



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR,
EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN
ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S. A.**

José Roberto Calderón Mazariegos

Asesorado por el Ing. Héctor Federico Fuentes Saquich

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR,
EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN
ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ ROBERTO CALDERÓN MAZARIEGOS

ASESORADO POR EL ING. HÉCTOR FEDERICO FUENTES SAQUICH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Adrián Antonio Soberaniz Ibañez
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR,
EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN
ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 10 de octubre de 2013.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, enclosed within a faint circular outline.

José Roberto Calderón Mazariegos

Amatitlán, 28 de febrero de 2014

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente me permito presentar la propuesta de Informe final titulado "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR, EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S.A." del estudiante JOSÉ ROBERTO CALDERÓN MAZARIEGOS quien se identifica con número de carné 2008-19227, con la finalidad de obtener la correspondiente aprobación.

Asimismo, hago de su conocimiento que la propuesta cuenta con las correspondientes revisiones y aprobación de mi persona.

F. 
Ing. Qco. Héctor Federico Fuentes Saquich
Colegiado: 1655
Asesor

Héctor Federico Fuentes Saquich
Ingeniero Químico
Colegiado 1655



Guatemala, 25 de marzo de 2015.
Ref.EPS.DOC.271.03.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

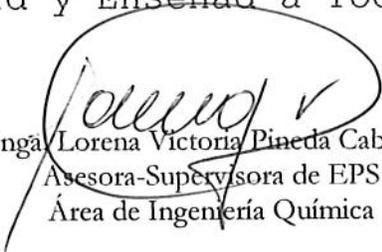
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Roberto Calderón Mazariegos** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200819227**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR, EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S.A.”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





Guatemala, 25 de marzo de 2015.
Ref.EPS.D.150.03.15.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR, EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario José Roberto Calderón Mazariegos, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





Guatemala, 28 de mayo de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.026.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 139-2013 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por el estudiante universitario: **José Roberto Calderón Mazariegos**.
Identificado con número de carné: **2008-19227**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR, EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S.A.

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Héctor Federico Fuentes Saquich**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



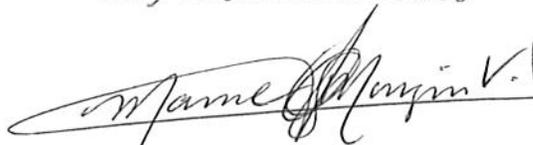
C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.091.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS final) del estudiante **JOSÉ ROBERTO CALDERÓN MAZARIEGOS** titulado: "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR, EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S.A." Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, julio de 2015

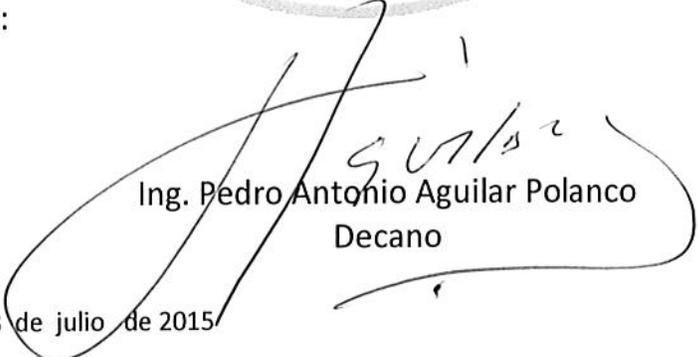
Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 326.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS NITRÓGENO PARA INERTIZAR, EN EL ENVASADO DE AGROQUÍMICOS EMULSIONADOS COMO SOLUCIÓN ALTERNATIVA AL COLAPSAMIENTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN BAYER S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **José Roberto Calderón Mazariegos,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, 13 de julio de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por las bendiciones de mi vida, gracias por no dárme todo, sino solo lo que necesito.
Mi papá	Hugo Calderón, por guiar mis pasos, darme consejo imprimiendo carácter, compromiso, perseverancia, optimismo, superación y apoyarme incondicionalmente.
Mi mamá	Angelina Mazariegos, por su amor inmenso en todas las etapas de mi vida, por su constante sacrificio.
Mi esposa	Karla Cay, por todo su amor, paciencia y brindarme todo su apoyo para alcanzar esta meta.
Mi hijo	Gilberto Gabriel Calderón, eres el regalo que Dios me dió y la fuente de mi esfuerzo.
Mi hermano	Gilberto Calderón, por su compañía durante mi vida y un ejemplo moral.
Mi asesor	Ing. Héctor Fuentes, por compartir sus consejos y enseñanzas para realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme ser parte de esta casa de estudios y por la exitosa culminación de la carrera.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todas las herramientas necesarias durante mis años de estudios en la Facultad.
Escuela de Ingeniería Química	Por la formación que me brindaron, porque hicieron de mí una persona nueva.
Compañeros y amigos	<p>Por llegar a ser parte de mi vida, porque cada uno de ustedes ha dejado una huella en mí, por su amistad, cariño y la confianza que tuvieron en mí en todo momento.</p> <p>A ustedes queridos amigos: Julio Arriola, Víctor Ríos, Aurora Ortiz, Jeaffry Cheesman, Isabel Cienfuegos, María José Navarro, Nesly García, Alejandra Sánchez, Laura Zetina, Luis Ríos, Edwin Cortez, Diego Simón, Antonio Ramírez, Mario Argueta, Byron Quiñones, Marvin Velásquez, José Del Cid, Sergio García, Zindy Domínguez, José Mendoza, María Guerra, Eduardo González y Juan Pablo Segura.</p>

2.2.	Emulsiones	15
2.2.1.	Dispersión de aceite (OD)	15
2.3.	Colapsamiento de envases	16
2.3.1.	Cambio de temperatura y presión	17
2.3.2.	Absorción de oxígeno y reacción.....	18
2.3.3.	La permeabilidad de los gases a través de las paredes de la botella	18
2.3.4.	Condiciones ambientales	20
2.4.	Inertización con gas nitrógeno.....	20
2.4.1.	Procesos de inertización	22
2.4.2.	Ventajas de inertizar con gas nitrógeno	23
2.4.3.	Inertización en línea de envasado de producto	24
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.1.	Variables.....	29
3.1.1.	Temperatura.....	29
3.1.2.	Peso del envase	29
3.1.3.	Estructura del envase.....	29
3.1.4.	Variables de respuesta o salida.....	31
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	33
3.3.1.	Investigador	33
3.3.2.	Asesor	33
3.3.3.	Coasesores	33
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	34
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	35
3.5.1.	Técnica cualitativa	35
3.5.2.	Técnica cuantitativa.....	35

3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	39
3.6.1.	Determinación de corridas a realizar	39
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	40
3.7.1.	Determinación de una efectiva dosificación de gas nitrógeno en los envases, para una inertización confiable	40
3.7.1.1.	Índice de capacidad Cp	41
3.7.1.2.	Índice de capacidad Cpk	42
3.7.1.3.	Límites de control del proceso.....	43
3.7.2.	Validación el material de empaque para salvaguardar el proceso de inertización en el tiempo.....	44
3.7.3.	Determinación del comportamiento de porcentaje de oxígeno en el interior del envase con respecto al tiempo de vida del producto	45
3.8.	Análisis estadístico	45
3.8.1.	Desviación estándar	45
3.8.2.	Probabilidad de éxito	47
3.8.3.	Correlación estadística	47
3.8.4.	Calidad de los datos cualitativos.....	48
4.	RESULTADOS.....	49
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
6.	LOGROS OBTENIDOS	59

CONCLUSIONES.....61
RECOMENDACIONES63
BIBLIOGRAFÍA.....65
APÉNDICES.....67
ANEXOS.....73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cadena de producción y comercialización de plaguicidas	9
2.	Condiciones de colapsamiento de envase	17
3.	Inertización de tanques de líquido inflamables.....	21
4.	Diseño de tubería flexible de inserción de nitrógeno gaseoso	24
5.	Fases de proceso de inertización con gas nitrógeno en botellas con producto	25
6.	Proporción del aire dentro de botella inertizada con N ₂	26
7.	Composición de sello de seguridad o <i>liner</i>	26
8.	Taponadora con sistema de inertización de N ₂ (vista lateral)	27
9.	Taponadora con sistema de inertización de N ₂ (vista superior)	27
10.	Diagrama de flujo de la validación de empaque.....	36
11.	Diagrama de flujo de inertización en líneas productivas	37
12.	Diagrama de flujo para la medición de porcentaje de oxígeno.....	38
13.	Gráfico de control de porcentaje de oxígeno en proceso de línea de envasado.....	50
14.	Porcentaje de oxígeno dentro de la botella con producto inertizado y sin inertizar respecto al tiempo de vida del producto.....	53

TABLAS

I.	Tipos de plaguicidas según organismo que controlan	4
II.	Clasificación de los plaguicidas según su vida media de efectividad	5

III.	Clasificación de los plaguicidas según el grupo químico del ingrediente activo.....	6
IV.	Clasificación de los plaguicidas según toxicidad aguda expresada en DL50	8
V.	Permeabilidad de materiales plásticos.....	19
VI.	Porcentaje de oxígeno en inertización para combustión de materiales	21
VII.	Listado de variables del sistema	30
VIII.	Listado de variables a manipular	31
IX.	Capacidad del proceso de gráfico de control de la figura 11	50
X.	Matriz cualitativa de validación empaque de distintos envases plásticos con producto no inertizado respecto a su grado de colapsamiento.....	51
XI.	Matriz cualitativa de validación empaque de distintos envases plásticos con producto inertizado respecto a su grado de colapsamiento.....	51
XII.	Estabilidad de nitrógeno molecular e ingredientes activos	52
XIII.	Datos correlativos de la figura 12.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CO₂	Bióxido de carbono
EC	Concentrados emulsionables
SL	Concentrados solubles
Δ	Delta de cambio
σ	Desviación estándar
OD	Dispersión de aceite
e	Estimación del error
EVOH	Estructura plástica de etileno vinil alcohol o Coextruido
HDPE	Estructura plástica de polietileno de alta densidad
PTFE	Estructura plástica de politetrafluoroetileno
N₂	Gas nitrógeno bimolecular
O₂	Gas oxígeno bimolecular
GR	Granulados
CP	Índice de capacidad
LSC	Límite superior de control
LSE	Límite superior de especificación
DL50	Dosis letal media
n	Número de corridas
n	Número de datos
e	Número de éxitos
WP	Polvos humectables
DP	Polvos secos

SP	Polvos solubles
%	Porcentaje
p	Probabilidad de éxito
q	Probabilidad de fracaso
Σ	Sumatoria
SC	Suspensión concentrada
VCP	Valor central del proceso
$\frac{Z\alpha}{2}$	Valor estadístico de la curva normal de frecuencia
x_i	Valor i
\bar{X}	Valor medio
WVTR	Velocidad de transferencia de vapor de agua

GLOSARIO

Agroquímico	Sustancia química que afecta al crecimiento animal y vegetal por medio de reacciones bioquímicas.
Autoxidación	Oxidación de materia por contacto con el oxígeno del aire, debido a la inestabilidad química.
Colapsamiento	Deformación del material de empaque que contiene al producto.
Empaque primario	Material de empaque que tiene contacto directo con el producto químico.
Emulsión	Mezcla de líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea.
Especificación	Características descriptivas o valores prefijados de un material o sustancia, para su uso o adquisición.
Estabilidad acelerada	Prueba con modificación de condiciones para la aumentar la degradación de un material o sustancia debido a su análisis en un tiempo menor con respecto a condiciones ambientales.
Inertización	Desactivar o minimizar su potencial de naturaleza química.

Ingrediente activo	Sustancia toxica con determinada acción. Se encuentra con un grado de pureza establecido o en una proporción establecida en un producto.
Límites de control	Valores de tolerancia natural de un proceso, en los cuales se encuentre controlado y apto.
Plaguicida	Sustancias destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de algunos seres vivos considerados dañinos.
Porcentaje de oxígeno	Cantidad proporcional de oxígeno biomolecular en determina espacio.
Purgado	Desplazamiento de aire o vapor de un contenedor.
Sellado de inducción	Método sin contacto, de calentar un disco metálico para sellar herméticamente la parte superior de recipientes de plástico y de vidrio. Este proceso de sellado se realiza luego de que el contenedor ha sido llenado con su contenido y la tapa se ha colocado en su posición.
Validación	Acción y efecto de aprobar.

RESUMEN

Los productos de formulación OD (*oil dispersion*) son agroquímicos líquidos, una emulsión donde la fase dispersa es el aceite y la fase dispersante una solución acuosa. Debido al alto consumo de oxígeno por parte del aceite vegetal, las botellas donde se envasa este tipo de productos presenta problemas de colapsamiento. Este fenómeno, motivado por el consumo de oxígeno de la porción de aire en la parte superior del envase, provoca que se deforme con el tiempo.

Una solución alternativa es inertizar el producto líquido con gas nitrógeno, por lo tanto, para que se realice de forma efectiva hay que ejecutar una evaluación de este proceso. El mismo se realizó en la línea de envasado de formulaciones OD teniendo como objetivo determinar las condiciones necesarias para la correcta aplicación del gas nitrógeno en las botellas con producto. Se determinó una mayor efectividad a un tiempo de dosificación de tres segundos por envase y a una presión de 0,5 bares.

Se debe tener en cuenta que el material de empaque primario, aquel que tiene contacto directo con el producto químico, tiene un papel muy importante, ya que los cambios realizados influyen de una manera directa el proceso de inertización con gas nitrógeno. La estructura adecuada es el etilen vinil acohol (EVOH).

Al mismo tiempo, se analizó el comportamiento del gas nitrógeno dentro del envase, por medio de la cuantificación de oxígeno presente.

OBJETIVOS

General

Evaluar el proceso de aplicación de gas nitrógeno para inertizar, en el envasado de agroquímicos emulsionados de formulación OD, como solución alternativa al colapsamiento del material de empaque y el aseguramiento de la calidad del producto.

Específicos

1. Determinar una efectiva dosificación de gas nitrógeno en los envases para una inertización confiable.
2. Validar el material de empaque para salvaguardar el proceso de inertización en el tiempo, con las opciones de polietileno de alta densidad, coextruido y polietileno de alta densidad fluorinado.
3. Determinar la interacción del producto líquido con el gas nitrógeno después del proceso de inertización.
4. Determinar el comportamiento del porcentaje de oxígeno en el interior del envase con respecto al tiempo de vida del producto.

Hipótesis

El consumo de oxígeno por parte del producto líquido produce cierto vacío en la parte superior del envase, deformando el material de empaque. Al disminuir la cantidad de oxígeno, dicho consumo se reduce.

Hipótesis nula:

La realización del proceso de inertización con gas nitrógeno de forma adecuada, elimina el problema de colapsamiento en el material de empaque de los productos OD (*oil in water*).

Hipótesis alternativa:

La realización del proceso de inertización con gas nitrógeno de forma adecuada, no elimina el problema de colapsamiento en el material de empaque de los productos OD (*oil in water*).

INTRODUCCIÓN

La inertización es el proceso de evitar la reacción de una sustancia; comúnmente se realiza la operación de inertización para inactivar residuos peligrosos minimizando la contaminación potencial, reducir la degradación de productos perecederos impidiendo los procesos biológicos o de autooxidación no deseados. La inertización ofrece seguridad en muchas áreas donde existe riesgo de fuego o explosión debido a sustancias químicas, además de brindar protección durante la producción, almacenamiento y transporte.

El producto agroquímico *oil in water* (OD) se refiere a una emulsión de aceite en agua, donde la fase dispersa es el aceite y la fase dispersante una solución acuosa. Estos productos presenta problemas de colapsamiento debido a que consumen una alta cantidad de oxígeno en la porción de aire en la parte superior del envase haciendo que se deforme con el tiempo. Una solución alternativa es inertizar con gas nitrógeno el producto líquido, por lo tanto, para que se realice de forma efectiva hay que ejecutar una evaluación de este proceso.

Por ejemplo, un cambio en la estructura del sello de seguridad permitiría la fuga del gas nitrógeno a la atmosfera, produciendo fallo del proceso por el problema de colapsamiento y pérdida de recursos. Esto generaría reclamos por parte del cliente, doble trabajo, reproceso, incineración de material contaminado y pérdida de dinero.

1. ANTECEDENTES

El proceso de inertización con gas nitrógeno en sí no tiene ninguna investigación o antecedente en Guatemala en productos agroquímicos, ya que es un proceso relativamente nuevo en esta industria. A nivel internacional se han realizado varias publicaciones de inertización con gas nitrógeno con distintas aplicaciones, por ejemplo:

Aventis CropScience UK en Cambridge, Inglaterra es perteneciente a la corporación Bayer y ha realizado una publicación del proceso de inertización de productos agroquímicos:

- *Nitrogen Purging of plastics bottles used to contain liquid agrochemical formulations* de Chris Emmerson perteneciente a *Packaging International*, publicado en el 2001 detalla el proceso de inertizado y las condiciones de llenado de agroquímicos en una línea de envasado automatizada con presión modificada.

En la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizado trabajos de graduación relacionados a los productos agroquímicos, como estudios de estabilidad y generalidades, por ejemplo:

- *Evaluación de la estabilidad de una emulsión de la mezcla para dos agroquímicos líquidos (fungicida y fertilizante)* de Sergio Luis Surám Chicas en 2012. En este trabajo se discute la compatibilidad química y física que presentan los agroquímicos al ser mezclados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Plaguicida

“Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicios o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte”¹.

2.1.1. Clasificación de los plaguicidas

Los plaguicidas son clasificados de acuerdo al enfoque dado: “Conforme a su toxicidad aguda, los plaguicidas pueden ser extremadamente peligrosos, altamente peligrosos, moderadamente peligrosos y ligeramente peligrosos. Según su vida media, pueden ser permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes. Dada su estructura química, se clasifican en diversas familias, como los organoclorados, los organofosforados, los Carbamatos y los piretroides”².

¹ Organización Mundial de la Salud. *Directrices sobre la gestión de los plaguicidas para la salud pública*. p. 6.

² RAMIREZ, J.A.; LACASAÑA, M. *Plaguicidas: uso, toxicología y medición de la exposición*. p. 67.

2.1.1.1. Clasificación de plaguicida según organismo que desea combatir

La clasificación de los plaguicidas se representa de acuerdo al organismo que controla, su persistencia en el ambiente y acuerdo su ingrediente activo.

Tabla I. **Tipos de plaguicidas según organismo que controlan**

Tipos de plaguicidas	Organismo que Controlan
Insecticida	Insectos
Herbicidas	Malezas
Fungicidas	Hongos
Acaricida	Ácaros y arañas
Rodenticidas	Roedores
Nematicidas	Nematodos
Molusquicidas	Caracoles y babosas
Fumigantes	Plagas de depósito

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.2. Clasificación de los plaguicidas según su persistencia en el ambiente

La persistencia es la capacidad de una sustancia o un compuesto, de permanecer en un sustrato del ambiente en particular, después de que ha cumplido el objetivo por el cual se aplicó. Y la vida media es el lapso necesario para que se degrade la mitad del compuesto o mezcla aplicada.

Tabla II. **Clasificación de los plaguicidas según su vida media de efectividad**

Persistencia	Vida media	Ejemplos
No persistente	De días hasta 12 semanas	Malatión, Diazinón, Carbarilo, Diametrín.
Moderadamente persistente	De 1 a 18 meses	Paratión, Lannate.
persistente	De varios meses a 20 años	DDT, Aldrín, Dieldrín.
Permanentes	Indefinidamente	Productos hechos a partir de mercurio, plomo y arsénico.

Fuente: RAMÍREZ, J. A. y LACASAÑA, M. - *Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición*. p. 3.

2.1.1.3. Clasificación de los plaguicidas según el ingrediente activo

Todos los plaguicidas deben su acción a una sustancia tóxica con determinada acción sobre un organismo. Esta sustancia sea producto orgánico o inorgánico, natural, sintético o biológico. Este se encuentra con un grado de pureza establecido o en una proporción establecida.

Los plaguicidas utilizan de uno a tres ingredientes activos. Hay familias de ingredientes activos que trabajan en la misma forma básica, el uso de ingredientes activos de diferentes familias químicas puede retrasar el desarrollo de la resistencia a los plaguicidas. Algunos ingredientes activos trabajan contra una amplia gama de plagas y otros son más específicos.

Tabla III. **Clasificación de los plaguicidas según el grupo químico del ingrediente activo**

Insecticidas	Minerales	Compuestos arsenicales Compuestos Fluorados Azufre
	Orgánicos de Síntesis	Organofosforados Organoclorados Carbamatos
	A base de aceites minerales	Aceites antracénicos Aceites de petróleo
	Origen vegetal	Nicotina Piretrina
Herbicidas	Minerales	Sales de NH_4^+ , Ca^{++} , Cu^{++} , Fe^{+++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , en forma de sulfatos, nitratos, cloruros y cloratos.
	Orgánicos	Fitohormonas Derivados de la Urea Triazinas y Diazinas Derivados de los fenil sustituidos y las quinoxalinas Derivados de las tiadizinas y tiadiazoles
	Otros	Parquat Diaquat Piclorame
Fungicidas	Minerales	Sales de Cobre Compuestos arsenicales Aceites minerales
	Organometálicos	Derivados organomercuriales
	Orgánicos	Carbamatos y ditiocarbamatos Derivados del Benceno Amicidas Benzonitrilos

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.4. Clasificación de los plaguicidas según toxicidad

Son indiscutibles los efectos tóxicos que generan los plaguicidas en el ser humano. Su biodisponibilidad en el organismo depende de su toxicocinética: absorción, distribución, metabolismo y eliminación. Se denomina DL50 a la dosis de una sustancia que resulta mortal para la mitad de un conjunto de animales de prueba. Los valores de la DL50 son usados como un indicador general de la toxicidad aguda de una sustancia. Generalmente se expresa en miligramo de sustancia tóxica por kilogramo de peso del animal, y el dato es acompañado del animal en el que se probó (ratas, conejos, entre otros). De esta forma puede extrapolarse a los seres humanos.

“Hay dos tipos de reacciones por las que los plaguicidas se metabolizan en el organismo: las reacciones de primera fase (oxidación, reducción e hidrólisis), que generalmente son catalizadas por enzimas hepáticas, y las de segunda fase, que son la conjugación y la síntesis.”³ El cuerpo humano elimina los plaguicidas por tres vías principales: la orina, las heces fecales y el aire exhalado.

³ RAMIREZ, J.A.; LACASAÑA, M. *Plaguicidas: uso, toxicología y medición de la exposición*. p. 71.

Tabla IV. **Clasificación de los plaguicidas según toxicidad aguda expresada en DL50**

Bandas Toxicológicas	Color de banda toxicológica	Formulación líquida		Formulación sólida	
		DL50		DL50	
		ORAL	DERMAL	ORAL	DERMAL
Extremadamente tóxico	Rojo (199-C)	<20	<40	<5	<10
Altamente tóxico	Rojo (199-C)	20 - 200	40-400	5 -50	10 - 100
Moderadamente tóxico	Amarillo (Yellow -C)	200-2000	400-4000	50-500	100-1000
Ligeramente tóxico	Azul (293-C)	2000-3000	>4000	500-2000	>1000
Probablemente sin riesgo	Verde (347-C)	>3000	--	>2000	--

Fuente: elaboración propia.

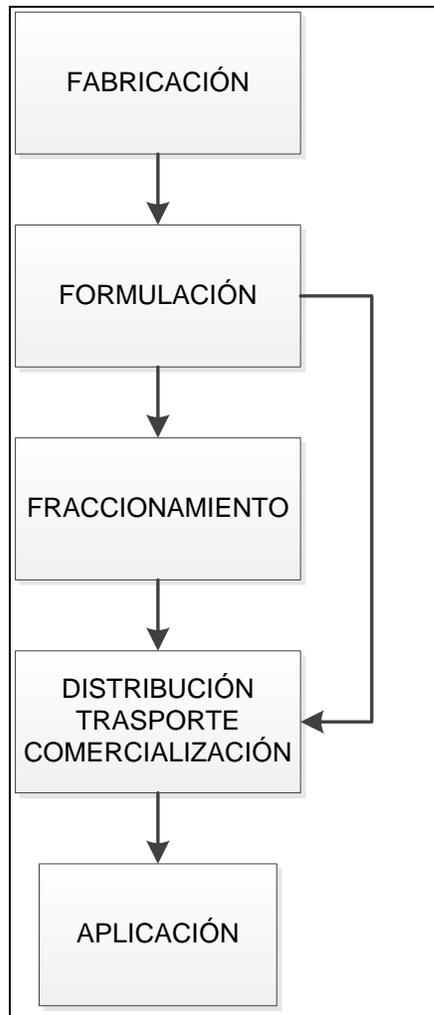
2.1.2. Formulación de los plaguicidas

Se denomina formulación a la mezcla del ingrediente activo con otro tipo de ingredientes que son inactivos o inertes para que su aplicación sea directa, indirecta o dosificada. Los motivos por los que se realiza la formulación:

“Puede que las propiedades físicas de los ingredientes activos no permitan su aplicación directa sobre la plaga o que sean muy tóxicos en su forma pura o las dosis requeridas sean difíciles de dispersar a concentraciones

altas. De esta forma los ingredientes no activos permiten la dilución, además de proporcionales estabilidad.”⁴.

Figura 1. **Cadena de producción y comercialización de plaguicidas**



Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana. *Guía para el control de la contaminación industrial, almacenamiento, transporte y aplicación de plaguicidas, insecticidas, pesticidas y fungicidas.* p. 9.

⁴ SURÁM CHICAS, Sergio Luis; *Evaluación de la estabilidad de una emulsión de la mezcla para dos agroquímicos líquidos (Funguicida y Fertilizante)* p. 8.

2.1.3. Tipos de formulaciones

Existe una infinidad de productos pesticidas disponibles en el mercado de formulación en líquido y en sólido, tanto para el uso forestal, agrícola y urbano. También una gran variedad de presentaciones de estos productos se conservan cuando se trata de un mismo tipo de ingrediente activo y manufacturado por la compañía, por lo general ofrecen al consumidor la posibilidad de adquirir un mismo insecticida en varias formulaciones. Estas formulaciones, para un mismo ingrediente activo, hace que el comportamiento del producto también sea diferente, por ejemplo: algunos tipos de formulaciones pueden mezclarse fácilmente en agua, mientras otras pueden incrementar la posibilidad de daño en las cosechas. Por tanto, la elección apropiada del tipo de formulación que debo emplear dependerá del tipo de trabajo y control que debo realizar. En este sentido es importante considerar los siguientes factores:

- El porcentaje de ingrediente activo en la formulación.
- Facilidad de manipulación y mezcla.
- Que disminuya el riesgo de intoxicación a las personas que puedan verse expuestas al producto.
- El tipo de ambiente, si la aplicación debe realizarse al aire libre o al interior de una construcción. O si se aplicará en la agricultura, en plantas forestales o en ambientes urbanos, entre otros.
- Conocer los hábitos de las plagas.
- Que sea lo menos dañino posible y efectivo para las cosechas.
- Que sea compatible con el tipo de maquinaria o implementos con los que se cuenta.
- Considerar el peligro de contaminación de ambientes, suelos, cursos de agua, entre otros.
- Considerar el costo.

2.1.3.1. Formulaciones sólidas

Las soluciones sólidas pueden ser divididas en dos grupos, listas para usar (polvos secos de aplicación directa, gránulos y *pellets*) o concentraciones que deben ser mezcladas con agua para ser aplicadas posteriormente por aspersión (polvos mojables, floables secos y polvos solubles).

- Polvos secos de aplicación directa (DP)

Los polvos corresponden a mezclas entre insecticidas en seco con algún tipo de polvo inerte como talcos, arcillas o cenizas. Generalmente el ingrediente activo se encuentra casi en un 100 % (puro). Los polvos proporcionan una excelente cobertura, por ser partículas tan pequeñas que son capaces de ingresar a pequeños espacios alcanzando lugares de difícil acceso, pero también tienen el inconveniente de ser un riesgo por inhalación involuntaria. Además corren el riesgo de recibir humedad alterando rápidamente sus propiedades como insecticida.

Normalmente los polvos actúan como venenos estomacales a través de la ingestión, también pueden actuar por contacto cuando son absorbidos a través de la cutícula o al remover la grasa protectora del cuerpo lo que induce la pérdida de líquidos y posterior muerte del insecto por deshidratación. Ejemplo: ácido bórico, diazinon, carbamatos.

- Polvos humectables o mojables (WP)

Corresponden a polvos impregnados con insecticidas concentrados. Además, a esta mezcla se le agregan agentes humectantes y dispersantes para permitir que las partículas de polvo queden suspendidas en el líquido, no se aglomeren y queden homogéneamente distribuidas en el tanque. La mezcla

total en promedio tiene alrededor de un 50 % de ingrediente activo, pero pueden encontrarse formulaciones que van desde un 75 % a un 15 %. Al utilizar concentraciones más altas pueden quedar depósitos visibles sobre las superficies tratadas.

Cuando se aplican a las superficies, el agua de la mezcla penetra los materiales porosos y el polvo permanece en la superficie dejando un buen efecto residual. De esta manera que cuando el insecto transita por ese lugar, incluso varios días después de la aplicación, levanta la dosis requerida para causarle la muerte. Esto resulta ser la mejor elección por presentar la acción residual más efectiva y duradera. Ejemplo: dithane, captan.

- Polvos solubles (SP)

Es una formulación muy similar al polvo mojable, con la diferencia que el ingrediente activo y todos los otros componentes de la formulación pueden disolverse sin mayor dificultad en el agua, formando un compuesto homogéneo. Una vez que se logra la disolución completa del producto en el agua, no es necesario volver a agitarlo. También difiere en relación al poder abrasivo, sin comportarse como un producto que dañe a los equipos o ropa de protección.

Existen pocos productos formulados así, ya que se describen pocos ingredientes activos que sean solubles en el agua. Debe considerarse, durante la dosificación y disolución del producto, que puede presentarse intoxicación por inhalación del polvillo que se genera durante esta maniobra. Ejemplo: sulfato de cobre.

- Granulados (GR)

El ingrediente activo se adhiere a partículas de mayor tamaño. El material sólido inerte que se utiliza puede ser arena, arcilla e incluso cáscaras de semillas u otros materiales de origen vegetal. Los gránulos presentan solo un 15 % del ingrediente activo. Requieren ser humedecidos posterior a su aplicación para que se libere el ingrediente activo.

- Polvos floables secos o gránulos dispersables (WG)

El ingrediente activo de un polvo floable seco (también llamado gránulo dispersables) está incorporado junto con los dispersantes y otros componentes de la formulación en forma similar a un polvo mojable. Sin embargo, aún siendo un polvo mojable se presenta formulado como gránulos que se mezclan con agua para su aplicación. En ellos se utiliza menos inertes por lo que tiene alto contenido de ingrediente activo.

2.1.3.2. Formulaciones líquidas

“Los plaguicidas también se pueden presentar como un líquido (soluciones en solventes o concentrados oleosos). El ingrediente activo puede ser un líquido o un sólido. Los sólidos se introducen en un sustrato líquido en presencia de un emulsificante; los líquidos simplemente se disuelven en un diluyente”⁵.

Las distintas mezclas se realizan en proporciones establecidas para cada plaguicida.

⁵ Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana. *Guía para el control de la contaminación industrial, Fabricación de plaguicidas, pesticidas, insecticidas y fungicidas.* p. 12.

- Concentrados emulsionables (EC)

Muchos ingredientes activos no son solubles en agua, pero pueden disolverse en diferentes solventes orgánicos, aromáticos o alifáticos. Estos productos llevan como soporte un solvente, además de sustancias que mejoran sus características (emulsificantes y coadyuvantes). Los solventes no son solubles en agua y se mezclan con dificultad, pero estos emulsificantes permiten que puedan mezclarse en forma homogénea formando una emulsión.

Los productos EC necesitan ser agitados para mantener la emulsión. Es recomendable agitar el preparado al menos unas 4 veces por hora para su uniformidad.

- Suspensiones concentradas (SC)

En los productos SC ingrediente activo (es un sólido) resulta ser insoluble en agua al igual que en solventes inorgánicos. Es este ingrediente sólido el que se muele finamente mezclándose con emulsificantes y dispersantes hasta formar una suspensión concentrada estable.

- Concentrados solubles, soluciones (SL)

En los productos SL, el ingrediente activo puede ser disuelto en agua, al ser preparada no necesita agitación constante, ya que al ser mezclado permanece la solución homogénea. En este tipo de formulación el ingrediente activo se degrada de forma limitada o no se degrada en contacto del agua.

2.2. Emulsiones

Una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles. Los rangos de las gotas que se encuentran dispersas se encuentran entre el rango de 0,1 a 20 micrómetros. Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, “las emulsiones pueden volverse cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensioactivos que presentan la capacidad de absorción en las superficies de las gotas. En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra es aceite”⁶.

Las emulsiones consisten de dos fases. La primera la fase dispersa es el líquido que se dispersa en pequeñas gotas también se le conoce como fase interna o discontinua. La segunda la fase dispersante es el líquido como medio de dispersión, también se le llama fase externa o discontinua.

Las emulsiones con aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua (*oil-in-water, O/W*) y las emulsiones donde la fase dispersa es el agua se conoce como emulsiones de agua en aceite (*wáter-in-oil, W/O*).

2.2.1. Dispersión de aceite (OD)

Uno de los modernos tipos de formulación son las dispersiones de aceite (OD). Esta tecnología permite formulaciones agroquímicas muy eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

⁶ ARRANBERRI, I. ET AL. Revista Iberoamericana de polímeros. *Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos*. p. 22.

En los OD el ingrediente activo sólido se dispersa en la fase de aceite, por lo que es especialmente adecuado para los ingredientes activos sensibles al agua o no soluble. Cuando la dispersión de aceite entra en contacto con agua de la formulación o bien puede formar una emulsión o una suspo emulsión.

La fase de aceite puede comprender diferentes aceites tales como aceites minerales, aceites vegetales o ésteres de aceites vegetales.

- Suspo - emulsión (SE)

Formulación heterogénea fluida consistente de una dispersión estable de sustancias activas en la forma de partículas sólidas y glóbulos finos en una fase acuosa continúa.

2.3. Colapsamiento de envases

El fenómeno del colapsamiento se produce cuando la presión, dentro de una botella de plástico, es menor en el aire ambiente exterior, haciendo que las paredes de la botella colapsen parcialmente hacia el interior. El resultado es un producto estéticamente poco atractivo con una forma distorsionada y etiquetas con arrugas.

En la industria de agroquímicos el colapsamiento es un problema común, este no solo impide la venta de los productos por sus desperfectos físicos, además evita el transporte de estos, como se detalla en la norma Coguanor NGO 44 044 “Se debe transportar únicamente productos en buen estado físico, estibado en forma ordenada y segura”⁷.

⁷ COGUANOR NGO 44 044. *Plaguicidas: Almacenamiento y transporte*. p. 7.

Figura 2. **Condiciones de colapsamiento de envase**



Fuente: Bayer S. A.

El colapsamiento como fenómeno tiene causas y son atribuibles a:

2.3.1. **Cambio de temperatura y presión**

Cuando se realiza el envasado, tanto el producto como el aire dentro del envase, se encuentra a una mayor temperatura y cuando se enfría el aire dentro de este envase cerrado se contrae. Esto reduce la presión interna y se producen las condiciones que pueden causar el colapsamiento.

Esto es más notable en el caso de las botellas que se llenan en caliente y sellado antes de refrigeración. Al enfriarse el producto, el aire en el espacio

superior de la botella generan una presión negativa dentro de la botella. Esta presión negativa puede hacer que los paneles laterales sean aspirados para compensar la pérdida de volumen del producto.

2.3.2. Absorción de oxígeno y reacción

El oxígeno en el espacio superior de la botella está siendo absorbido en el contenido de la botella, dependiendo de la naturaleza del producto.

El oxígeno también puede reaccionar con uno o más de los ingredientes del producto. Puesto que el oxígeno comprende de aproximadamente 21 % del volumen de aire, reduciendo su concentración puede disminuir significativamente la presión interna de la botella; generando una presión negativa provocando el colapsamiento.

2.3.3. La permeabilidad de los gases a través de las paredes de la botella

Las paredes de la botella son permeables en cierta proporción al vapor de uno o más de los ingredientes en el producto y permite la transferencia de oxígeno del exterior.

Polietileno de alta densidad (HDPE), etileno vinil alcohol o coextruido (EVOH) y fluorinado o politetrafluoroetileno (PTFE), por ejemplo, son excelentes barreras contra la humedad. Pero solo las últimas dos barreras son eficientes con gases. Cualquier transferencia de vapor, a través de las paredes de la botella, puede resultar en una presión desigual y paneles.

Tabla V. **Permeabilidad de materiales plásticos**

Material	Densidad	WVTR	CO₂	O₂
LDPE	0.91 - 0.925	1.0 - 1.5	1967	445
HDPE	0.94 - 0.927	0.3 - 0.4	345	111
PVC	1.19 - 1.35	0.9-2	970	5 - 20
BOPP	0.884 - 0.901	0.25 - 0.7		150
PET	1.38 - 1.41	1.8 - 3.0		4.8 - 9
PA Nylon 6	1.01 - 1.88	6 - 22	160	0.02
PVDC	1.86 - 1.88	0.01 - 0.1	4	0.02
EVOH	1.25	02-05		0.01 - 1.15
EVA	0.94	3.9		515 - 545
Lonómero	0.94 - 0.96	1.3 - 2.1	226 - 484	
PTFE	1.37 - 1.39	0.9 - 1.2	16	6
Densidad	g/cm ³			
WVTR	g/24h/100 in ² /mil			
CO ₂ y O ₂	cm ³ /24h/100 in ² /mil			

Fuente: DELGADO, Nemesio.

http://www.tecnomaq.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=25:la-permeabilidad-ii-&catid=5:plasticos-y-conversion&Itemid=13. Consulta: 31 de enero de 2014.

2.3.4. Condiciones ambientales

Para evitar problemas de colapsamiento, las condiciones ambientales, como la altitud, la temperatura y la humedad relativa, también deben tenerse en cuenta.

Cuando un producto se envasa en una elevación de más de 5 000 pies, su presión interna será igual a la presión atmosférica externa, que es considerablemente más baja que al nivel del mar. Si el producto se vendió más tarde en un lugar situado a la altura del mar, la diferencia de presiones internas y externas puede provocar colapsamiento.

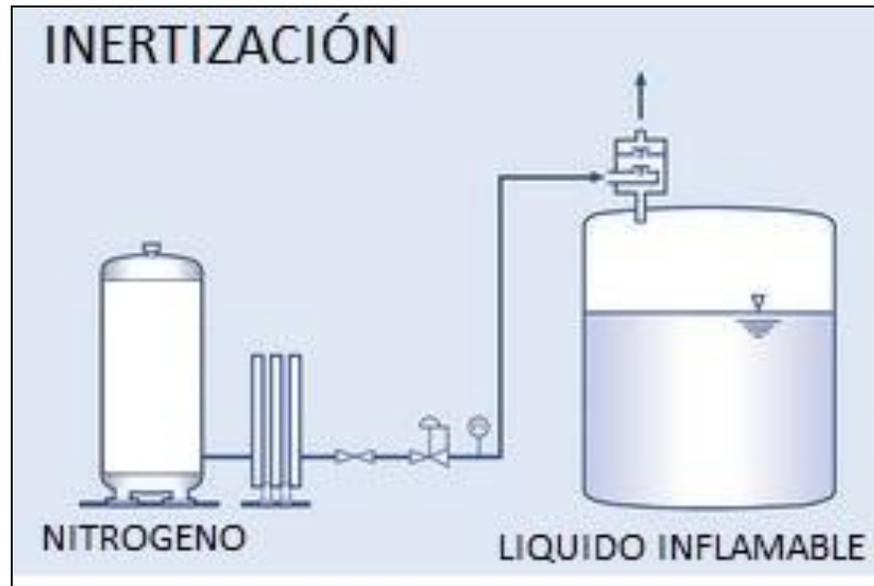
2.4. Inertización con gas nitrógeno

Es un término técnico que significa "dejar quieto", "dejar inactivo" se aplica en líquidos o sólidos, para inactivar o minimizar su potencial naturaleza química.

Cuando se almacenan sustancias altamente volátiles o sustancias propensas a la oxidación, la conservación del producto y la seguridad son de suma importancia. La inertización con nitrógeno de alta pureza o cubrimiento con nitrógeno es un método seguro y fiable.

Numerosos procesos industriales aprovechan la nula actividad química del nitrógeno (N_2) y del bióxido de carbono (CO_2) para evitar el contacto de un sistema (sustancias, equipo, tubería, entre otros.) con el oxígeno del aire, o bien, eliminar mezclas indeseables entre sustancias químicas.

Figura 3. **Inertización de tanques de líquido inflamables**



Fuente: OROZCO, Miguel. *Inertización de líquidos inflamables*. [http://blogs.monografias.com/seguridad-con-la electricidad/files/2012/08/inertizacion.jpg](http://blogs.monografias.com/seguridad-con-la-electricidad/files/2012/08/inertizacion.jpg) Consulta: 31 de enero de 2014.

Tabla VI. **Porcentaje de oxígeno en inertización para combustión de materiales**

Porcentaje de oxígeno en el espacio protegido	Efecto en la combustibilidad de los materiales
8 % en Volumen	Incombustible
10 % en Volumen	Incombustible
12 % en Volumen	Difícilmente inflamable
15 % en Volumen	Difícilmente inflamable
21 % en Volumen	Combustible

Fuente: OROZCO, Miguel. *Inertización de líquidos inflamables*.
<http://m.patentados.com/invento/dispositivo-de-inertizacion-con-generator-de-nitrogeno.1.html>.
 Consulta: 31 de enero de 2014.

2.4.1. Procesos de inertización

- *Blanketing* (capa protectora)

Después del purgado es necesario mantener al producto aislado del oxígeno del aire. Para esto debe mantenerse una atmósfera inerte y uniforme por encima de la sustancia combustible a manera de una "capa protectora". Añadiendo nitrógeno, con el mismo caudal con el que el tanque es llenado y vaciado, se mantiene un efecto de protección de la calidad del producto evitándose el riesgo de oxidación, explosión o incendio.

- Traslase por presión

En la operación de transferencia de producto por presión, el nitrógeno es utilizado como protector y propulsor en un sistema cerrado de transporte. Es un método práctico para transferir sustancias entre dos contenedores sin necesidad de bombeo. De esta manera se reducen los costos de energía eléctrica, a la vez que se protege la sustancia trasvasada.

- Purgado

El riesgo de oxidación, incendio y explosión se reduce desplazando el aire o vapor de un contenedor con nitrógeno inerte seco.

- Secado

Cuando existen problemas potenciales de oxidación o corrosión, el nitrógeno puede ser utilizado efectivamente para operaciones de secado reemplazando el de aire caliente.

- Mezclado

Los líquidos susceptibles de contaminación por corrosión u oxidación pueden ser agitados o mezclados y, al mismo tiempo, protegidos del oxígeno. El pasaje de burbujas de nitrógeno redundará en menor nivel de oxígeno en el líquido.

- Transporte neumático

El nitrógeno gaseoso presurizado puede ser utilizado para el transporte de polvos potencialmente explosivos de un sitio a otro.

- *Sparging* (burbujeo)

Es un excelente método para retirar oxígeno de un líquido. El nitrógeno es inyectado en la corriente de líquido en forma de pequeñas burbujas, las cuales lo remueven.

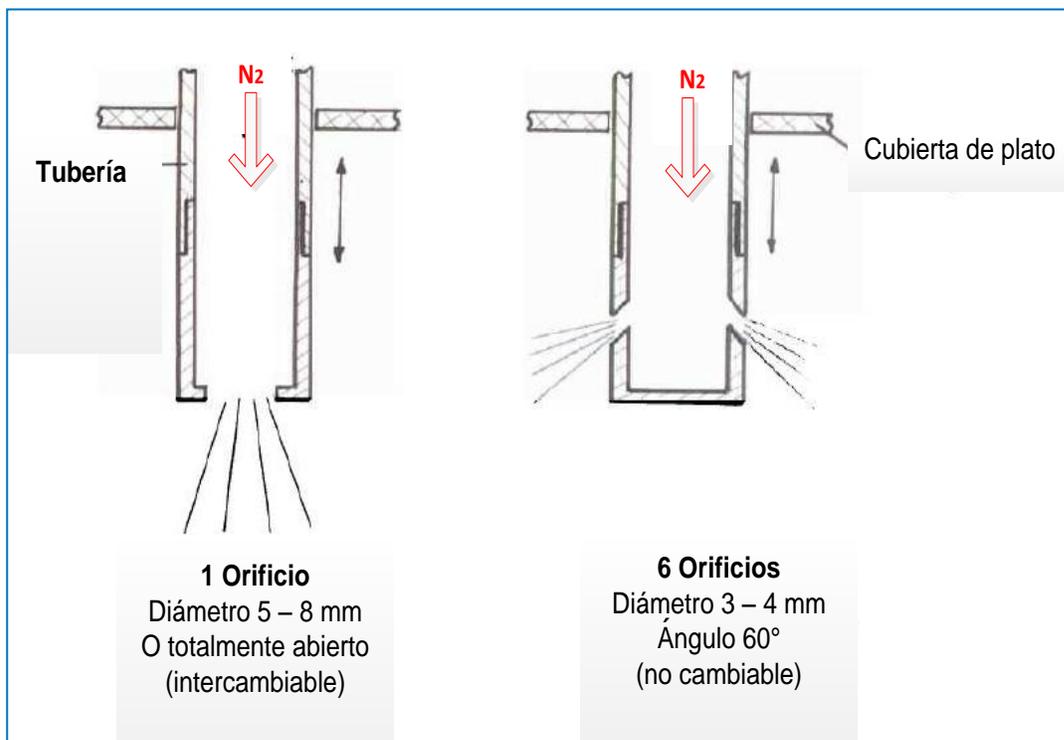
2.4.2. Ventajas de inertizar con gas nitrógeno

- Elimina el riesgo de explosión o incendio en paros y arranques de plantas, en tanques de almacenamiento y en reactores.
- Mantiene la calidad de los productos propensos a la oxidación.
- Incrementa la vida de anaquel de materias primas y productos terminados que almacena en grandes cantidades.
- Disminuye las pérdidas de productos almacenados por evaporación a la atmósfera.
- Bloqueo de gas inerte: durante los procesos de llenado se impide la entrada de oxígeno atmosférico, durante el llenado de los recipientes.

2.4.3. Inertización en línea de envasado de producto

En el envasado de productos agroquímicos la adición de nitrógeno gaseoso se realiza con una pequeña tubería flexible, de forma específica. Esta tiene seis orificios a los costados con ángulos de 60°, para evitar salpicaduras de producto, ya que cuando se utiliza con un solo orificio existen salpicaduras y contaminación en la parte externa del envase. Con esta operación se purga el oxígeno dentro de la botella.

Figura 4. **Diseño de tubería flexible de inserción de nitrógeno gaseoso**



Fuente: Bayer S. A.

La inertización es una operación previa a la colocación de la tapa en el envase. Después de puesta la tapa se realiza el sellado de seguridad o *liner* con una selladora de inducción de calor de alta frecuencia, este no es más que un lámina multicapa en la boca del envase.

La colocación de la tapa debe en corto tiempo y distancia, ya que si son muy prolongadas se escapa el gas nitrógeno. Por lo tanto se realiza unos segundos antes de la colocación de la tapa.

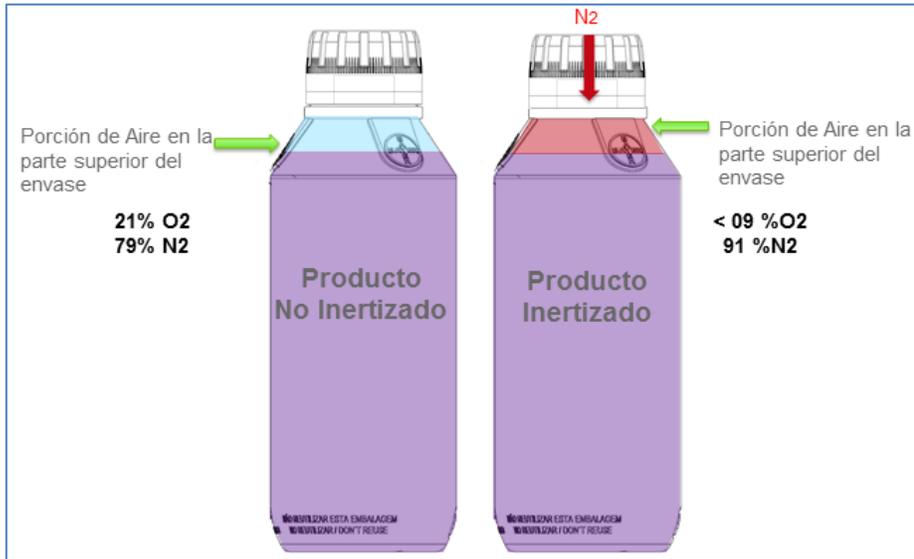
Figura 5. **Fases de proceso de inertización con gas nitrógeno en botellas con producto**



Fuente: Bayer S. A.

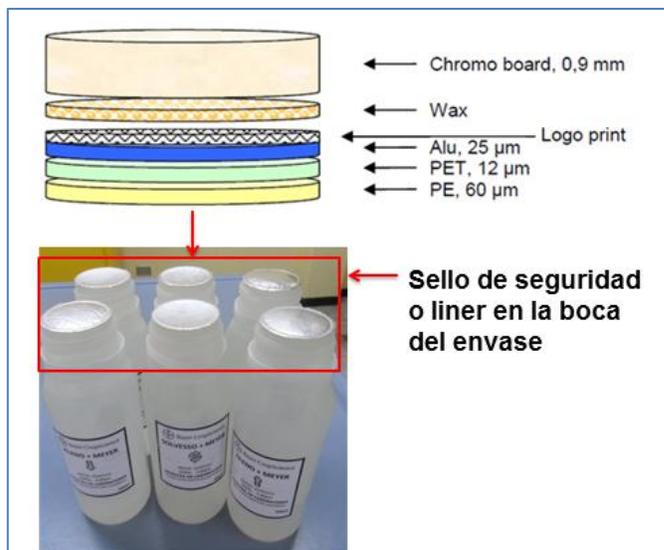
En las líneas de envasado se debe asegurar una correcta inserción de nitrógeno para garantizar la calidad del producto. Además se revisa el parámetro de control de porcentaje de oxígeno dentro del envase, material de empaque correcto y revisión del sello de seguridad, ya que una falla de cualquiera de ellos perdería el gas, generando daños económicos y posibles colapsamiento.

Figura 6. Proporción del aire dentro de botella inertizada con N₂



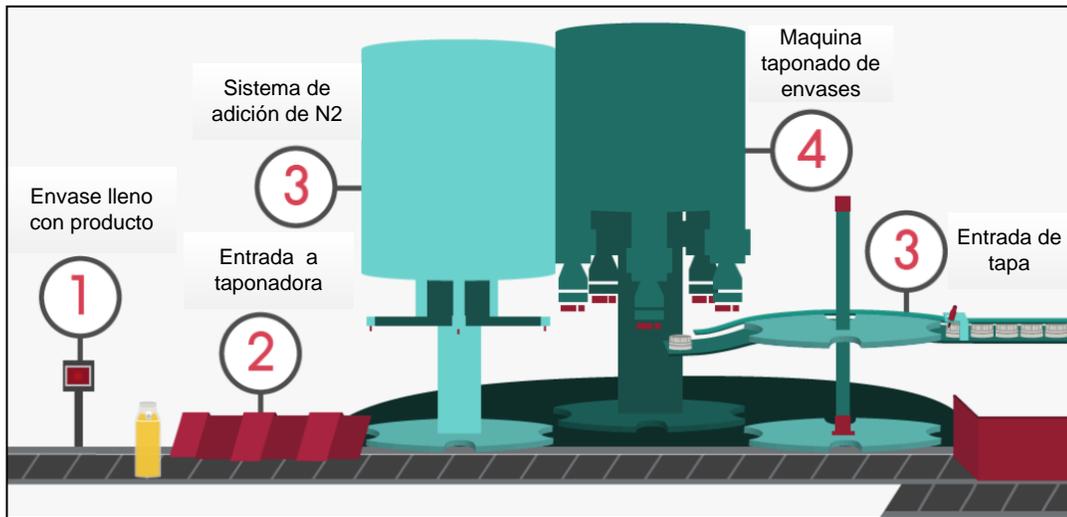
Fuente: Bayer S. A.

Figura 7. Composición de sello de seguridad o *liner*



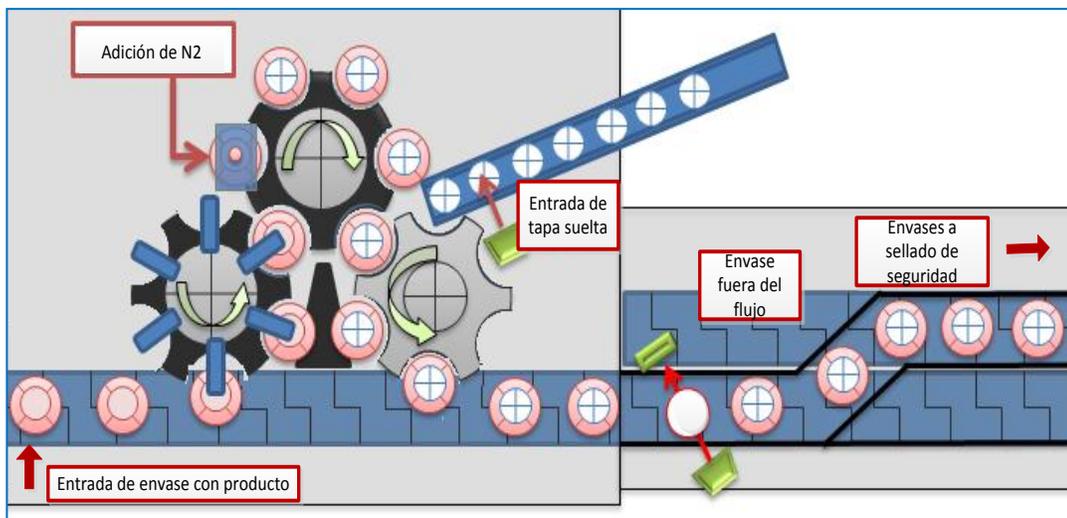
Fuente: Bayer S. A.

Figura 8. **Taponadora con sistema de inertización de N₂ (vista lateral)**



Fuente: Bayer S. A.

Figura 9. **Taponadora con sistema de inertización de N₂ (vista superior)**



Fuente: Bayer S. A.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

La determinación de los factores, que tienen influencia en la inertización en las líneas de envasado de los productos agroquímicos, depende del lugar donde se lleva a cabo la actividad.

3.1.1. Temperatura

La temperatura del ambiente externo, en cual se realiza la inertización con gas nitrógeno para las pruebas a nivel laboratorio, es de entre 20,5 °C y 21,5 °C, mientras que para la operación de inertización en la línea de envasado es a temperatura del municipio de Amatlán.

3.1.2. Peso del envase

Es un factor importante en el fenómeno del colapsamiento debido a una reducción global en el peso de las botellas de plástico. Se realizó un cambio de 93 g a 73 g en el peso actual de los envases, por lo tanto un cambio de este peso a uno mayor no es posible.

3.1.3. Estructura del envase

Es una variable cualitativa y adimensional, ya que se realizará el estudio con distintas estructuras, para la validación del material de empaque. Estas son

polietileno de alta densidad (HDPE), coextruido o etilen vinil alcohol (EVOH) y polietileno de alta densidad con fluorinado (HDPE-PTFE).

Tabla VII. Listado de variables del sistema

#	Variable	Dimensional	Factor potencial de estudio		Factor perturbador	
			Independiente	Dependiente	Controlable	No Controlable
Análisis de ambiente externo						
1	Temperatura	°C	X			X
2	Presión	atm	X			X
Análisis de experimentación						
3	Tiempo de aplicación de N ₂	s	X		X	
4	Presión de aplicación de N ₂	Bar	X		X	
5	Porcentaje de pureza del gas N ₂	% Vol.	X			X
6	Porcentaje de oxígeno	% Vol.		X		X
7	Peso del envase	g	X		X	
8	Estructura del envase	--	X		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Listado de variables a manipular**

Núm.	Variable	Dimensional	Rango de variación
1	Tiempo de aplicación de N ₂	s	$1 < t < 4$
2	Presión de aplicación de N ₂	Bar	$0,2 < P < 1$
3	Estructura del envase	--	<i>HDPE ,EVOH y HDPE – Flourinado</i>

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Variables de respuesta o salida

Es el porcentaje de volumen de oxígeno, dentro del envase, con la cual se logra retardar o eliminar por completo el problema de colapsamiento en los envases del producto terminado.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Área: plaguicidas.
- Industria: agroquímicas.
- Proceso: envasado de productos agroquímicos emulsionados (OD) en presentación de 1L; para realizar el proceso de inertizado con nitrógeno gaseoso en cada una de las botellas producidas, evitando su colapsamiento.
- Etapa del proceso: evaluación del proceso de inertizado con nitrógeno gaseosos, en material de empaque y proceso en línea de envasado, para garantiza la calidad en el tiempo de vida del producto.
- Ubicación: se realizará el proceso de envasado en la máquina PR8 con sistema de inserción de nitrógeno gaseoso. Dentro en la planta de producción de agroquímicos de Bayer Guatemala.
- Clima: la operación de inertización en la línea de envasado es a temperatura ambiente del municipio de Amatitlán, que se mantiene entre 23 °C a 26 °C.

3.3. Recursos humanos disponibles

La evaluación y realización del proceso de inertización en el envasado manual de agroquímicos de formulación OD se llevará a cabo en la planta de producción Bayer S. A. división CropScience de Guatemala ubicada en el km. 29,5 carretera al pacífico, Amatitlán, Guatemala C. A. Se tendrá el apoyo del personal de dicha institución de los departamentos de Control de Calidad, Producción líquidos y Mantenimiento, y del supervisor de EPS.

3.3.1. Investigador

José Roberto Calderón Mazariegos, encargado de desarrollar el trabajo de investigación, análisis de muestras, validaciones y responsable de la información obtenida para el trabajo de investigación.

3.3.2. Asesor

Ingeniero químico Héctor Federico Fuentes, responsable del asesoramiento y supervisión del trabajo de investigación. Por medio de la revisión y aportación de ideas para la realización del Ejercicio Profesional Supervisado.

3.3.3. Coasesores

Ingeniera química Lorena Victoria Pineda Cabrera, ingeniera química Brenda Alejandra Polanco, licenciado en química Hugo Alejandro Solorzano. Son los responsables del asesoramiento indirecto del trabajo de investigación, además de proporcionar los recursos para el desarrollo de la investigación.

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

- Equipos
 - Balanza analítica
 - Cronómetro
 - Equipo de protección personal
 - Medidor de oxígeno
 - Horno de estabilidad acelerada
 - Selladora de inducción
 - Estación de inertización con gas nitrógeno
 - Máquina envasadora PR8

- Cristalería
 - Becker de 500 mL
 - Becker de 1 L
 - Agujas

- Reactivos
 - Productos OD
 - Gas nitrógeno

- Materia prima:
 - Envases de 1L de polietileno, coextruido y fluorinado.
 - Liner Meyer modelo 25-12-60
 - Tapa Smartline

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para este caso, la investigación se divide en dos partes: la realización de inertización con gas nitrógeno en las líneas productivas a consecuencia de las pruebas realizadas en el laboratorio, y la validación del material de empaque realizado en el laboratorio.

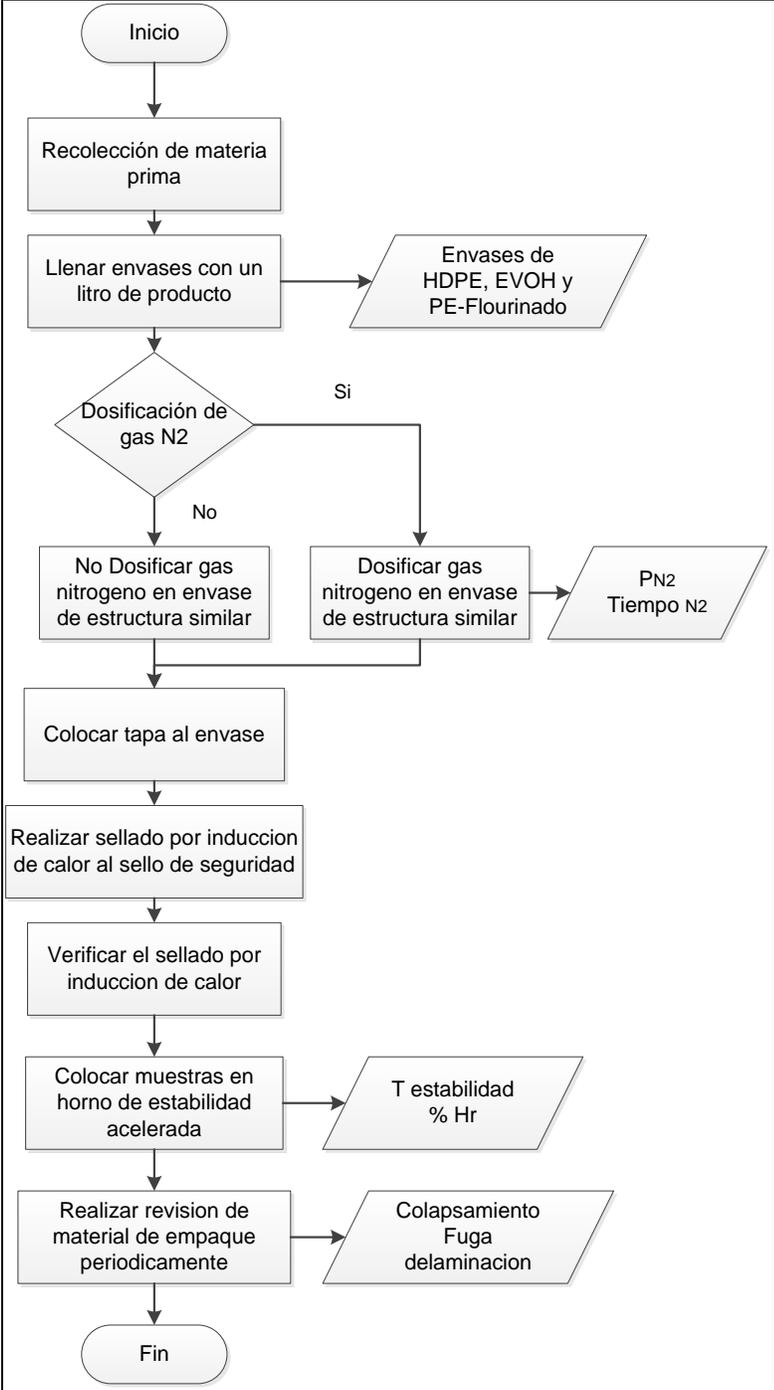
3.5.1. Técnica cualitativa

El problema de colapsamiento del material de empaque es una propiedad netamente cualitativa. Es un fenómeno visual en el cual se produce o no se produce la deformación del envase del producto final, por lo tanto, su cuantificación es innecesaria. Asimismo, por lo explicado anteriormente, la validación de empaque a utilizar por la formulación de OD se realizará mediante la observación de su comportamiento y cualidades.

3.5.2. Técnica cuantitativa

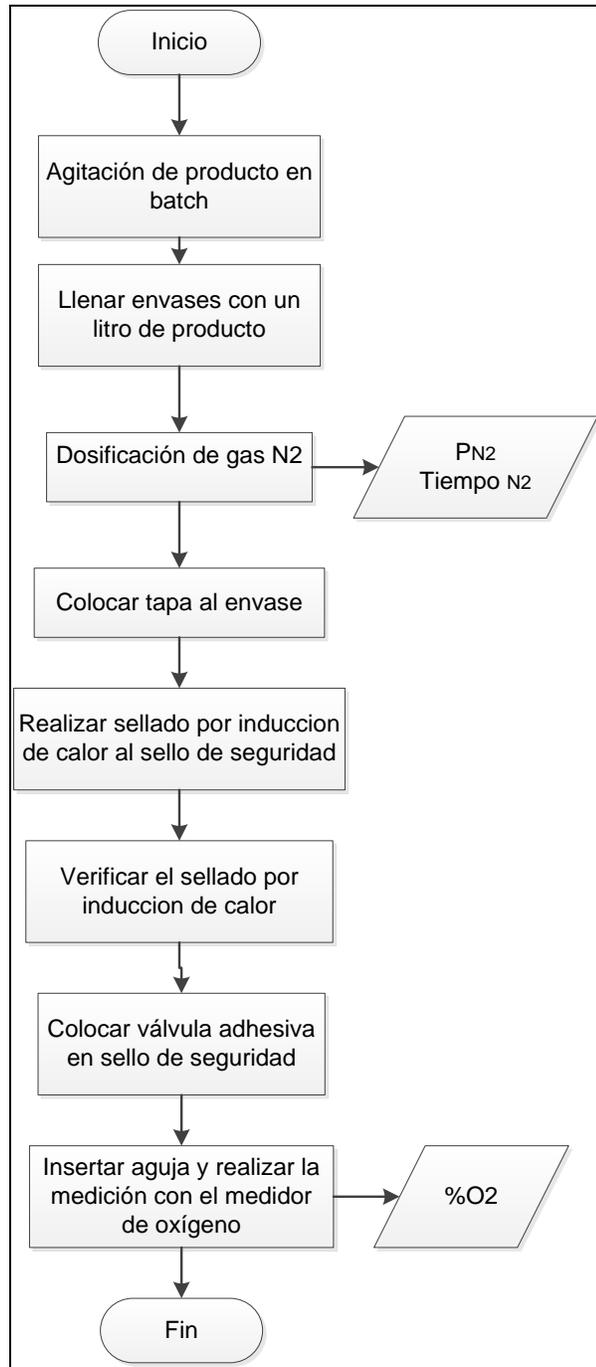
Se realizará un experimento basado en el análisis del comportamiento del oxígeno, dentro del envase, para determinar su consumo y concluir en función de los resultados obtenidos. Además, de la realización de inertización con gas nitrógeno en las líneas productivas, el porcentaje de oxígeno dentro del envase se ejecutará con límites de especificación de 3 % a 9 % establecidos en especificación de casa matriz. Los límites de control de 4 % a 8 % obtenidos a la fecha en planta para el proceso serán evaluados bajo esta nueva metodología.

Figura 10. Diagrama de flujo de la validación de empaque



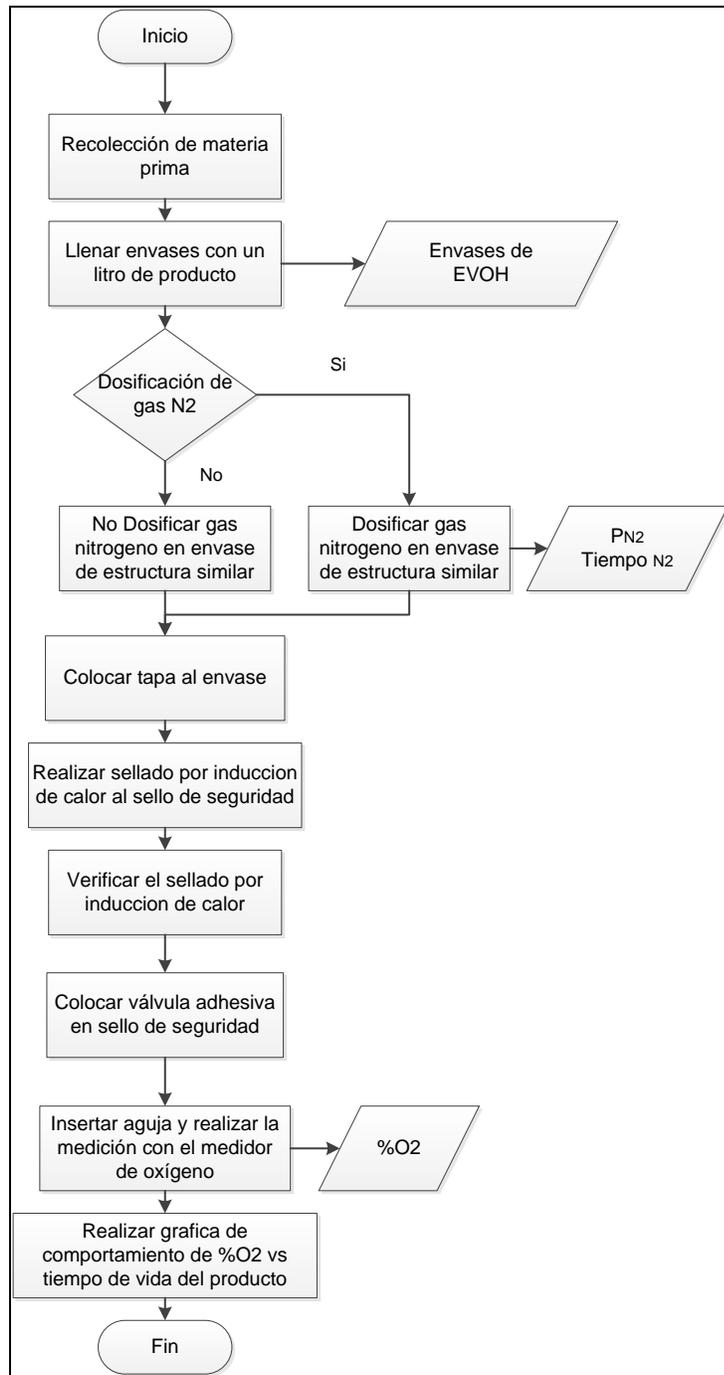
Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Project.

Figura 11. Diagrama de flujo de inertización en líneas productivas



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Project.

Figura 12. Diagrama de flujo para la medición de porcentaje de oxígeno



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Project.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizará la evaluación del proceso de aplicación de gas nitrógeno para inertizar en el envasado de agroquímicos y la validación colapsamiento del material de empaque.

3.6.1. Determinación de corridas a realizar

Para determinar la precisión y confiabilidad de los resultados se procede a calcular el número de observaciones que se deben tomar, para alcanzar los objetivos y así cumplir con un intervalo significativo de confianza. Esto disminuye los posibles errores utilizando un número de corridas adecuadas a evaluar. Se utilizó una confiabilidad de 1,96, una probabilidad de éxito del 95 % por lo que la probabilidad de fracaso es 5 %, y se estima un error estimado de 20 %.

Para determinar el número de corridas se procede a utilizar la ecuación:

$$n = \frac{z_{\frac{\alpha}{2}}^2 pq}{e^2}$$

Dónde:

n = número de corridas

$z_{\frac{\alpha}{2}}$ = valor estadístico de la curva normal de frecuencias

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

e = estimación del error

De la ecuación anterior se obtiene la cantidad de corridas:

$$n = \frac{1,95^2 * (0,95)(0,05)}{0,20^2}$$

$$n = 4,51 \approx 5$$

El número de repeticiones a realizar es de 5, para la validación de material de empaque y medición de porcentaje de oxígeno se realizarán 10 por solicitud de la empresa.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se realizó la evaluación el proceso de aplicación de gas nitrógeno para inertizar, en el envasado de agroquímicos emulsionados de formulación OD, como solución alternativa al colapsamiento del material de empaque y el aseguramiento de la calidad del producto.

3.7.1. Determinación de una efectiva dosificación de gas nitrógeno en los envases, para una inertización confiable

Se realizó un proceso en línea de envasado, en la cual se adiciona gas nitrógeno en cada envase para evitar el colapsamiento de la botella, controlando el tiempo de dosificación y la presión barométrica del tanque contener de gas nitrógeno, con ensayos a prueba y error se determinaron las mejores condiciones para inertizar.

- Capacidad del proceso

Se dice que un proceso se encuentra bajo control cuando su variabilidad es debida únicamente a causas comunes, ningún proceso se encuentra

naturalmente bajo control, es necesario un trabajo sistemático para eliminar las causas asignables que actúan sobre él; un proceso bajo control tiene resultado estable y predecible.

Para determinar la capacidad del proceso se tienen índices de capacidad CP y CPK.

3.7.1.1. Índice de capacidad Cp

El índice de capacidad Cp es la relación entre la tolerancia específica y la tolerancia natural del proceso. Esta relación se realiza con la variabilidad propia del proceso con los límites de especificación establecidos.

Para considerar un proceso capaz es necesario que Cp sea mayor o igual que 1,33 (adimensional).

El Cp se calcula de la siguiente manera:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Donde:

Cp = índice de capacidad del proceso

LSE= límite superior de especificación

LIE = límite inferior de especificación

σ = desviación estándar

El Cp para el proceso de inertización en líneas de envasado es:

$$Cp = \frac{9 - 3}{6(0,8716)} = 1,14$$

3.7.1.2. Índice de capacidad Cpk

El índice de capacidad Cpk es un valor adimensional que caracteriza la relación existente entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación. Este índice es utilizado para determinar si el proceso se ajusta a las tolerancias, es decir, si la media natural del proceso se encuentra centrada o no con relación al valor nominal.

Preliminar al cálculo de Cpk se calculan dos deltas de promedio a límites:

$$\Delta_1 = LSE - \bar{X}$$

$$\Delta_2 = \bar{X} - LIE$$

Donde:

Δ_1 = diferencia entre límite superior y valor medio

Δ_2 = diferencia entre límite inferior y valor medio

LSE= límite superior de especificación

LIE = límite inferior de especificación

\bar{X} = valor medio

Se calculan dos deltas de diferencia de límites y valor medio:

$$\Delta_1 = 9 - 6.2433 = 2.75667$$

$$\Delta_2 = 6.2433 - 3 = 3.2433$$

Se utiliza el delta mínimo entre los dos, en este caso $\Delta_1 = 2,75667$; El Cpk se calcula de la siguiente manera:

$$Cpk = \frac{\Delta_{min}}{3\sigma}$$

Dónde:

Cpk = índice de capacidad del proceso

Δ_{min} = delta mínimo entre Δ_1 y Δ_2

σ = desviación estándar

El Cpk, para el proceso de inertización en líneas de envasado, es:

$$Cpk = \frac{2,75667}{3(0,8716)} = 1,0541$$

3.7.1.3. Límites de control del proceso

El proceso de inertización en las líneas de producción se realizó con los límites de control establecidos por la empresa, siendo superior e inferior 8 % y 4 % O₂ respectivamente. Posterior a este proceso de producción se realizó la determinación de los nuevos límites de control, con un 95 % de confiabilidad dentro de la variabilidad del proceso, partiendo de un valor objetivo o valor central del proceso de 6 % O₂.

Los nuevos límites de control se calculan de la siguiente manera:

$$LIC = VCP - 2\sigma$$

$$LSC = VCP + 2\sigma$$

Donde:

VCP = valor central del proceso o valor objetivo

LSC= límite superior de especificación

LIC = límite inferior de especificación

σ = desviación estándar

Los nuevos límites de control se determinaron de la siguiente manera:

$$LIC = (6 - 2(0,8716))\%O_2 = 4,25$$

$$LSC = (6 + 2(0,8716))\%O_2 = 7,75$$

3.7.2. Validación el material de empaque para salvaguardar el proceso de inertización en el tiempo

Como prueba simultánea a la evaluación de la dosificación de gas nitrógeno se valida el material de empaque para salvaguardar el proceso de inertizado. Esta validación se realizó a un tiempo de 3 meses en una cámara de estabilidad acelerada, en donde, manipulando temperatura y porcentaje de humedad, se pueden obtener datos en un menor tiempo.

El material de empaque que se colocó a prueba son tres distintos envases: polietileno de alta densidad (HDPE), etilen vinil alcohol o coextruido (EVOH) y por último un polietileno de alta densidad con un recubrimiento de politetrafluoroetileno o flourinado (HDPE-PTFE)

3.7.3. Determinación del comportamiento de porcentaje de oxígeno en el interior del envase con respecto al tiempo de vida del producto

Después de obtener resultados de las dos pruebas anteriores se determinaron las condiciones para inertizar de forma adecuada y la mejor opción en estructura de envase para salvaguardar el proceso inertizado. Posteriormente se procedió a determinar el comportamiento del oxígeno en el interior del envase: cuando se adiciona gas nitrógeno para inertizar y cuando no se realiza esta operación, en un tiempo de vida del producto de dos años y medio en tres meses de prueba dentro de la cámara de estabilidad acelerada.

3.8. Análisis estadístico

Ciencia formal y una herramienta que estudia el uso y los análisis provenientes de una muestra representativa de datos, busca explicar las correlaciones y dependencias de un fenómeno físico o natural, de ocurrencia en forma aleatoria o condicional.

3.8.1. Desviación estándar

Para el análisis estadístico, de los datos del proceso de aplicación de gas nitrógeno en línea de envasado, se aplicó la distribución normal estándar. De forma inicial se realiza un cálculo promedio para obtener datos más exactos con las corridas inicialmente planteadas. El promedio se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde:

\bar{x} = valor promedio

x_i = valor i

n = número de datos

El valor medio de la operación de inertizado en línea de envasado es de:

$$\bar{x} = \frac{7,0 + 5,2 + \dots + 6,2}{30} = 6,2$$

A partir del promedio también se encuentra la desviación estándar (σ) que permite observar la dispersión entre valores para una misma medición respecto al promedio. El cálculo de la desviación estándar se representa por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

\bar{x} = valor promedio

x_i = valor i

n = número de datos

σ = desviación estándar

La desviación estándar de los datos, de las muestras tomadas en el proceso de inertización en las líneas de envasado, es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(7,0 - 6,2)^2 + (5,2 - 6,2)^2 + \dots + (6,2 - 6,2)^2}{30 - 1}} = 0,8716$$

3.8.2. Probabilidad de éxito

Este se determina estableciendo los nuevos límites de control del proceso, donde se determinará cuál es el porcentaje de envases inertizados de forma adecuada.

La probabilidad de éxito se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{e}{n} \times 100$$

Donde:

P = valor promedio

n = número de datos

e = número de éxitos en la prueba

La probabilidad de éxito del proceso de inertización se determinó de la siguiente manera, el número de muestras exitosas en la prueba es de 29 de un total de 30.

$$P = \frac{29}{30} \times 100 = 96,66\%$$

3.8.3. Correlación estadística

Es la forma numérica en la que la estadística ha podido evaluar la relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con respecto de otra variable independiente. Este análisis se utilizará para evaluar la razón de cambio del porcentaje de oxígeno dentro del envase produciendo el colapsamiento del material de empaque.

3.8.4. Calidad de los datos cualitativos

Resultado de la validación de empaque se obtienen datos cualitativos, de los que se realizó la postulación de una matriz de resultados. Cabe señalar que el análisis cualitativo no tiene como finalidad obtener estadísticas sino descubrir características y patrones pues se buscan con este tipo de prueba, con propósito de responder a preguntas importantes en la investigación, por lo tanto se evalúa la calidad de los datos obtenidos.

4. RESULTADOS

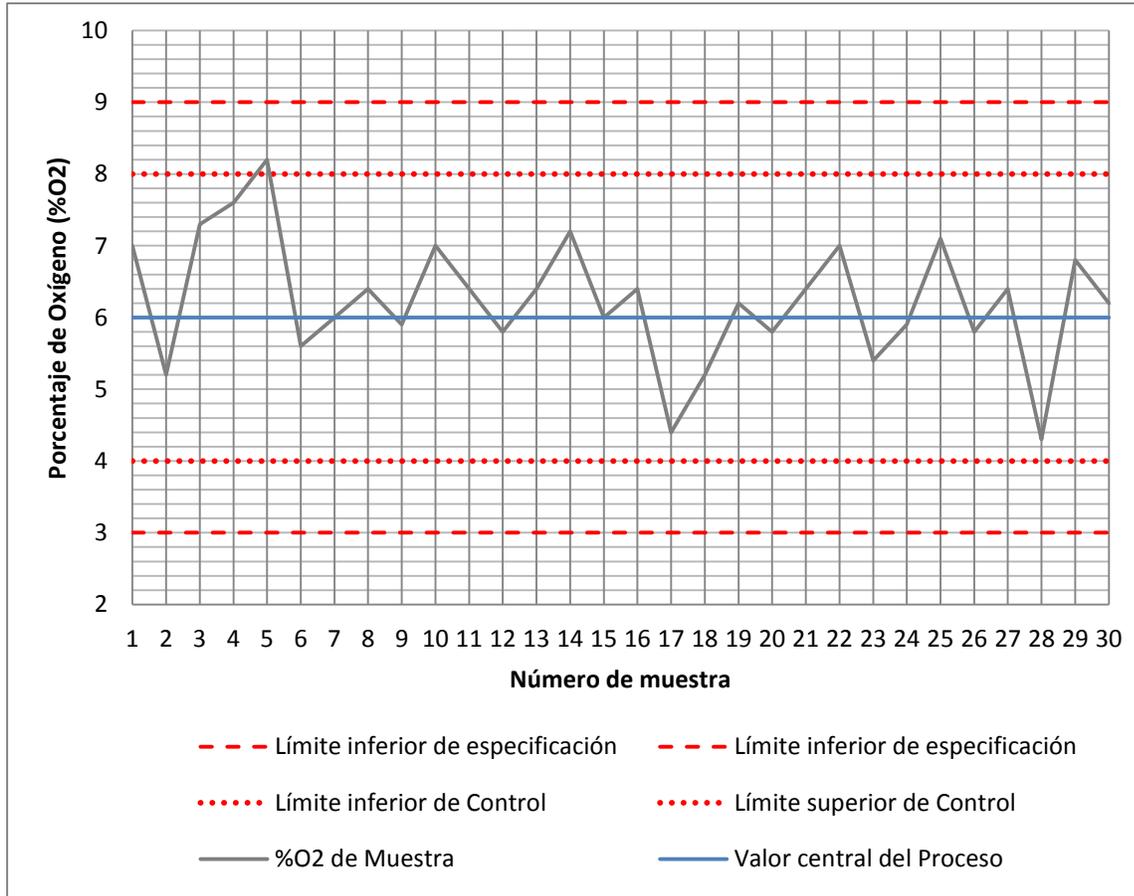
A continuación se presentan los resultados de las distintas pruebas; primero se tiene una gráfica de control identificando el comportamiento de la aplicación de gas nitrógeno para cada envase en el tiempo. Ello para establecer la capacidad estadística del proceso dentro de los límites de especificación y de control de la empresa, garantizando un adecuado comportamiento de la producción.

Además, se presenta una matriz cualitativa a partir de la validación del material de empaque a dos años y medio, proporcionando una mejor visión de la utilización de distintos envases para inertizar, siendo polietileno de alta densidad HDPE, etilen vinil alcohol EVOH y polietileno de alta densidad con recubrimiento interno de politetraflouroetileno HDPE-PTFE.

Asimismo, se expone una tabla teórica, con las moléculas de los activos (utilizados para la formulación de agroquímicos emulsionados OD) y su posibles reacciones o comportamiento con otras moléculas o grupos funcionales. Determinando para así la interacción posible con el nitrógeno gaseoso molecular.

Por último, se determina el comportamiento del porcentaje de oxígeno dentro del envase a través del tiempo; especificando la causa del colapsamiento, mostrando una comparación entre envases inertizados y no inertizados con gas nitrógeno.

Figura 13. **Gráfico de control de porcentaje de oxígeno en proceso de línea de envasado**



Fuente: elaboración propia, con programa Visio.

Tabla IX. **Capacidad del proceso de gráfico de control de la figura 11**

Variable	Denominación	Valor (Adimensional)
Capacidad del Proceso	Cp	1,1472
Capacidad del Proceso de precisión	Cpk	1,0541

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Matriz cualitativa de validación empaque de distintos envases plásticos con producto no inertizado respecto a su grado de colapsamiento**

Producto no inertizado con N₂			
Grado de colapsamiento	HDPE	EVOH	HDPE-PTFE
Colapsamiento de envase			
Colapsamiento de liner			
No colapso de envase			

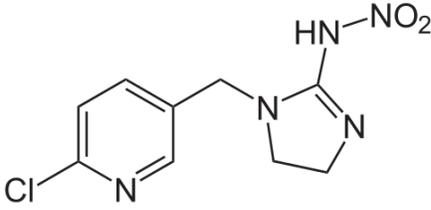
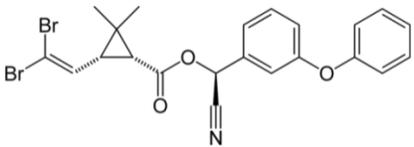
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Matriz cualitativa de validación empaque de distintos envases plásticos con producto inertizado respecto a su grado de colapsamiento**

Producto inertizado con N₂			
Grado de colapsamiento	HDPE	EVOH	HDPE-PTFE
Colapsamiento de envase			
Colapsamiento de liner			
No colapso de envase			

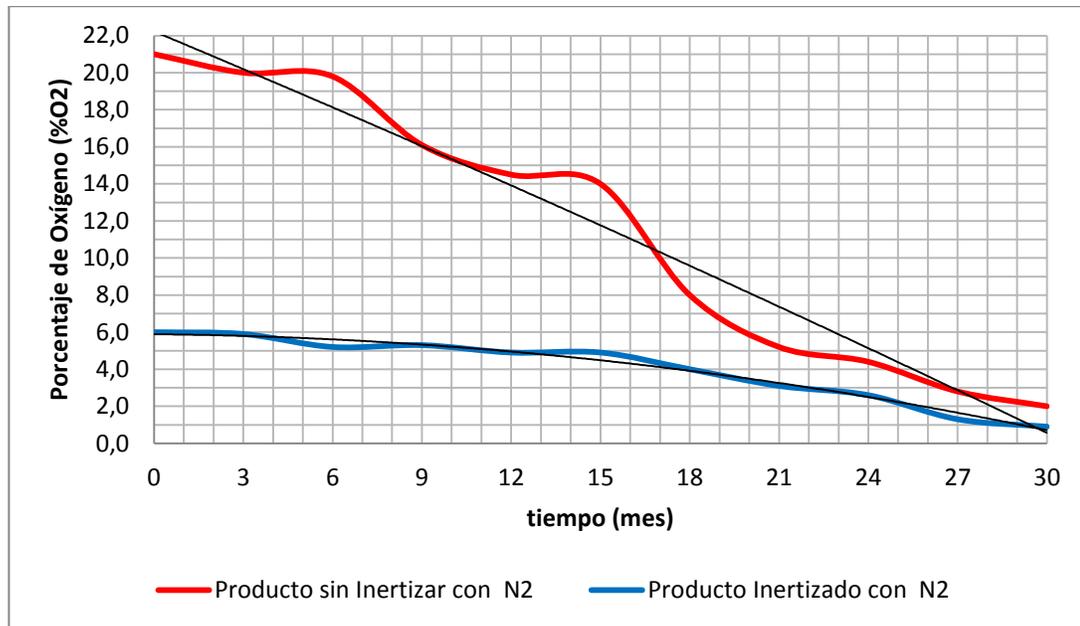
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Estabilidad de nitrógeno molecular e ingredientes activos**

Formula - Estructura - Nombre IUPAC	Estabilidad	Inestabilidad
<p>N_2</p> <p></p> <p>Nitrógeno molecular</p>	<p>Gas inerte</p> <p>Triple enlace covalente</p> <p>Solubilidad en agua (1 atm, 0 °C): 0,02348 vol/vol.</p>	<p>El N_2 con O_2 solamente forman óxidos de nitrógeno en cantidades de trazas, en altas temperaturas</p>
<p>$C_9H_{10}ClN_5O_2$</p> <p></p> <p>(E)-1-(6-cloro-3-piridilmetil)-N-nitroimidazolidin-2 ilidenamina</p>	<p>Carga formal de molécula = 0</p> <p>Estable en hidrolisis a PH 5-11.</p>	<p>Cloro: halógeno, buen grupo saliente.</p>
<p>$C_{21}H_{19}Br_2NO_3$</p> <p></p> <p>(S)-α-ciano-3-fenoxibencil(1R, 3R)-3-(2,2-dibromovinil)-2,2-dimetilciclopropanocarboxilato</p>	<p>Carga formal de molécula = 0</p> <p>Extremadamente estable en exposición del aire.</p> <p>Estable < 190°C.</p> <p>Estable en medio ácido.</p>	<p>Bromo: halógeno, buen grupo saliente. Ocurre pérdida de un bromo.</p> <p>Desdoblamiento del enlace éster</p> <p>Inestable en medio alcalino.</p>

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Porcentaje de oxígeno dentro de la botella con producto inertizado y sin inertizar respecto al tiempo de vida del producto**



Fuente: elaboración propia, con programa Visio.

Tabla XIII. **Datos correlativos de la figura 12**

Propiedad	Modelo matemático	Correlación R ²	Incertidumbre máxima en variable dependiente	Incertidumbre máxima en variable independiente	Intervalo de validez (Mes)
Producto sin Inertizar con N2	$\%O_2 = -0,0016t^2 - 0,6728t + 22,228$	0,9636	±0,05 %	±0,016 mes	$0 < t < 30$
Producto inertizado con N2	$\%O_2 = -0,0053t^2 - 0,015t + 5,8902$	0,9822	±0,05 %	±0,016 mes	$0 < t < 30$

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La realización de una gráfica de control tiene como resultado analizar el comportamiento del proceso, en el cual se implementará un inertizado con gas nitrógeno en cada envase. Previo a este análisis se determinó las condiciones para una correcta dosificación del gas, Para de evitar el colapsamiento del envase por la autooxidación del producto, en las cuales las variables a controlar es el tiempo de dosificación de gas nitrógeno y las presión barométrica del tanque de alimentación. Se determinó a prueba y error estos parámetros logrando una mayor efectividad a un tiempo de dosificación de tres segundos por envase y a una presión de 0,5 bares.

Se realizó la producción de acuerdo a los límites de inertización propuestos por la empresa, siendo superiores e inferiores de especificación de 9 y 3 % O₂ respectivamente, y límites superiores e inferiores de control de 8 y 4 % O₂. El valor objetivo para la proporción de oxígeno dentro del envase es de 6 %.

La gráfica de control de la figura 11, los valores de las muestras se encuentran dentro de los límites de control propuestos a excepción de un dato. El indicador del proceso Cp tiene un valor de 1,1742, para considerar un proceso capaz es necesario que Cp sea mayor o igual que 1,33, y el indicador del proceso Cpk tiene un valor de 1,0542. Para considerar un proceso confiable tiene que ser mayor, cercano a 1 supervisando el proceso constantemente, ya que tiende a producir fallas en el inertizado. Estos dos indicadores establecen que el proceso a no está controlado completamente. Cabe reiterar que es un proceso nuevo y la constancia de la operación se constituye con experiencia.

Se tiene una desviación estándar (σ) de 0,8716 respecto a los datos de % O₂ de las muestras. Para establecer los nuevos límites de control donde el 95 % de la población se utiliza el valor objetivo $\pm 2\sigma$, el límite superior e inferior tienen un valor de 7,74 y 4,25 % O₂ respectivamente; el proceso de envasado tiene una probabilidad de éxito de 96,6 %.

La validación del material de empaque tiene como objetivo determinar cuál estructura plástica es la más adecuada para salvaguardar el proceso de inertizado en el tiempo de vida del producto. Los resultados son datos cualitativos presentados en las tablas X y XI, donde los diferentes materiales plásticos son puestos en comparación cuando se aplicó y no se aplicó gas nitrógeno a las botellas con producto. Estas variables cualitativas se clasifican como colapsamiento del envase, colapsamiento de *liner* y no colapsamiento del envase. Además se cuenta con observaciones durante la prueba.

La mejor opción de estructura plástica es el Etilen vinil alcohol o coextruido (EVOH) por su rigidez y permeabilidad. Esta barrera semipermeable es capaz de contener el gas nitrógeno dentro de la botella, y la proporción de transferencia de oxígeno hacia el interior de la botella, es baja en relación a las otras dos estructuras de la prueba.

La estructura de polietileno de alta densidad (HDPE) es un material flexible, lo cual no es conveniente, debido a que facilita el colapsamiento del envase. Esta barrera semipermeable permite la transferencia de gases y oxígeno del interior de la botella hacia el exterior y viceversa, por lo tanto, no es apta para el proceso de inertizado.

La estructura de polietileno de alta densidad con recubrimiento de politetrafluoroetileno o fluorinado (HDPE-PTFE) es una mejor opción que el

HDPE pero no mejor que el EVOH. Esto debido a, como barrera semipermeable, es un punto medio entre HDPE y EVOH y comparte la baja transferencia del EVOH y la flexibilidad del HDPE. Produce entonces, un colapsamiento parcial que se ve reflejado en el sello de seguridad o liner.

En la tabla XII se detalla el contacto del gas nitrógeno con el producto dentro de la botella. Este no tiene reacción con los ingredientes activos, debido a propiedad inerte del gas. Además de tener una baja solubilidad en aceite vegetal, que es la interfase, es necesaria una hidrogenación catalítica para romper el triple enlace del nitrógeno molecular.

El ingrediente activo es la materia que proporciona la efectividad a el producto. Estas moléculas son estables y de carga molecular igual a cero por la resonancia, efecto estérico y la estructuras de las moléculas. Por lo tanto es poco probable que tenga reacción, ya que es necesario una disposición mecánica y cinética o cambio violento de PH para que las moléculas reaccionen y la posibilidad de reacción es en cantidades de trazas.

Según la figura 12, la determinación del comportamiento del oxígeno dentro de la botella con producto sin aplicar gas nitrógeno para inertizar, es inversamente proporcional al tiempo transcurrido. Esto quiere decir que el consumo de oxígeno, dentro de la botella por causa del producto, cambia de proporción de un 21 % O₂ hasta un 2 % O₂, este cambio hace que la botella se deforme.

De igual forma en la misma figura 12, la determinación del comportamiento del oxígeno dentro de la botella con producto inertizado con gas nitrógeno, es inversamente proporcional al tiempo transcurrido, pero en un grado menor a la que no se aplica gas nitrógeno. Esto quiere decir que el

consumo de oxígeno dentro de la botella cambia de proporción de un 6 % O₂ hasta un 0,9 % O₂. Esto debido a, que el porcentaje de oxígeno dentro de la botella es menor al inicio, limita la cantidad que se consume por causa del producto. Aunque la proporción al final es menor en comparación a cuando no se aplicó el gas, esta no deforma la botella, por lo tanto, es la magnitud de cambio del % O₂ la cual produce el colapsamiento.

6. LOGROS OBTENIDOS

1. Se evitó el colapsamiento de los productos de formulación OD en un tiempo de vida de anaquel de dos años y medio, por inertización.
2. Se realizó una efectiva dosificación de gas nitrógeno en el envasado.
3. Se generó una reducción en los reclamos por parte de bodega de producto terminado en la formulación de productos OD.

CONCLUSIONES

1. Se logra una mayor efectividad del proceso de inertización en línea de envasado, en un tiempo de dosificación de tres segundos por envase y a una presión de 0,5 bares, logrando eliminar el fenómeno de colapsamiento de la botella.
2. La estructura plástica adecuada para salvaguardar el proceso de inertizado es el Etilen vinil alcohol o coextruido (EVOH) por su rigidez y permeabilidad. Esta barrera semipermeable es capaz de contener el gas nitrógeno dentro de la botella, y la proporción de transferencia de oxígeno, hacia el interior de la botella, es baja en relación al polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de alta densidad con recubrimiento de politetrafluoroetileno (HDPE-PTFE).
3. Después de la aplicación de gas nitrógeno en la botella es poco probable que tenga una reacción con los ingredientes activos, debido a la propiedad inerte del gas y la baja solubilidad de este. Además los ingredientes activos son moléculas estables a las condiciones en el interior de la botella.
4. El comportamiento del oxígeno, dentro de la botella con producto sin inertizar, cambia de proporción de un 21 % O₂ hasta un 2 % O₂, este cambio provoca que la botella se deforme. Mientras que la botella con producto inertizado cambia de proporción de un 6 % O₂ hasta un 0,9 % O₂; debido a, que el porcentaje de oxígeno, dentro de la botella, es

menor al inicio del proceso limita el consumo de oxígeno por parte del producto.

RECOMENDACIONES

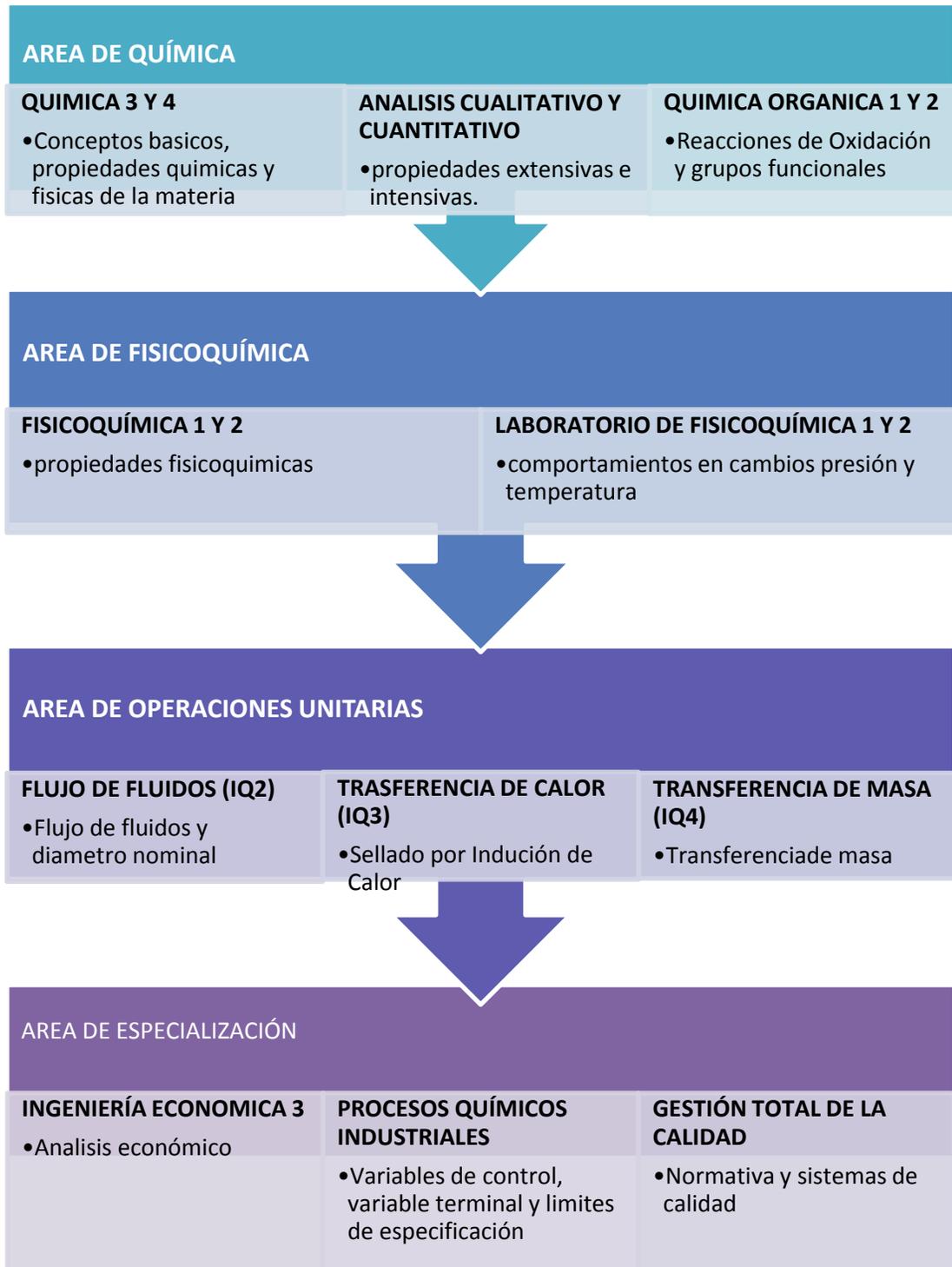
1. Es un proceso que en su evaluación demostró ser capaz y confiable, pero se necesita que sea supervisado constantemente porque tiende a producir fallas o ruido de fondo, es necesario crear un historial para determinar las causas asignables.
2. La estructura plástica adecuada es Etilen vinil alcohol o coextruido (EVOH) con un peso de 73g, no es conveniente utilizar HDPE o cualquier otra estructura con un aumento de peso, ya que esto no soluciona el problema solo lo retrasa.
3. En el proceso de inertización cuando se obtienen porcentajes de oxígeno menores a 3 % se elimina el fenómeno del colapsamiento, pero se tiene un uso excesivo de gas nitrógeno influyendo en los costos, mientras tanto, cuando se tienen entre 9 a 11 % el fenómeno de colapsamiento no se elimina, solo se retrasa.

BIBLIOGRAFÍA

1. EMMERSON, Chris. *Nitrogen Purging of plastics bottles used to contain liquid agrochemical formulations*, *Packaging International*; Aventis CropScience UK Limited, Inglaterra: Verso Book. 2001. 23 p.
2. MCMURRY, Jhon. *Química Orgánica*. María Lanto (trad.) 7ª ed. Mexico: Cengage Learning. 2008. 1224 p.
3. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Proyecto Directrices sobre la gestión de los plaguicidas para la salud pública*, Informe de la Consulta Interregional de la OMS. Tailandia: Bongkoch Publishing 2003. 83 p.
4. RAMÍREZ, J. A. y Lacasaña, M. *Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición* [en línea]. <<http://www.scsmt.cat/Upload/TextCompleto/2/1/216.pdf>>. [Consulta: 09 de marzo de 2014].
5. SURÁM CHICAS, Sergio Luis. *Evaluación de la estabilidad de una emulsión de la mezcla para dos agroquímicos líquidos (fungicida y fertilizante)*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Universidad de San Carlos de Guatemala: Facultad de Ingeniería 2012. 83 p.
6. WALPOLE, Ronald E., et al. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación, 2007. 816 p.

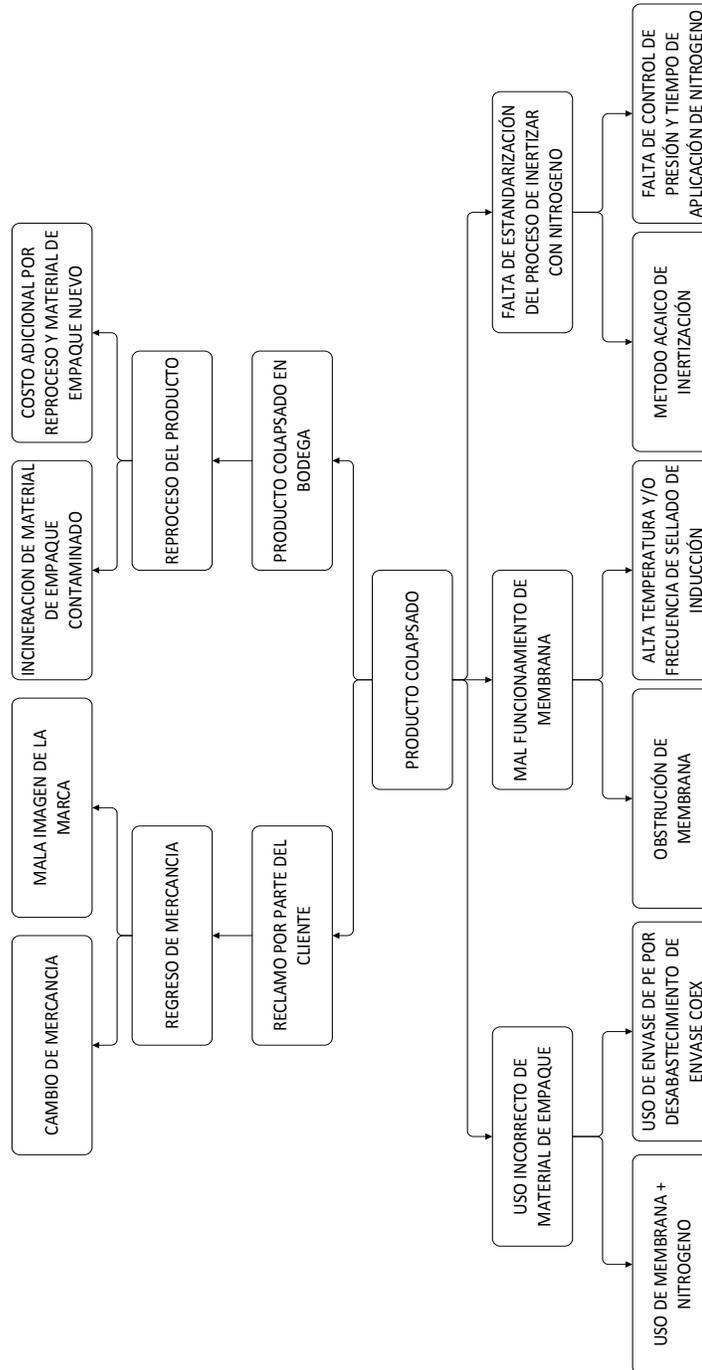
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Proceso de aplicación de gas nitrógeno para inertizar en línea productiva

Datos obtenidos en la fase experimental

Código:	79251432	Producto:	Agroquímico OD 1
Presión Barométrica(Bar):	0.5 bar	Tiempo de dosificación N2 (s):	3 s

No de muestra	Tiempo(min)	%O2	No de muestra	Tiempo(min)	%O2
1	0	7,0	16	30	6,4
2	2	5,2	17	32	4,4
3	4	7,3	18	34	5,2
4	6	7,6	19	36	6,2
5	8	8,2	20	38	5,8
6	10	5,6	21	40	6,4
7	12	6,0	22	42	7,0
8	14	6,4	23	44	5,4
9	16	5,9	24	46	5,9
10	18	7,0	25	48	7,1
11	20	6,4	26	50	5,8
12	22	5,8	27	52	6,4
13	24	6,4	28	54	4,3
14	26	7,2	29	56	6,8
15	28	6,0	30	58	6,2

Observaciones: Se realizó proceso de inertización en línea de envasado PR8

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Porcentaje de oxígeno en el espacio superior de la botella con producto respecto al tiempo de vida del producto**

Código:	<u>79251432</u>	Producto:	<u>Agroquímico OD 1</u>		
Temperatura de cámara de estabilidad:	<u>32°C</u>	Humedad:	<u>26%</u>		
ENVASE INERTIZADO			ENVASE SIN INERTIZAR		
No de muestra	tiempo de vida del producto (Meses)	%O2	No de muestra	tiempo de vida del producto (Meses)	%O2
1	0	6,0	1	0	21,0
2	3	5,9	2	3	20,0
3	6	5,2	3	6	19,8
4	9	5,3	4	9	16,1
5	12	4,9	5	12	14,5
6	15	4,9	6	15	14,0
7	18	4,0	7	18	8,0
8	21	3,1	8	21	5,2
9	24	2,6	9	24	4,4
10	27	1,3	10	27	2,8
11	30	0,9	11	30	2,0
Observaciones: <u>el producto no inertizado colapso y el Inertizado no colapso.</u>					

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografía del problema

Figura 1.1. **Botella con dosificación de nitrógeno y sin nitrógeno**



Fuente: laboratorio, Bayer Cropsience planta Amatlán.

Figura 1.2. **Botella colapsada con separación de fases, aceite vegetal y solución acuosa.**



Fuente: laboratorio, Bayer Cropscience planta Amatlán.

Figura 1.1. Línea de envasado de productos OD.



Fuente: laboratorio, Bayer Cropsience planta Amatlán.

