietileno de alta densidad es una cadena de hidrocarburo saturado con enlaces C–C y C–H estables y químicamente poco reactivos, mientras que la fosfina es muy estable ante hidrocarburos saturados, por lo cual a temperatura ambiente y sin un activador especial, es prácticamente imposible la reacción entre la matriz de los polímeros y el PH_3 .

La puerta debe tener propiedades completamente herméticas y ser construida de acero inoxidable, debido a que las aleaciones de otros metales en reacción con la fosfina pueden provocar corrosión y desarrollo de sarro, comprometiendo la integridad de la puerta, generando un peligro para el personal que la manipule; la reacción entre la fosfina y el acero inoxidable es de tipo pasiva, por lo cual no se genera ningún tipo de reacción química, la capa de cromo (Cr_2O_3) que protege el acero inoxidable, con lo cual no se compromete la estructura metálica; las dimensiones de la puerta deben ajustarse al tamaño de las pacas promedio que rondan entre los 54 cm y los 70 cm entre el ancho y el largo, por lo cual, el diseño estándar de 203 cm de alto y 91 cm de ancho es adecuado para el diseño.

Para evitar el riesgo de contaminación por los residuos que dejan las pastillas o tabletas de PH₃, se recomienda utilizar una serie de bases o estructuras de madera que eviten el contacto del suelo con las pacas, la madera es un material ligero, resistente, de bajos costos y que no tiene ni un tipo de reacción química ante el contacto directo con el PH₃, por lo cual es ideal para mantener la integridad de las pacas.

12.3.2. Ventilación

El cuarto de fumigación requiere por sus dimensiones, un extractor de aire, se recomienda utilizar uno de polietileno siguiendo una tubería plástica que se dirija a una zona especial donde el gas se disuelva sin peligrosidad, el extractor recomendado es el “ventilador/extractor, com-pax-ial cd (12v)”, debido que las seis aspas de polipropileno no reaccionan químicamente con el PH₃, el motor de 1/4 HP permite una rápida ventilación del espacio, cumpliendo con el parámetro de ventilar la ventilación en un periodo de 30 minutos, con un rango de flujo de 816 CFM (m^3/h).

La ley 618 estipula la necesidad de mantener el aire respirable y con la ppm de gases tóxicos regulados, con concentraciones de fosfina menores al 0.3 ppm, por lo cual el extractor cumple adecuadamente con las especificaciones para que el área sea correctamente ventilada.

12.3.3. Equipamiento de seguridad

Para activar el PH₃ en el proceso de inmersión, los equipos y materiales básicos, deben de ser:

- Calzado resistente a químicos (botas de goma)
- Guantes resistentes a productos químicos (neopreno)
- Trajes resistentes a los químicos con capucha para exposiciones sobre la cabeza
- Gafas de protección
- Máscaras y respirador

Los elementos para realizar la inmersión con el cual activar el PH₃ son:

- Papel periódico u otro papel absorbente
- Recipientes para realizar mezclas y recipientes para hacer la inmersión con tapa para evitar derrames durante el transporte y almacenaje

- Cajas nuevas (cuando no se pueden reacondicionar las cajas originales o no se puede eliminar de las mismas el exceso de contaminación)

La lenta evolución de la fosfina desde el fosfuro de aluminio permite al operario dispense las tabletas, placas de polietileno o cintas para sellar cualquier fisura posible, en forma segura generalmente sin la necesidad de usar un equipo de respiración.

Sin embargo, se debe usar el aparato de respiración:

- durante la exposición a concentraciones que excedan el límite de exposición a corto plazo
- cuando la concentración es desconocida.
- se está verificando una posible fuga.

Las concentraciones de referencia para utilizar se encuentran descritas en el siguiente cuadro:

Ppm de gas Fosfina	Protección respiratoria mínima
0.3 - 3.0	Suministre un respirador de aire
3.1 - 7.5	Suministre un respirador de aire operado en modo de flujo continuo
7.6 - 15 1	1. Aparato de respiración autónomo con la máscara completa 2. Suministre un respirador de aire con máscara completa 3. Purificador de aire con máscara completa con un cilindro frontal en la barbilla o montado en la espalda
16 - 50 1.	1. Suministre un respirador de aire con máscara completa y operado en modo de presión por demanda 2. Sistema de respiración autónomo con máscara completa operada en el modo de presión por demanda

Ilustración 21. Concentraciones de fosfina que ameritan uso de sistema de respiración

Fuente: (Agrocalidad Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro, 2016).

Fuera del cuarto de fumigación debe de colocarse un extintor de tipo “D” que permite que el operador mantenga distancia del calor extremo y los humos tóxicos, en caso de que se produzca un incendio; el extintor tipo “D” proporciona una aplicación no dispersante del agente extinguidor. El aplicador de extensión puede desprenderse rápidamente para proporcionar una corriente recta del producto químico cuando se requiera un mayor alcance.

La señalización de fuera del cuarto de fumigación debe de contar con la simbología adecuada que describa el grado de peligrosidad de la fumigación con fosfina la organización mundial de la salud, recomienda el siguiente clasificado y etiquetado.


CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Conforme a los criterios del GHS de la ONU

Gas extremadamente inflamable Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta Mortal si se inhala Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares
Transporte Clasificación ONU Clase de Peligro ONU: 2.3; Peligro Secundario ONU: 2.1

Ilustración 22. Clasificación y etiquetado de fosfina

Fuente: ONU.

12.3.4. Procedimientos operativos

El proceso de fumigación del cuarto de fumigación propuesto consta de inicialmente del control sobre el ingreso del registro personal. Los ingresos al cuarto de fumigación para preparar la activación de la tableta de PH₃, antes de ingresar se debe de registrar en una hoja de control el nombre del operario, la hora de entrada, la hora de salida y el propósito de la visita al cuarto, se debe de verificar en la misma hoja el uso de equipo de personal pertinente según la concentración de gas expuesta con anterioridad.

También se debe de llevar un registro de los procesos de fumigación, en el que se describa todas las actividades realizadas desde la preparación del cuarto hasta la ventilación del mismo en su finalización. El registro debe de contar con:

- Preparación del cuarto de fumigación: se realiza la limpieza del cuarto, se colocan las pacas en las plataformas de madera se ordenan en columnas simétricas que permitan la correcta circulación del gas, se revisa que no exista ningún tipo de fuga, garantizado la hermeticidad del cuarto, de manera posterior se colocan carteles visibles y legibles

sobre el peligro de la fosfina y el proceso de fumigado que se está realizando en el cuarto.

El cuarto de fumigación cuenta con una altura de 3.76 metros, un ancho de 4.51 metros y un largo de 9.68 metros.

Volumen del prisma rectangular = longitud \times anchura \times altura

$$V = 3.76 \text{ metros} \times 4.51 \text{ metros} \times 9.68 \text{ metros.}$$

$$V = 164.14 \text{ m}^3$$

Posterior al muestreo promedio de los tamaños de la paca que no están estandarizadas se determinó que el volumen de las pacas ronda los 0.504 metros cúbicos, por lo cual dentro de la capacidad teórica del cuarto es de 325.6 pacas, pero siguiendo las orientaciones de dejar un pasillo para una mejor circulación de gas, se diseñó un espacio de pasillo de 0.60 metros, por lo cual se ajusta la eficiencia de ocupación a un 80%, con lo cual la capacidad real de almacenamiento es de 260.48 pacas.

Para asegurar la carga máxima que puede resistir el suelo en el que se encuentran las pacas se utiliza la fórmula:

$$P = \frac{\text{Peso}_{total}}{\text{Área}_{piso}}$$

$$P = \frac{10000 \text{ kg}}{43.65 \text{ m}^2}$$

$$P = \frac{10000 \text{ kg}}{43.65 \text{ m}^2}$$

$$P = 228 \text{ kg/m}^2$$

Con lo cual aumentar el peso por encima de esta carga sobre el área, podría realizar modificaciones sobre la infraestructura del suelo

- Dosificación: La tasa de dosificación de fosforo de aluminio se mide en gramos por m³ y varía con el producto. La dosis inicial de fumigante se determina por el volumen de espacio a ser fumigado y la dosis de fosfina necesaria para matar la plaga objetivo. Para calcular el número de tabletas o pellets de fosforo de aluminio y fosforo de magnesio requeridas para una fumigación se considera, la tasa de dosificación, el volumen del recinto y los gramos liberados depende del producto.

Cálculo de gramos necesarios:

$$PH_3 = \text{dosis } (g/m^3) \times \text{Volumen del recinto}$$

$$PH_3 = 1 \text{ g/m}^3 \times 164.14 \text{ m}^3$$

$$PH_3 = 164.14 \text{ g}$$

Cálculo de número de unidades

$$\text{No Tabletas} = \frac{PH_3}{PH_3/\text{Tableta}}$$

$$\text{No Tabletas} = \frac{1.0 PH_3}{164.14 PH_3/\text{Tableta}}$$

$$\text{No Tabletas} = 165 \text{ tabletas}$$

Utilizando una dosis de $2 \text{ g } PH_3 / \text{m}^3$

$$PH_3 = \text{dosis } (g/m^3) \times \text{Volumen del recinto}$$

$$PH_3 = 2 \text{ g/m}^3 \times 164.14 \text{ m}^3$$

$$PH_3 = 328.28 \text{ g}$$

Cálculo de número de unidades

$$\text{No Tabletas} = \frac{1.0 PH_3}{328.28 PH_3/\text{Tableta}}$$

$$\text{No Tabletas} = 329 \text{ tabletas}$$

Cálculo de ventilación post-fumigación

Número de renovaciones de aire por hora (N)

$$N = \frac{Q}{V}$$

En el cual Q es el caudal de aire y V es el volumen del cuarto

$$N = \frac{816 \text{ m}^3/h}{164.14 \text{ m}^3}$$

$$N = 4.97 \text{ h}$$

Con lo cual para renovar óptimamente el aire post fumigación, se necesita una renovación de 5 veces por hora, teniendo en cuenta eso, se calculó el tiempo de ventilación necesario con lo cual se utilizó la siguiente formula:

$$t = \frac{N_{requerido}}{N}$$

$$t = \frac{12}{4.97 \text{ h}}$$

$$t = 2.41$$

Con lo cual se concluye que en un periodo de 2.41 horas se debe renovar completamente el aire de la habitación 5 veces para realizar una correcta ventilación posterior a la fumigación.

Para asegurar una correcta fermentación se utilizó el cálculo del grado de hermeticidad, se utilizó la formulación asumiendo un tiempo de exposición de 48 horas:

$$QF = \frac{V}{T} \times (1 - e^{-t/T})$$

$$QF = \frac{164.14}{48} \times (1 - e^{-0.10/48})$$

$$QF = 0.360 \text{ m}^3/h$$

Con lo cual la fuga máxima permitida en el proceso de fumigación es de $0.360 \text{ m}^3/h$

- Activación: se colocan en las bandejas en puntos uniformemente distribuidos a través del cuarto, de manera que el gas se distribuya uniformemente en el cuarto de fumigación.
- Periodo de fumigación: según el nivel de concentración la fumigación puede durar entre 48 y 72 horas, durante ese periodo, el cuarto debe de estar totalmente hermético, con entradas registradas del personal en solo caso de necesidad para monitorear el proceso.
- Ventilación: posterior al proceso de exposición, se utiliza el extractor de aire “ventilador/extractor, com-pax-ial cd (12v)”, con el cual se ventila el cuarto

disminuyendo la concentración de ppm a niveles menores a 0.3 ppm, retirando el gas a través de una tubería de polietileno.

12.3.5. Formato de registro de entrada del personal al cuarto de fumigación:


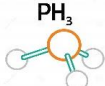

Registro de ingreso de personal			
Código de pacas		No. Pacas	
Fecha de inicio		Dosis de PH3 aplicada	
Fecha de finalización		Responsable	
Equipo de protección personal		Observaciones	
Botas de goma			
Guantes de goma			
Trajes completos			
Gafas de protección			
Mascara con respirador			

Tabla 6. Registro de ingreso del personal al cuarto de fumigación

Fuente: elaboración propia

Para sistematizar la información sobre el tratamiento adecuado de la fosfina, se realizó una hoja de datos de seguridad de sustancias químicas, con el propósito de definir los parámetros de tratamiento del PH3 y cumplir con los requisitos de seguridad estipulados en la ley 618.

DATOS DE SEGURIDAD

	Hoja de datos de seguridad de sustancias químicas	 PH₃ Phosphine	Fosforo de aluminio Elaboración: 3/11/2025 Revisión: N.A
Sección I. identificación de la sustancia y datos generales de la empresa			
1. Nombre de la sustancia química: Fosfina (Fosforo de aluminio)			
2. Uso recomendado y restricciones de la sustancia: La fosfina se usa como fumigante para controlar plagas en productos almacenados como granos y frutos secos, pero requiere precauciones estrictas debido a su alta toxicidad, inflamabilidad y explosividad.			
3. Nombre del fabricante: N.D 4. Distribuidor: N.D	5. En caso de emergencia comunicarse a: Bomberos: 2713 2413 Cruz Blanca: 2713 2330		
Sección II. identificación de peligros			
	Palabra de advertencia:		Prevención:
	Peligro Indicación de Peligro: R12. Extremadamente inflamable R15. En contacto con el agua libera gases extremadamente inflamables R14. Reacciona violentamente con el agua R28. Muy tóxico por ingestión R27. Muy tóxico en contacto con la piel R26. Muy tóxico por inhalación R39. Peligro de efectos irreversibles muy graves R48. Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada	P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas o llamas abiertas P260: No respirar los gases o vapores P280: Llevar guantes, ropa y protección P301+P310: EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o a un médico P304+P340: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en reposo P310: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o médico P403: Almacenar en un lugar bien ventilado P405: Guardar bajo llave P501: Eliminar el contenido o el recipiente de acuerdo con las regulaciones locales	
Sección III. Información de la sustancia química			
1. Nombre químico: Fosforo de aluminio	2. Nombre comercial: fosfina		
Formula: PH ₃	4. Sinonimos: fosforo de hidrógeno e hidrógeno fosforado		
3. Porcentaje y nombre de los componentes: PH ₃ entre 56 % y 60 % , carbonato de amonio (37–40 %) y aditivos inertes (3–4 %).	5. No. CAS: 7803-51-2	6. No. ONU: 2199	
7. Impurezas y aditivos estabilizadores: N.D			
Sección IV. Primeros Auxilios			

Sección IV. Primeros Auxilios		
1. Vía de entrada	2. Primeros auxilios	
Oral	NO INDUCIR AL VÓMITO. Si la víctima se encuentra consciente, dar a beber agua inmediatamente.	
Cutánea	Lavar la zona afectada con agua al menos por 20 minutos. Si es necesario, eliminar la ropa contaminada.	
Ocular	Lavar los ojos con agua corriente asegurándose de abrir bien los párpados, por lo menos durante 20 minutos.	
Respiratoria	Transportar a la víctima a una zona ventilada. Si se encuentra inconsciente, proporcionar respiración artificial. Si se encuentra consciente, sentarlo lentamente y proporcionar oxígeno.	
Efectos por exposición aguda: Náusea, vómito, tos, dolor de cabeza, mareo, dificultad respiratoria, arritmias cardíacas, hipotensión, daño hepático/renal en exposiciones altas; puede ser fatal.		
Efectos por exposición crónica: Exposición repetida puede afectar sistema nervioso central y órganos internos.		
Indicaciones médicas: NUNCA debe administrar nada por la boca a una persona inconsciente.		
EN CUALQUIERA DE LOS CASOS BUSCAR ATENCIÓN INMEDIATAMENTE		
Sección V. Medidas contra incendios		
1. Medio de extinción		
Agua <input type="checkbox"/> Espuma <input checked="" type="checkbox"/> CO2 <input checked="" type="checkbox"/> Polvo químico <input checked="" type="checkbox"/> Otros medios <input type="checkbox"/>		
2. Productos tóxicos de la combustión: hidróxido de aluminio		
3. Equipo de protección personal: Traje de protección completo y equipo de respiración autónoma		
4. Condiciones que conducen a otro riesgo especial: reacciona violentamente con el contacto con el agua, riesgo de provocar incendios		
5. Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios: Evacue el área al menos 50 metros a la redonda. Cuando este compuesto se involucra en incendios, se debe de utilizar equipo de respiración autónoma. NO UTILIZAR AGUA para extinguir el incendio. En caso de incendios grandes: Inunde el área de incendio con CO2 o Polvo químico a una distancia segura.		
Sección VI. Medidas en caso de derrame o fuga accidental		
1. Procedimiento y precauciones especiales: Utilizar bata, lentes de seguridad y guantes. Dependiendo de la magnitud del derrame, será necesario la evacuación del área y la utilización de equipo de respiración autónoma. Alejar del derrame cualquier fuente de ignición. Evitar que llegue al drenaje, alcantarillado o fuentes de agua.		
2. Equipo de Protección: Bata, lentes de seguridad y guantes químicamente resistentes.		
3. Precauciones relativas hacia el medio ambiente: No dejar que el producto entre a fuentes de agua, al sistema de drenaje o al alcantarillado. La descarga en el ambiente		
Sección VII. Manejo y almacenamiento		
1. Precauciones para garantizar un manejo seguro: Manipular únicamente en áreas bien ventiladas y con equipos de protección respiratoria adecuados. Evitar toda fuente de ignición, chispas o calor, y nunca respirar los vapores del gas.		
2. Condiciones de almacenamiento seguro: Mantener los cilindros o envases en lugares frescos, secos y bien ventilados, alejados de materiales oxidantes. Proteger de la luz solar directa y de temperaturas superiores a 50 °C.		
Sección VIII. Control de exposición y protección personal		
1. Equipo de protección personal: Lentes de seguridad, guantes y respirador para polvos	3. Grados de riesgo (HMIS)	
2. Control Técnico: Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lavarse las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.	Salud	Inflamabilidad
	3	4
	Reactividad	3
	Equipo de protección personal	
Sección IX. Propiedades físicas y químicas		

Sección IX. Propiedades físicas y químicas		
1. Estado físico, color y olor: Gas incoloro.		2. Umbral de olor: 0.14 ppm para un suave olor a ajo o pescado
3. pH: NA		4. Temperatura de fusión: -133.5 grados centigrados en estado puro
5. Masa molar: 34.00 g/mol		6. Temperatura de ebullición: -87. 4 grados centigrados
7. Temperatura de inflamación: 100 grados centigrados		8. Velocidad de evaporación: NA
9. Porcentaje de Volatilidad: Alta volatidad		10. Presión de vapor: 3,530 kPa
11. Densidad de vapor: 1.18		12. Densidad relativa: 0.75
13. Solubilidad de agua: poco soluble		14. Coeficiente de Partición n-octanol/agua: NA
15. Temperatura de autoignición: 38 grados centigrados		16. Temperatura de descomposición: NA
17. Viscosidad: NA		18. Límites de inflamabilidad: 1.79%
Sección X. Estabilidad y Reactividad		
1. Sustancia <input checked="" type="checkbox"/> Estable <input type="checkbox"/> Inestable		2. Incompatibilidad: agentes oxidantes, halógenos, metales corrosibles y ácidos
3. Productos peligrosos de la descomposición:		
4. Polimerización peligrosa: <input type="checkbox"/> Puede ocurrir <input checked="" type="checkbox"/> No puede ocurrir		5. Condiciones a evitar: altas temperaturas, chispas, humedad, concentraciones de gas en 1.79 % en volumen
Sección XI. Información Toxicológica		
1. Vía	2. Síntomas	3. Corrosión/Irritación
Cutánea	Puede causar irritación, enrojecimiento, quemazón y dolor local.	si
Ocular	Enrojecimiento, dolor y sensación de quemazón en los ojos.	si
Oral	Vómitos intensos, dolor abdominal agudo y diarrea; puede haber un olor a ajo en el aliento	si
Respiratoria	Irritación de nariz, garganta, tos; náuseas, vómitos, opresión en el pecho y mareos.	si
1. Sustancia química considerada como: <input type="checkbox"/> Carcinogénica <input type="checkbox"/> Mutagénica <input type="checkbox"/> Teratogénica		
Sección XII. Información Ecotoxicológica		
1. Toxicidad: Muy tóxico para los organismos acuáticos		
2. Persistencia y degradabilidad: N.A		
3. Potencial de biocumulación: No se acumula en la cadena alimentaria		
4. Movilidad en el suelo: N.A		
5. Otros efectos adversos: No se debe permitir que el producto este en contacto con las alcantarillas o fuentes de agua. Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duradero		
Sección XIII. Información relativa a la eliminación de los productos		
Puede eliminarse mediante oxidación controlada o combustión si las concentraciones lo permiten. Para la eliminación de residuos de fosfuros metálicos que generan el PH3, no se debe agregar agua.		
Sección XIV. Información de transporte		
Precauciones especiales: Usar ventilación adecuada y equipos de protección personal. Es un gas inflamable y extremadamente tóxico. No combatir el incendio a menos que se pueda detener el flujo de gas.		Etiqueta: Gas tóxico y Gas inflamable No. ONU: UN 2199. No. de identificación del peligro: 236 Nombre de expedición: Fosfina. No. en Guía de RE: 123



Ilustración 23. Hoja de datos de seguridad de sustancias químicas

Fuente: elaboración propia.

12.4. Rediseño de un cuarto de fumigación en modelo 3D

Para cumplir con el tercer objetivo de la investigación “Proponer un diseño de un cuarto de fumigación en modelo 3D”, se tomó en cuenta las necesidades operacionales descritas en el primer objetivo de la investigación y los requerimientos técnicos y normativos descritos en el segundo objetivo de la investigación; tomando en cuenta los datos anteriormente descritos se planteó una propuesta de cuarto de fumigación que suple las falencias del cuarto anterior, la propuesta se diseñó en 3D utilizando el programa de modelaje sketchup.

Para el diseño del cuarto se tomó en cuenta los requisitos técnicos establecidos en normativas nacionales e internacionales, los documentos consultados para definir los criterios fueron:

- Manual de tratamientos fitosanitarios (Ecuador, agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del agro).
- Norma DAFF para Fumigación con Bromuro de Metilo (Gobierno de Australia, Departamento de Agricultura).
- Ley 618 Ley General de Higiene y Seguridad del Trabajo.
- NTON 02 010-02 Norma Técnica Ambiental para la Clasificación Ecotoxicológica y Etiquetado De Plaguicidas, Sustancias Tóxicas Peligrosas y Otras Similares.

12.4.1. Requisitos técnicos de la Ley 618.

La Ley 618 establece que las condiciones del suelo deben de ser lisos, no resbaladizos y correctamente nivelado; las paredes deben de ser materiales que no reaccionen al PH3, por lo cual no debe de contar con porosidad que pueda absorber con humedad, de la misma manera el techo debe de estar correctamente sellado que pueda proteger el cuarto de las inclemencias del cuarto. La ley establece que se deben de realizar auditorias internas sobre la exposición a riesgos químicos, de incendios o de exposición a intoxicación, de existir un riesgo el empleador debe corregir instalaciones para la protección del personal y el correcto funcionamiento del cuarto de fumigación.

Clasificación química del PH3 según NTON 02 010-02.

La fosfina es un químico altamente volátil, con un peligro de explosión con el contacto directo con el medio ambiente, según la normativa se clasifica como sustancia extremadamente peligrosa, debido a los riesgos que tiene la inhalación y contacto con la vía oral. La fosfina tóxica para la fauna e insectos sobre las abejas. El diseño debe de ser hermético, de materiales no reactivos y con una señalización adecuada a la ley 618.

▪ **¿Qué diseño se adecua a la propuesta de un cuarto de fumigación en modelo 3D?**

Se opto por un diseño tipo contenedor debido a la necesidad primordial de hermeticidad y la estandarización. El diseño tipo contenedor ofrece las características esenciales para una fumigación efectiva y segura tomando en cuenta dos factores importantes como lo son el sellado total para evitar fugas de gas y la estructura solida requerida en estas construcciones.

- Los fumigantes como el bromuro de metilo o la fosfina son gases altamente tóxicos. Para que el tratamiento sea eficaz contra las plagas, el gas debe mantenerse a una concentración específica durante un tiempo determinado. La estructura metálica de un contenedor marítimo o un diseño similar proporciona un recinto sólido y hermético al gas que minimiza las fugas. Esto es crucial tanto para la eficacia del tratamiento como para la seguridad del personal y el medio ambiente circundante.
- Las cámaras deben ser construcciones fijas, de estructura sólida y ancladas a un piso impermeable. El diseño robusto de un contenedor cumple con esta resistencia estructural, soportando la presión interna y el manejo constante. La construcción robusta, a menudo, minimiza los puntos de fuga. El diseño de los cuartos fríos se presta fácilmente el manejo de gases tóxicos sin dar lugar a fugas lo que inherentemente les da una estructura rígida que puede ser sellada de manera efectiva

La hermeticidad no es solo para la eficacia, sino para la seguridad. Un recinto sellado y controlado permite la aireación y la desgasificación segura del producto después del tratamiento, garantizando que los niveles residuales de gas sean seguros antes de liberar la mercancía.

Infraestructura del cuarto de fumigación.

La infraestructura del cuarto debe de ser resistente y seguro, por lo cual las paredes deben de armarse hormigón ordinario debido a su resistencia y su nula reacción con la fosfina, el suelo y las paredes deben de recubrirse con polietileno de alta densidad debido a que no reacciona con el PH₃, así mismo la puerta debe de ser acero inoxidable con cerrado hermético que no sufra corrección al contacto con los químicos. El diseño contempla para que no se deforme la estructura del suelo, el peso no debe de sobrepasar los 228 kg/m².

Sistema de ventilación y control de gases

El cuarto debe de contar con un extractor de aire que permita la correcta ventilación del cuarto posterior al periodo de exposición del PH₃, asegurando la salud de los operarios, el equipo extractor de aire debe de ser de materiales de reacción neutra con el químico. La concentración del gas dentro del cuarto debe de ser menor a 0.3 partes por millón, para desviar el gas debe de ser inducido por una tubería de polietileno que dirija el gas ventilado hacia una zona segura donde pueda dispersarse sin riesgo.

Equipamiento de seguridad y señalización obligatoria

Los operarios deben de utilizar calzado resistente a químicos, guantes de plásticos, trajes químicos dependiendo de la concentración de gas al igual que los químicos, gafas y mascarillas con respirador adecuado dependiendo de la concentración del gas. El cuarto debe de contar con la señalización adecuada y totalmente visible que advierta de los riesgos del contacto los químicos utilizados. En una distancia no menor a diez metros debe de existir un extintor de tipo D, adecuado para el tratamiento de fosfina.

Procedimientos operativos

El cuarto debe de contar con registros estrictos sobre la entrada y salida del personal, posterior a la entrada de debe de preparar el cuarto calculando el número de tabletas de fosfina a utilizar, posterior a la activación de las tabletas, se debe esperar un periodo de exposición de 48 a 72 horas, que de manera posterior se realizará la ventilación del cuarto mediante el extractor de aire; todo el proceso debe de quedar registrado sobre los equipos de seguridad utilizado, el personal que ingreso, el número de pacas a fumigar, la cantidad de fosfina utilizada y el tiempo de fumigación realizado.

Especificaciones técnicas de la propuesta

A continuación, se describe parte por parte la propuesta del cuarto de fumigación, definiendo los materiales y procedimientos propuestos.

1. Estructura del cuarto

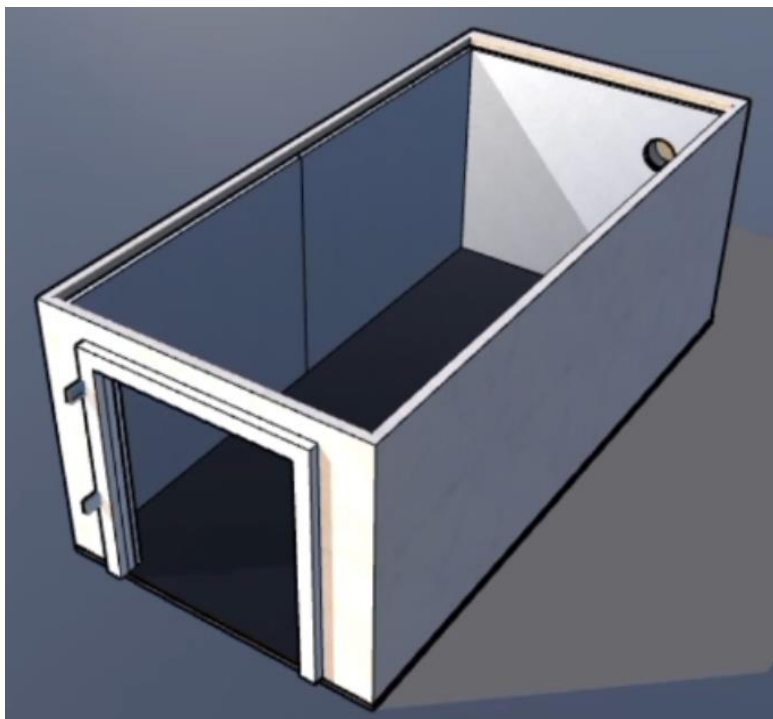


Ilustración 24. Estructura del cuarto de fumigación

Fuente: elaboración propia.

El cuarto presenta unas medidas de 9.68 metros de largo por 4.51 metros de ancho, por 3.76 metros, con una capacidad de fumigación de 260 pacas, asegurando la correcta fumigación, utilizando la cantidad mínima de 165 tabletas en una concentración de un gramo de fosfina por metro cúbico.

2. Material de la estructura.

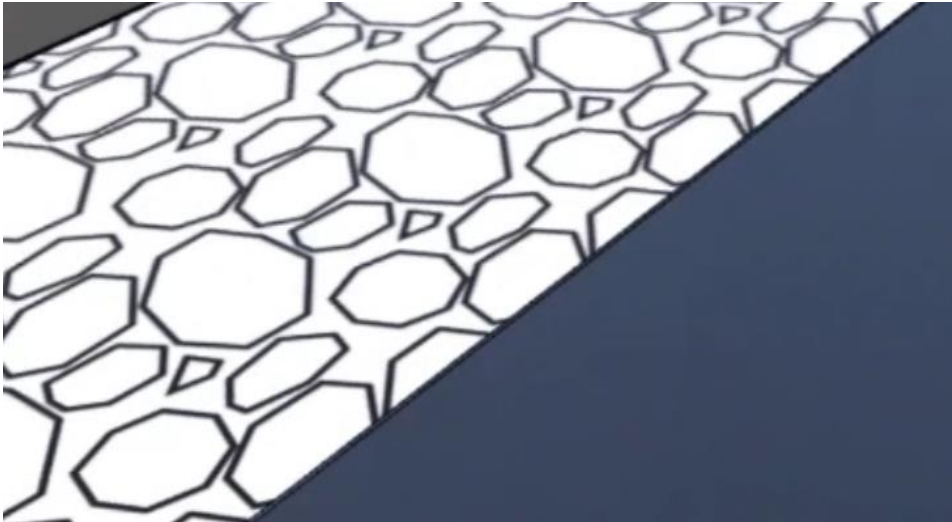


Ilustración 25. Material de la estructura

(Fuente: elaboración propia)

El material estructural de la pared es hormigón simple o común, debido a que cuenta con una alta resistencia y estabilidad, no genera ningún tipo de porosidad y no reacciona con el fosforo de aluminio.

3. Recubrimiento de la pared.

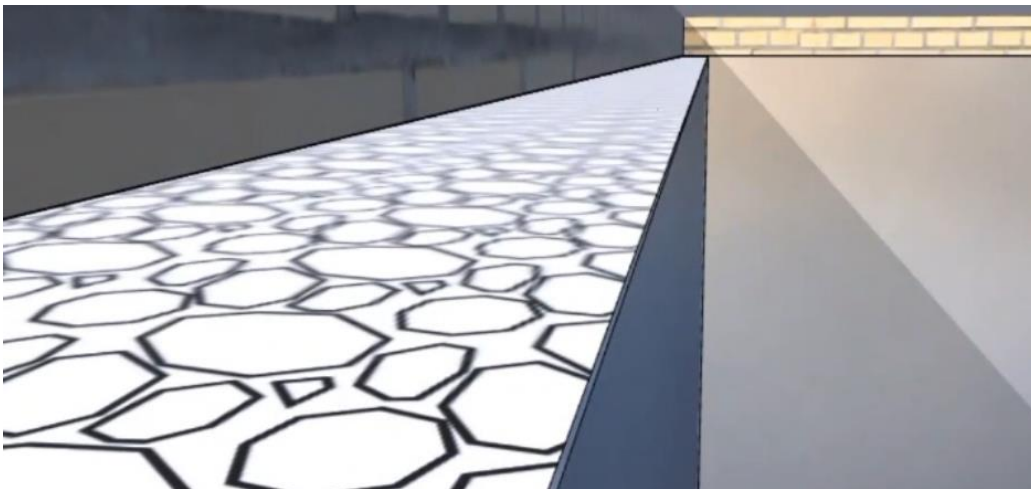


Ilustración 26. Recubrimiento de la pared

Fuente: elaboración propia

Las paredes de hormigón simple se encuentran recubiertas de láminas de polietileno de alta densidad, de cuatro milímetros de grosor, debido que no reaccionan con el fosforo de

aluminio, permite una fácil limpieza, no absorbe ni humedad ni suciedad y permite el correcto funcionamiento del proceso de fumigación.

Extractor de aire



Ilustración 27. Extractor de aire.

Fuente: elaboración propia.

El extractor de aire utilizado es un ventilador/extractor, com-pax-ial cd (12v), con aspas de polietileno, que permiten la extracción total de la fosfina concentrada en un periodo de extracción de dos horas y media.



Ilustración 28: interior con vista desde el lado norte.

Fuente propia

El cuarto tiene un interior para almacenar y administrar numerosas pacas de tabaco y así es como se ve ya con ellas colocadas.

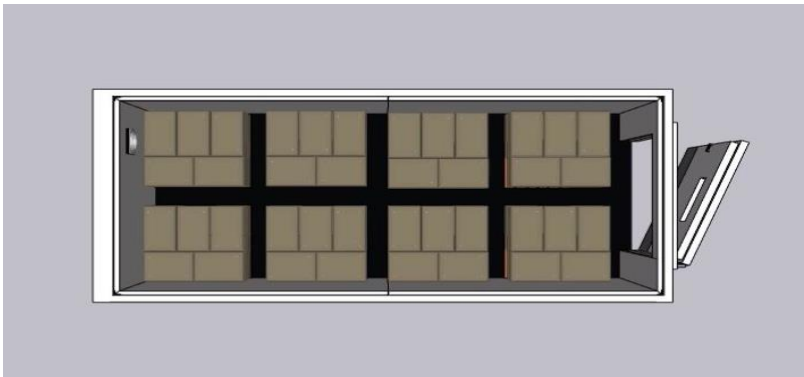


Ilustración 29: vista desde arriba.

Fuente propia.

Así es como luce el cuarto de fumigación desde arriba.

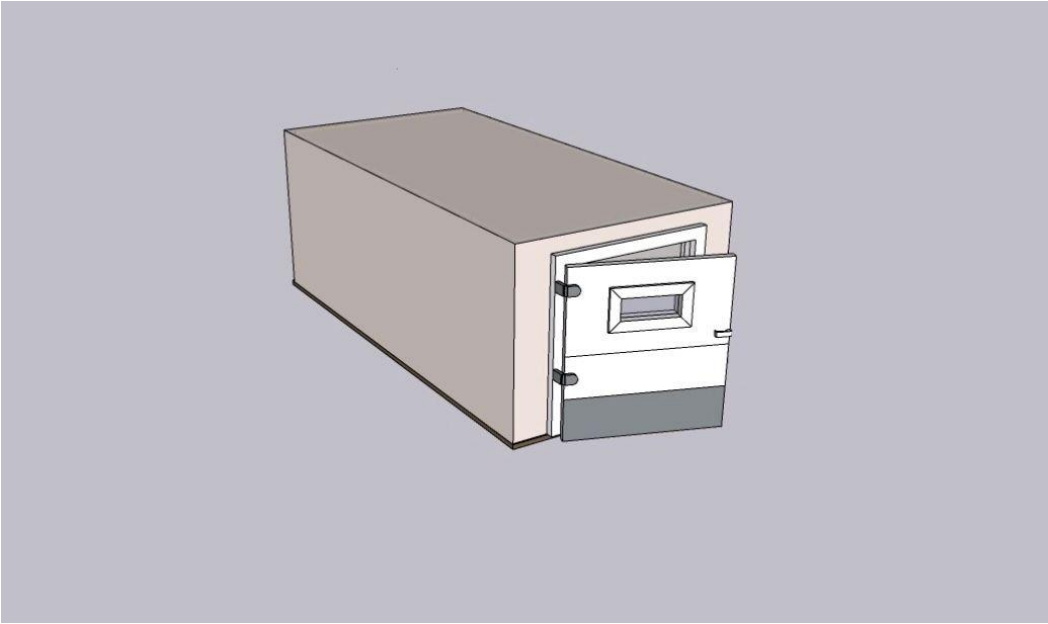


Ilustración 30: vista total del cuarto.

El cuarto de fumigación en su totalidad.

El cuarto de fumigación estará completamente sellado y sin riesgos para los trabajadores, ya que los residuos saldrán por una tubería que estarán enterrado a metros de profundidad para su adecuado tratamiento.

1. Tubería de extracción



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 31. Tubería de extracción del gas

La tubería de extracción es de polietileno para el transporte seguro del fosforo de aluminio dirigido hacia más de diez metros lejanos de los movimientos de los colaboradores para asegurar su correcta dispersión.

2. Puerta de fumigación.

La puerta del cuarto es de acero inoxidable, totalmente hermético, con unas dimensiones de 1.10 metros de ancho por 2.10 metros de alto por 0.08 metros de grosor, reduciendo las fugas aceptables a 0.360 m³/h.

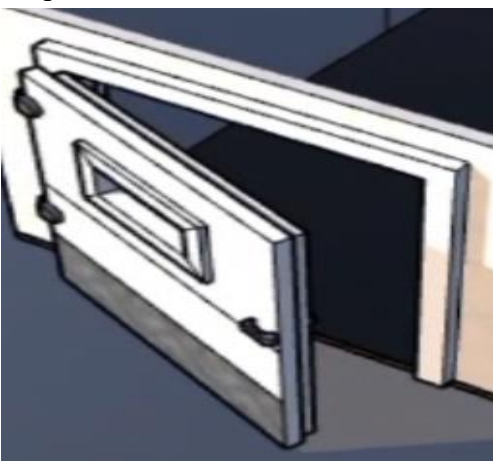


Ilustración 32. Puerta del cuarto de fumigación.

Fuente: elaboración propia.

3. Diseño final propuesto.

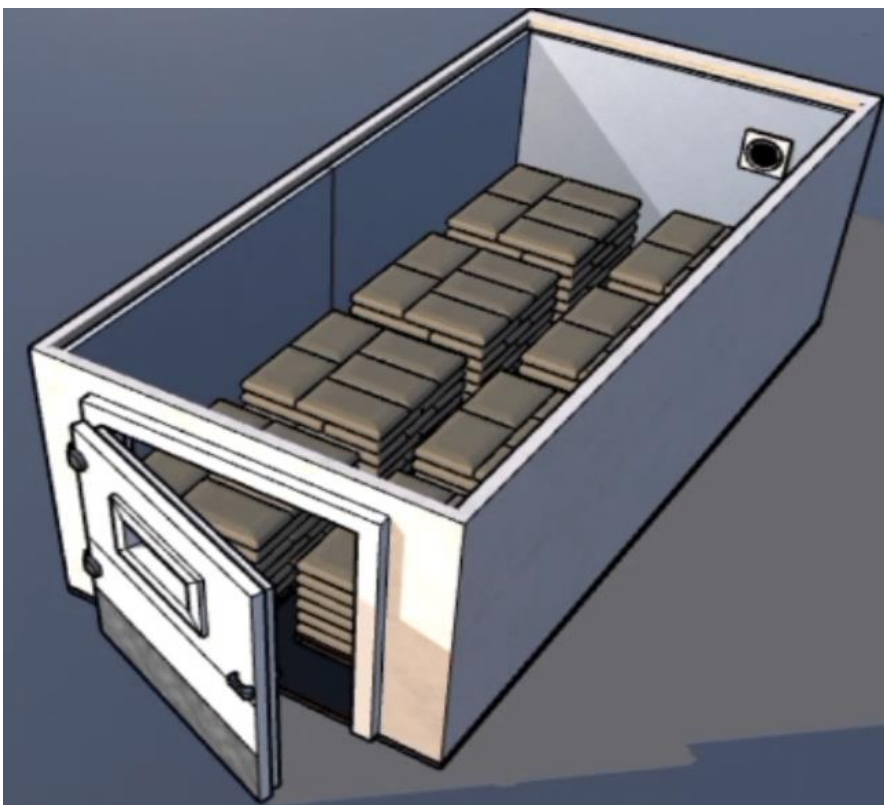


Ilustración 33. Rediseño final del cuarto de fumigación.

Fuente: elaboración propia.

El diseño final del cuarto de fumigación cumple con toda la normativa nacional e internacional recomendada, convirtiéndose en una propuesta fiable para asegurar una mayor calidad en el proceso de fermentación, la protección de los colaboradores, la reducción de riesgos sobre el capital humano y material, convirtiéndose en un elemento fundamental para optar a certificaciones de calidad o seguridad con las cuales mejorar los procesos y aumentar la confianza de los clientes y facilidades para entrar a mercados internacionales más exigentes.

Presupuesto

El presupuesto del rediseño del cuarto de fumigación incluye el recubrimiento de los paneles Isopanel, en el techo y en las cuatro paredes que conforman, la instalación de una nueva puerta de acero inoxidable totalmente hermética, los insumos como el sellador térmico o la cinta térmica, la mano de obra responsable de la instalación del Isopanel, extractor de aire, com-pax-ial cd (12vy), la mano de obra de la instalación eléctrica y el margen del ocho por

ciento del presupuesto total estimado. El presupuesto no incluye una nueva estructura de hormigón.

- Largo: 9.36 m
- Ancho: 4.51 m
- Altura: 3.762 m

$$\text{Área1} = 2 * (\text{Largo} * \text{Altura})$$

$$\text{Área1} = 2 * (9.36 * 3.762)$$

$$\text{Área1} = 70.42$$

$$\text{Área 2} = 2 * (\text{Largo} * \text{Altura})$$

$$\text{Área 2} = 2 * (4.51 * 3.762)$$

$$\text{Área 2} = 33.93 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Total} = \text{Área 1} + \text{Área 2}$$

$$\text{Área Total} = 70.4 + 33.94$$

$$\text{Área Total} = 104.34 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Techo} = 9.36 * 4.51$$

$$\text{Área Techo} = 42.21 \text{ m}^2$$

El total para cubrir el cuarto es de 145 láminas Isopanel de un metro cuadrado por unidad, teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se presentan los costos indirectos y directos que conforman el presupuesto para el rediseño del cuarto de fumigación.

Tipo de costo	Concepto	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Costos directos	Isopanel m ²	145	\$ 52.72	\$ 7,644.40
	Puerta de acero inoxidable	1	\$ 900.00	\$ 900.00
	Extractor de aire	1	\$ 500.00	\$ 500.00
	Tubería de gas polietileno	5	\$ 17.29	\$ 86.45
Costos indirectos	Mano de obra Isopanel			\$ 300.00
	Cinta térmica	5	\$ 13.00	\$ 65.00
	Andamios	2	\$ 50.00	\$ 100.00
	Instalación de puerta			\$ 70.00
	Instalación eléctrica			\$ 100.00
	Imprevistos (8%)			\$ 781.27
Costo total				\$ 10,547.12

Tabla 7. Costo del rediseño del cuarto de fumigación

Fuente: elaboración propia

13. Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permitió comprender de manera integral el estado actual del cuarto de fumigación utilizado para el tratamiento de hojas de tabaco, así como las necesidades técnicas y de seguridad que demanda su operación. A través del diagnóstico inicial, se identificaron diversas limitaciones relacionadas con la ventilación, el almacenamiento de productos químicos, el control de emisiones y la señalización de riesgos, lo que evidenció la necesidad de implementar mejoras sustanciales para garantizar un ambiente de trabajo seguro y eficiente. Con base en estos hallazgos, se analizaron los requisitos técnicos, normativos y de seguridad establecidos en la Ley 618 y otras regulaciones aplicables al manejo de sustancias químicas. Este análisis permitió definir los criterios indispensables que debe cumplir el nuevo diseño, asegurando que las condiciones del cuarto de fumigación se alineen con los estándares vigentes de prevención de riesgos y buenas prácticas industriales.

Con la propuesta de rediseño presentada en modelo 3D constituye una solución integral que responde a las limitaciones detectadas y cumple con los lineamientos técnicos y legales establecidos. El modelo incorpora mejoras en la distribución interna, sistemas de extracción y ventilación, áreas de almacenamiento, señalización y ergonomía, lo que contribuye a optimizar la eficiencia operativa y elevar los niveles de seguridad para el personal.

En conclusión, los resultados obtenidos demuestran que la implementación del rediseño propuesto representa una oportunidad significativa para modernizar el cuarto de fumigación, reducir riesgos asociados al manejo de productos químicos y garantizar el cumplimiento normativo. De esta manera, la investigación cumple con los objetivos planteados y ofrece una base sólida para futuras mejoras y procesos de control en la fumigación de hojas de tabaco.

14.Recomendaciones

A la empresa.

1. Es fundamental que como empresa continúen invirtiendo en nuevas tecnologías que ayuden a mejorar la efectividad de las curaciones de materia prima y lleguen a resultados positivos garantizando la calidad del puro.
2. Colaborar con instituciones académicas como universidades locales y nacionales para promover conocimientos y propuestas de mejoras en diferente are de la empresa.
3. Integrar sistemas de gestión de riesgo y seguridad ya que mejorará la seguridad laboral y disminuirá los riesgos por intoxicación con fosfina.

A la facultad.

1. Fortalecer la infraestructura de laboratorios y áreas técnicas. Se recomienda a la universidad continuar invirtiendo en la modernización de espacios destinados al manejo de sustancias químicas, garantizando que cumplan con normativas nacionales como la Ley 618 y estándares internacionales de seguridad.
2. Actualizar y ampliar los programas de capacitación en seguridad industrial. Es necesario ofrecer formación continua al personal y estudiantes sobre manejo seguro de productos químicos, uso de equipos de protección personal, respuesta ante emergencias y evaluación de riesgos.
3. Implementar un sistema institucional de inspecciones periódicas. Establecer un plan de auditorías y revisiones técnicas periódicas en áreas que involucren procesos de fumigación, almacenamiento de químicos o manipulación de materiales peligrosos.
4. Promover proyectos interdisciplinarios. Incentivar el desarrollo de investigaciones conjuntas entre las carreras de ingeniería, salud ocupacional y ciencias ambientales para fortalecer el diseño, evaluación y mejora de espacios operativos.

A estudiantes

1. Sigam motivándose a participar en proyectos vinculados con empresas que les permitirán adquirir conocimientos y experiencias valiosos para sus futuras carreras profesionales.
2. Seguir desarrollando temas de interés como este para que las futuras generaciones tengan conocimientos nuevos de dichas investigaciones.

Bibliografía

- A.C.G.I.H. (s.f.). THRESHOLD LIMIT VALUES (T.L.V.) de la American Conference Of Governmental Industrial Hygienists (A.C.G.I.H.).
- Agrocalidad Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del Agro. (2016). *Manual de tratamientos fitosanitarios*. Quito: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Australia, S. W. (s.f.). normativas de seguridad ocupacional . Obtenido de (Workplace Exposure Standards / Limits, WES / WEL) Grain Trade Australia+3safeworkaustralia.gov.au+3safeworkaustralia.gov.au+3
- Beltrán, S. M. (2020). Los paradigmas de la investigación: un acercamiento teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. *Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo* , 11(21). doi:10.23913/ride.v11i21.717
- Bogdan, T. (1986). metodos cualitativos de inetigacion.
- Control ambiental España Sur. (s.f.). *Desinsectación térmica: Desinsectación con calor, la alternativa para eliminar insectos sin tóxicos*. Cartagena: EOA. Obtenido de <https://share.google/CdbrYp8L4WQGhtZrD>
- Departament of Agriculture. (2013). *Norma DAFF para fumigación con bromuro de metilo*. Australian Government.
- FAO. (2019). *Requisitos para el uso de la fumigación como medida fitosanitaria*. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF). . Obtenido de <https://entaban.es/blog/tipos-de-fumigacion/?srsltid=AfmBOonkJ5l4tiibGmZ9HYG8qKMeaqyLhX5sWyo80NsMIOCpuUMooQW>
- Grillo, L. H. (enero 2011). *INTOXICACIONES AGUDAS POR PLAGUICIDAS EN PACIENTES ATENDIDOS EN EL*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/6601/1/80937.pdf?utm>
- industrial fumigant company food . (enfoque desde 1937). Obtenido de <https://indfumco.com/>

Ley general de higiene y seguridad. (s.f.). Obtenido de [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/16624DBD812ACC1B06257347006A6C8C?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/16624DBD812ACC1B06257347006A6C8C?OpenDocument)

LINKEDIN. (2023). *Puertas industriales para cuartos limpios*. MEXICO. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/puertas-industriales-para-cuartos-limpios-xxpqc>

luis angel orozco, m. d. (2020). *evaluacion de diferentes docis de insecticidas a base de nicotina tabacum para el manejo de bemisia*. Obtenido de <https://share.google/VlHp2cdbssef20w4G>

Olivas López, Y. B. (2023). *Frecuencia hospitalaria de intoxicaciones por plaguicidas en pacientes mayores de 14 años 2013-2019*. Estelí, Nicaragua. esteli . Obtenido de https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/20672/?utm_source

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Fosfina*. España: Ministerio de trabajo y economía social Gobierno de España.

Polo, M. (2018). *Estudio y diseño de una cámara de fumigación*. mexico. Obtenido de https://ru.dgb.unam.mx/items/ab3551cd-6c19-4341-a864-49d3381ad40b?utm_source

publica, d. g. (s.f.). *riesgo quimico- fosfina*. Obtenido de <https://share.google/CdbrYp8L4WGQhtZrD>

Ramon Hernandez, U. D. (15 marzo, 2010). *Aplicación de las normas terapéuticas en pacientes intoxicados por plaguicidas, servicio de emergencias Hospital Doctor Roberto Calderón Gutierrez, Managua 2008-2009 / Application of treatment guidelines in patients poisoned by pesticides, Hospital emerge*. managua. Obtenido de [https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/lil-593086?utm_sourceregulaciones de pesticida. \(s.f.\). Obtenido de epa.nsw.gov.au+1](https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/lil-593086?utm_sourceregulaciones de pesticida. (s.f.). Obtenido de epa.nsw.gov.au+1)

Rubio Monteverde, H., & Rubio Magaña, A. (2006). Breves comentarios sobre la historia del tabaco y el tabaquismo. *Revista del Instituto nacional de enfermedades respiratorias Ismael Cosío Villegas*, 297-300.

Saad M, P. (2024). Fosfina. *sciencedirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/phosphine>

Schmid, T. (17 de Septiembre de 2017). *Tobacco asia*. Obtenido de Tobacco asia:
<https://www.tobaccoasia.com/features/pest-control-in-tobacco-warehousing/>

15. Anexos

Carta de solicitud para validación de instrumento

Estelí, septiembre 2025

Maestro:

Ing. Ramon Antonio Canales Zeas.

Su Despacho

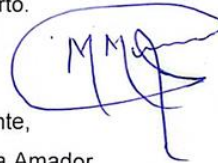
Estimado maestro:

Reciba mis mayores muestras de consideración y estima.

Por medio de la presente hago de su conocimiento que somos estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, Centro Universitario Regional, CUR - Estelí, y actualmente estamos realizando nuestro trabajo de Seminario de Graduación para optar al título de Ingeniero en la carrera de Ingeniería Industrial.

Por lo antes expuesto, nos dirigimos a usted, teniendo en cuenta su experiencia y méritos profesionales, a fin de solicitar su valiosa colaboración en la revisión y juicio como experto, para determinar la validez de contenido del instrumento de recolección de datos de la Guía de entrevista, El registro de defectos y guía de observación, que tiene como objetivo recabar información para el desarrollo de la investigación titulada: " Rediseño de un cuarto de fumigación en la fábrica de puro A.J Fernández basado en la ley 618 en la ciudad de Estelí del año 2025"

Agradeciendo su valioso aporte como experto.



Atentamente,

Britany Fernanda Amador

Martha Abigail Rodríguez

Instrucciones

Lea detenidamente cada uno de los enunciados y de respuesta de cada ítem.

Utilice el siguiente formato para indicar su grado de acuerdo o desacuerdo con cada enunciado que se le presenta, marcando con una equis (x) en el espacio correspondiente según la siguiente escala:

Constancia de juicio de experto

Yo, Ramon Antonio Canales Zeas, Ingeniero industrial y de Sistemas; por medio de la presente hago constar que he leído y revisado, con fines de validación, el instrumento de investigación: Guía de Observación, que será aplicado en el Desarrollo del estudio: "Rediseño de un cuarto de fumigación en la fábrica de puro A.J Fernández basado en la ley 618 en la ciudad de Estelí del año 2025", por las estudiantes Britany Fernanda Amador Soza y Martha Abigail Rodríguez Meza.

Luego de hacer las verificaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

No	Indicadores	Deficiente	Regular	Bueno	Muy Bueno	Excelente
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.					x
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.					x
3	El instrumento guarda relación con los objetivos y preguntas propuestas en la investigación.					x
4	El instrumento utiliza un lenguaje apropiado.					x

5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.					X
6	La redacción de las preguntas es clara y apropiada para cada dimensión.					X
7	Relevancia del contenido.					X
8	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información.					X

El instrumento diseñado a su juicio es: válido () no válido ()

Observaciones:

Para que conste a los efectos oportunos, extendiendo la presente en la ciudad de Estelí a los 25 de septiembre del año dos mil veinticinco.


Rocio CANALES

FORMATO DE ENTREVISTA.

Estimado/a.

Somos estudiantes de V año de la carrera universitaria de Ingeniería industrial del centro universitario UNAN-Managua, CUR-Estelí. Actualmente estamos realizando una investigación de tesis para optar al título de ingeniero industrial, lo cual se trata acerca de los cuartos de fumigación en dicha fabrica, recolectando así estos datos, nuestro objetivo es proponer un re diseño adecuado de un cuarto de fumigación en la fábrica de puros A.J Fernández.

Expresando nuestras intenciones agradecemos por la información que se nos pueda brindar y la disposición de su tiempo y atención, ya que es clave para llevar a cabo esta investigación.

Funcionamiento de un Cuarto de Fumigación en la empresa AJ Fernández.

Entrevistador _____

Entrevistado _____

Cargo del entrevistado _____

Fecha: _____

1. **Funcionamiento Técnico**

1. ¿Cómo se controla la entrada y salida del aire en el cuarto de fumigación?
2. ¿Qué tipo de productos químicos se utilizan para fumigar y cómo se aplican?
3. ¿Cómo se asegura la distribución uniforme del fumigante dentro del cuarto?
4. ¿Qué sistemas de monitoreo se usan para medir la concentración del producto?
5. ¿Cuánto tiempo debe permanecer cerrado el cuarto después de aplicar el fumigante?

II. Seguridad

1. ¿Qué medidas de seguridad se toman antes, durante y después de realizar una fumigación?
2. ¿Qué tipo de equipo de protección personal (EPP) utilizan los operadores?

3. ¿Qué señales o advertencias se colocan para evitar el ingreso de personas durante la fumigación?
4. ¿Cómo se maneja una fuga o un accidente dentro del cuarto?

2. **Control de Calidad y Eficacia.**

1. ¿Cómo se verifica que la fumigación fue efectiva?
2. ¿Cada cuánto tiempo se realizan las fumigaciones?
3. ¿Qué factores pueden afectar la eficacia del control de plagas?

3. **Normativas.**

1. ¿implementan alguna normativa?
2. ¿Qué normativa utiliza?
3. ¿La exportación de puros requiere un certificado fitosanitario? ¿En qué casos?
4. ¿Cuál es el rol de la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) en este proceso?

Check list del cuarto de fumigación.			Fecha	
Materiales		Si	No	Observaciones
1	¿El cuarto está hecho con los materiales adecuado?		✓	
2	¿se encuentran fugas en el cuarto durante la fumigación?	✓		
3	¿el tamaño del cuarto es suficiente para la	✓		

	cantidad de pacas que ingresan a fumigar?			
4	¿El cuarto cuenta con las condiciones necesarias para realizar las fumigaciones?		✓	
5	¿De qué materia están hechas las paredes, techo y el piso del cuarto de fumigación?			Concreto y lamina gypsum, zinc y piso de concreto liso.
6	¿Qué tipo de sistema de ventilación o extracción se utiliza?			No tienen ningún sistema de ventilación ni extracción.
7	¿Las puertas resisten la presión y los químicos utilizados durante la fumigación?	✓		Si, pero no son las adecuadas.

Check list de fumigación.			Fecha
Detalles del cuarto.		Si	No
1	¿El cuarto posee las condiciones adecuadas para realizar la fumigación?		
2	¿La capacidad del cuarto y la dosis son calculadas conforme a la		

	cantidad de materia a fumigar?			
Químicos y tratamiento de residuo.				
2	¿El químico que se utiliza en la fumigación es fosfina?			
3	Calculan Composición y porcentaje de los ingredientes activos.			
Normativas				
4	¿Utilizan una normativa?			

Check list de higiene y seguridad.			Fecha
Exterior y señalización.	Si	No	Observaciones
1	Señalización adecuada y de precaución.		
2	Iluminación adecuada dentro del cuarto.		
3	Señal de fecha que se realiza cada fumigación.		
Orden y aseo			
4	Pisos limpios en cada fumigación.		
5	Se elimina todo residuo después de cada fumigación.		

6	Revisan que no hallan fugas durante el proceso de fumigación y curado.			
Personal manipulador				
8	No uso de teléfonos, uñas largas, cabello sin protección, audífonos.			
9	Uniforme completo y adecuado en cada fumigación.			

Observaciones adicionales:

Firma del entrevistador: _____

Firma del entrevistado: _____

Entrevista.

FORMATO DE ENTREVISTA.

Estimado/a.

Somos estudiantes de V año de la carrera universitaria de Ingeniería industrial del centro universitario UNAN-Managua, CUR-Estelí. Actualmente estamos realizando una investigación de tesis para optar al título de ingeniero industrial, lo cual se trata acerca de los cuartos de fumigación en dicha fabrica, recolectando así estos datos, nuestro objetivo es proponer un re diseño adecuado de un cuarto de fumigación en la fábrica de puros A.J Fernández.

Expresando nuestras intenciones agradecemos por la información que se nos pueda brindar y la disposición de su tiempo y atención, ya que es clave para llevar a cabo esta investigación.

Funcionamiento de un Cuarto de Fumigación en la empresa AJ Fernández.

Entrevistador _____

Entrevistado _____

Cargo del entrevistado _____

Fecha: _____

4. **Funcionamiento Técnico.**

6. ¿Cómo se controla la entrada y salida del aire en el cuarto de fumigación?

7. ¿Qué tipo de productos químicos se utilizan para fumigar y cómo se aplican?
8. ¿Cómo se asegura la distribución uniforme del fumigante dentro del cuarto?
9. ¿Qué sistemas de monitoreo se usan para medir la concentración del producto?
10. ¿Cuánto tiempo debe permanecer cerrado el cuarto después de aplicar el fumigante?

II. Seguridad

5. ¿Qué medidas de seguridad se toman antes, durante y después de realizar una fumigación?
6. ¿Qué tipo de equipo de protección personal (EPP) utilizan los operadores?
7. ¿Qué señales o advertencias se colocan para evitar el ingreso de personas durante la fumigación?
8. ¿Cómo se maneja una fuga o un accidente dentro del cuarto?

5. Control de Calidad y Eficacia.

4. ¿Cómo se verifica que la fumigación fue efectiva?
5. ¿Cada cuánto tiempo se realizan las fumigaciones?
6. ¿Qué factores pueden afectar la eficacia del control de plagas?

6. Normativas.

5. ¿implementan alguna normativa?
6. ¿Qué normativa utiliza?
7. ¿La exportación de puros requiere un certificado fitosanitario? ¿En qué casos?
8. ¿Cuál es el rol de la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) en este proceso?

Check list de normativas nacional e internacional

anexo 3 check list de normativas

Check list de fumigación.			Fecha	
Detalles del cuarto.		Si	No	Observaciones
1	¿El cuarto posee las condiciones adecuadas para realizar la fumigación?			
2	¿La capacidad del cuarto y la dosis son calculadas conforme a la cantidad de materia a fumigar?			
Químicos y tratamiento de residuo.				
2	¿El químico que se utiliza en la fumigación es fosfina?			
3	Calculan Composición y porcentaje de los ingredientes activos.			
Normativas				
4	¿Utilizan una normativa?			

Check list de higiene y seguridad.			Fecha	
Exterior y señalización.		Si	No	Observaciones
1	Señalización adecuada y de precaución.			
2	Iluminación adecuada dentro del cuarto.			
3	Señal de fecha que se realiza cada fumigación.			
Orden y aseo				
4	Pisos limpios en cada fumigación.			
5	Se elimina todo residuo después de cada fumigación.			
6	Revisan que no hallan fugas durante el proceso de fumigación y curado.			
Personal manipulador				
8	No uso de teléfonos, uñas largas, cabello sin protección, audífonos.			
9	Uniforme completo y adecuado en cada fumigación.			

Observaciones adicionales:

Firma del entrevistador: _____

Firma del entrevistado: _____

anexo 4 check list de normativa NTON 11-001-00

Check list norma técnica obligatoria nicaragüense (NTON-11-001-00)		Fecha		
Legalidad del producto utilizado a fumigar.		Si	No	Observaciones
1	¿La Fosfina (o fosfuro de aluminio/magnesio) está registrada para uso fitosanitario, autorizado bajo la Ley de Plaguicidas?			
Cumplimiento de la Norma de Servicios de Tratamientos Agropecuarios				
2	¿la prestación del servicio (fumigación) cumpla con los requisitos de la norma NTON aplicable:			

	equipamiento, procedimientos, personal calificado, protección, etc.?			
Clasificación toxicológica y etiquetado.				
3	¿los plaguicidas (fosfina, fosfuro) están correctamente etiquetados según la Norma NTON para clasificación toxicológica, con información de riesgos, advertencias y su uso seguro?			
Personal capacitado y protección laboral				
4	¿El personal que aplica la fumigación está capacitado para el manejo correcto de productos tóxicos, uso de equipo de protección personal (EPP) y procedimientos en caso de emergencia.?			
Equipo adecuado para fumigación				
5	¿Disponen de sistemas de aplicación adecuados; detectores de gas PH ₃ , monitores de concentración, ¿dispositivos de seguridad para fuga de gas??			
Procedimientos de aplicación				
6	¿Determinan la dosis correcta por volumen (m ³), el tiempo de exposición y las			

	condiciones de temperatura y humedad?			
7	¿Cubren completamente el área del cuarto y sellado o cierre adecuado antes de fumigar?			
8	¿Controlan los puntos críticos y protocolos para liberar el producto al final??	✓		
Seguridad de las instalaciones durante el tratamiento				
9	<ul style="list-style-type: none"> • Señalización visible. 			
10	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso restringido mientras haya gas. 			
11	<ul style="list-style-type: none"> • Aviso previo al personal 			
12	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de evacuación de gases 			
13	<ul style="list-style-type: none"> • control de fugas. 			
Verificación de concentración de gas.				
14	¿Es medida la concentración de fosfina durante el tratamiento y mantiene registro de mediciones?			
Ventilación y liberación segura posterior.				
15	¿Después de terminar la fumigación, se deja ventilar el área hasta alcanzar niveles seguros antes de permitir ingreso			

	de personal y controlan los residuos de gas?			
Manejo de residuos o restos del tratamiento (fosfina)				
16	Disposición segura de los productos usados (tabletas de fosfuro, envases, sobres, residuos gasificados), limpieza de equipos según normas ambientales y de salud.			
Registro, trazabilidad y auditoría				
17	¿Se llevan registros completos tales como la fecha, lote del tabaco, dosis usada, personal que aplicó, tiempo de exposición, control de calidad, no conformidades, acciones correctivas?			
Cumplimiento de salud ocupacional				
18	¿Hay monitoreo de salud del personal expuesto, uso de EPP, procedimientos en caso de intoxicación, primeros auxilios y cumplimiento de normas laborales??			
Permisos y autorizaciones municipales y locales				
19	¿Se dispone de permisos de uso del establecimiento para fumigación, regulaciones locales (municipales)?			

Notificación a organismos fitosanitarios				
20	¿Verifican los requisitos de certificación fitosanitaria y notifican ante IPSA u organismo correspondiente??			

Ley Básica para la Regulación y Control de Plaguicidas, Sustancias Tóxicas, Peligrosas y Otras Similares. Ley No. 274. cenida.una.edu.ni

Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para la Clasificación Toxicológica y Etiquetado de Plaguicidas de Uso Doméstico y en Salud Pública (NTON 02-003-98) Justicia Nicaragua

Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Procedimientos y Requisitos para la Prestación de los Servicios de Tratamientos Agropecuarios (incluyendo fumigación).

Check list norma técnica obligatoria de Australia.		Fecha	
Permisos y licencias.		S	No
		i	Observaciones
1	• Está la fumigación con fosfina permitida en ese estado/territorio?		
2	• ¿Cuenta la empresa con licencia para fumigadores o para manejar sustancias Schedule 7 (o su equivalente)?		
Registro del lugar			
3	¿El cuarto está aprobado como sitio de		

	fumigación, conforme al reglamento local?			
Estándares de exposición ocupacional				
3	¿Conocen la Concentración máxima permisible en aire para fosfina?.			Actualmente 0.3 ppm TWA en muchos lugares; para algunos estados se propone reducción a ~0.05 ppm a partir de 1 dic 2026.
Ventilación y sellado del cuarto.				
4	¿El cuarto está bien sellado para evitar fugas de fosfina durante la fumigación?			
5	¿Dispone de ventilación forzada o extracción segura para ventilar después del tiempo de exposición hasta que niveles queden por debajo del estándar?			
Equipo de protección personal (EPP) y capacitación				
6	¿Cuentan con respiradores adecuados como filtro para gases inorgánicos o equipo autónomo cuando se requiera si la concentración puede exceder límites?			
7	¿Usan equipo de protección de ojos, piel, guantes impermeables, botas, etc.?			

8	¿posee una formación específica del personal en manejo de fosfina, emergencias, primeros auxilios?			
Procedimientos de fumigación				
9	¿Tiene una definición clara de dosis (cantidad de fosfina, tabletas, gas liberado), duración de exposición, temperatura y humedad óptima?			
Monitoreo del aire / muestreo atmosférico				
10	¿Durante la fumigación se mide fosfina en el ambiente para asegurar que dosis proyectadas se alcancen, mientras se protege al personal?			
Señalización y control de acceso				
10	¿Hay Señales visibles de peligro como Fumigación y gas tóxico?			
11	¿El Acceso es restringido durante el tratamiento y hasta que el recinto esté seguro?			
Manejo de residuos y limpieza				
12	¿Desechan y manejan las tabletas o material residual de fosfina de acuerdo con			

	regulaciones ambientales y pesticidas?			
Trazabilidad y registros				
13	¿Se toman los siguientes datos? Registros, fechas, tiempos de inicio y fin de fumigación, dosis, lote de producto usado, nombre del operador, condiciones ambientales (temperatura, humedad)			
Salud de los trabajadores y vigilancia médica				
15	¿ se realizan evaluaciones médicas pre y post exposición si la legislación lo requiere?			
Manejo de residuos o restos del tratamiento (fosfina)				
16	Disposición segura de los productos usados (tabletas de fosfuro, envases, sobres, residuos gasificados), limpieza de equipos según normas ambientales y de salud.			
Registro, trazabilidad y auditoría				
17	¿Se llevan registros completos tales como la fecha, lote del tabaco, dosis usada, personal que aplicó, tiempo de exposición, control de calidad,			

	no conformidades, acciones correctivas?			
Cumplimiento de salud ocupacional				
18	¿Hay monitoreo de salud del personal expuesto, uso de EPP, procedimientos en caso de intoxicación, primeros auxilios y cumplimiento de normas laborales??			
Permisos y autorizaciones municipales y locales				
19	¿Se dispone de permisos de uso del establecimiento para fumigación, regulaciones locales (municipales)?			

Referencias claves en Australia

- (Australia)
- (regulaciones de pesticida)



¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



