



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

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA
VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA
LABORATORIO**

Ingrid Rebeca Rodríguez Alvarado

Asesorado por el Ing. Carlos Daniel Gómez Chicas

Co-Asesorado por el Ing. Erick Fernando Velásquez Tobar

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA
VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA
LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INGRID REBECA RODRÍGUEZ ALVARADO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS DANIEL GÓMEZ CHICAS

CO-ASESORADO POR EL ING. ERICK FERNANDO VELÁSQUEZ TOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

Guatemala 22 de julio de 2019

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

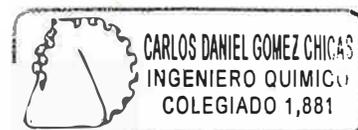
Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA LABORATORIO", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Ingrid Rebeca Rodríguez Alvarado, quien se identifica con el registro académico 2013-14214 y con el CUI 2146 79454 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Carlos Daniel Gómez Chicas
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 1881



Guatemala 22 de julio de 2019

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA LABORATORIO", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Ingrid Rebeca Rodríguez Alvarado, quien se identifica con el registro académico 2013-14214 y con el CUI 2146 79454 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Erick Fernando Velásquez Tobar
CO-ASESOR
Ingeniero Industrial
Colegiado activo no. 15401



Guatemala, 14 de octubre de 2019.
Ref. EI.Q.TG-IF.038.2019.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **008-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Tema nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Ingrid Rebeca Rodríguez Alvarado**.
Identificado con número de carné: **2146794540101**.
Identificado con registro académico: **201314214**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Carlos Daniel Gómez Chicas, profesional de la Ingeniería Química
Erick Fernando Velásquez Tobar, profesional de la Ingeniería Industrial

Habiendo encontrado el referido 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"

Pablo Enrique Morales Paniagua
Profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.069.2019

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 Trabajo de Graduación, de la carrera de Ingeniería Química, del estudiante, **INGRID REBECA RODRÍGUEZ ALVARADO** titulado: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA LABORATORIO”**. 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. Williams G. Álvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre de 2019

Cc: Archivo
WGAM/ale



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
24189102 - 24189103

DTG.544.2019

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 EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE FORMULACIÓN EN LA VISCOSIDAD DE UN AGROQUÍMICO EN SUSPENSIÓN CONCENTRADA, A ESCALA LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **Ingrid Rebeca Rodríguez Alvarado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, noviembre de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Creador del cielo y la tierra. Por ser la fortaleza de mi vida; por llenarme de sabiduría y por mostrarme cada día su amor y misericordia. Sin ti, no hubiera sido posible este logro.
Mi madre	Lisette de Rodríguez, por guiarme, aconsejarme y por todo tu amor, apoyo y paciencia. Eres mi mayor inspiración y confidente. Este logro también es tuyo.
Mi padre	Marcos Rodríguez, por todo tu apoyo para permitirme alcanzar este logro; por tus consejos y amor.
Mi hermana	Andrea Rodríguez, por ser mi mejor amiga y por estar siempre para apoyarme.
Mi familia materna	Irene Nowell de León e Ingrid de Ruíz. Por todos sus consejos e increíble apoyo a lo largo de mi vida. Son una fuente de inspiración para mí.
Mi familia paterna	Por su cariño y por los buenos momentos que hemos pasado juntos.

This most beautiful system of the sun, planets and comets, could only proceed from the counsel and dominion of an intelligent and powerful Being.

Isaac Newton

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por proveerme todo lo necesario para alcanzar este logro.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios; por todas las lecciones teóricas, científicas y prácticas de la vida que he recibido.
Facultad de Ingeniería	Por todo el conocimiento que he adquirido dentro de sus aulas para llegar a ser una excelente profesional.
Mi familia	Por su cariño, ánimo y apoyo para culminar mi carrera de grado.
Mis amigos	Por los buenos momentos que hemos pasado durante la carrera, incluso en los largos desvelos terminando reportes de laboratorio.
Mis catedráticos	Por enseñarme los fundamentos científicos de la carrera y sus historias de vida para ser profesionales de excelencia.
Mis asesores	Daniel Gómez y Erick Velásquez, por impartirme sus conocimientos; por dedicar su tiempo y asesorar este trabajo de investigación.

Planta de Agroquímicos

Por permitirme realizar este trabajo de investigación en sus instalaciones y por proveerme todos los recursos para ejecutarlo con éxito.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Agroquímico	3
2.1.1. Clasificación de los agroquímicos.....	3
2.2. Fungicidas	4
2.2.1. Métodos de aplicación	4
2.2.2. Formulación de fungicidas.....	5
2.2.2.1. Formulaciones sólidas	5
2.2.2.2. Formulaciones líquidas.....	6
2.3. Suspensiones concentradas (SC)	7
2.3.1. Surfactante	7
2.3.1.1. Balance hidrofílico-lipofílico (HLB)	7
2.3.2. Emulsionante	8
2.3.3. Antiespumantes	9
2.3.4. Espesantes	9
2.4. Propiedades reológicas de los fluidos	9
2.4.1. Viscosidad	10

2.4.1.1.	Medición de viscosidad	10
2.4.1.2.	La viscosidad y las suspensiones concentradas	11
2.5.	Disminución de tamaño de partícula	11
2.5.1.	Medición de tamaño de partícula	12
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	15
3.1.	Variables	15
3.1.1.	Análisis de ambiente externo	15
3.1.2.	Análisis de experimentación.....	16
3.2.	Delimitación de campo de estudio	16
3.3.	Recursos humanos disponibles	17
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	17
3.4.1.	Equipo	17
3.4.1.1.	Formulación.....	17
3.4.1.2.	Análisis de laboratorio	18
3.4.2.	Cristalería	18
3.4.3.	Materia prima	19
3.5.	Técnica cuantitativa.....	19
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	23
3.6.1.	Determinación de la viscosidad del fungicida en SC al utilizar el orden de adición de materia prima actual.....	24
3.6.2.	Medición del cambio en la viscosidad del fungicida en SC al cambiar el orden de adición de la materia prima del procedimiento de formulación actual	26

3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	38
3.8.	Análisis estadístico	39
3.8.1.	Análisis de varianza (ANOVA)	39
3.8.2.	Programas por utilizar para el análisis de datos	40
4.	RESULTADOS	43
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES	51
	BIBLIOGRAFÍA	53
	APÉNDICES	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Balance hidrofílico-lipofílico.....	8
2.	Reómetro dinámico	11
3.	Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento base).....	24
4.	Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 1)	27
5.	Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 2)	30
6.	Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 3)	32
7.	Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 4)	34
8.	Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 5)	36
9.	Medidas de variabilidad.....	39
10.	Cálculos para el análisis de varianza de un solo factor.....	40
11.	Viscosidades obtenidas respecto del procedimiento de formulación ...	44

TABLAS

I.	Listado de variables de análisis de ambiente externo	15
II.	Listado de variables	16
III.	Orden de adición de materia prima para la formulación del agroquímico SC, procedimiento base	20

IV.	Orden de adición 1 de materia prima para la formulación del agroquímico SC	20
V.	Orden de adición 2 de materia prima para la formulación del agroquímico SC	21
VI.	Orden de adición 3 de materia prima para la formulación del agroquímico SC	22
VII.	Orden de adición 4 de materia prima para la formulación del agroquímico SC	22
VIII.	Orden de adición 5 de materia prima para la formulación del agroquímico SC	23
IX.	Cantidades por utilizar para el orden de formulación a seguir	38
X.	Datos obtenidos luego de formular el agroquímico, siguiendo el orden de adición correspondiente.....	38
XI.	Resumen de porcentajes de espesante, activo A y sólidos	43
XII.	Resumen de incorporación de parte A y ajuste final en los procedimientos evaluados	43
XIII.	Resultado de viscosidad, cambio en la viscosidad y tamaño de partículas correspondientes a cada procedimiento formulado	44

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ad	Adimensional
μm	Micrómetro
mPa·s	Mili pascal por segundo
e	Porcentaje de error esperado
m/m	Porcentaje en masa
s	Segundo
SC	Suspensión concentrada
D₅₀	Tamaño de partícula para una distribución de 50 %
D₉₀	Tamaño de partícula para una distribución de 90 %
μ	Viscosidad dinámica (mPa·s)

GLOSARIO

Activo A	Principio activo A. Líquido orgánico soluble en agua. En contacto con la planta se absorbe y se distribuye a través del tejido de esta, con el fin de controlar enfermedades causadas por hongos.
Activo B	Principio activo B. Sólido orgánico en suspensión, debido a que no es soluble en agua. Inhibe el crecimiento de las cepas de los hongos.
Agroquímico	Producto químico destinado a suplir las necesidades de la producción agrícola. Pueden mencionarse los herbicidas, insecticidas, abonos, entre otros.
Antiespumante	Son agentes tensoactivos que desestabilizan la espuma y liberar el aire retenido en una formulación.
Bomba peristáltica	Bomba hidráulica de desplazamiento positivo utilizada para bombear fluidos por medio de un tubo flexible el cual está empotrado en una cavidad circular, en donde un rotor con rodillos o zapatas comprimen el tubo flexible para mover el fluido a través del tubo.

Coadyuvante	Son sustancias químicas que se añaden a las formulaciones para mejorar la actividad del ingrediente activo.
Emulsificante	Sustancia que ayuda a mezclar y homogenizar dos sustancias que generalmente son poco miscibles. El resultado es una emulsión.
Espesante	Sustancias que aumentan la viscosidad de la formulación sin alterar sus propiedades deseables.
Formulación	Es un compuesto químico resultante de mezclas dos o más especies químicas.
Geometría	Pieza que pertenece al sistema de medición de propiedades reológicas, diseñada para caracterizar dispersiones y fluidos complejos blandos. Vincula el reómetro y la muestra a analizar, donde se define el campo de cizalla aplicado.
HLB	<i>Hidrofílic and lipofílic balance</i> , que significa balance hidrofílico y lipofílico.
Ingrediente activo	Es la parte biológicamente activa del agroquímico en la formulación, proporciona el efecto deseado del agroquímico.

Orden de adición	Es la secuencia de adición de cada materia prima que se sigue en el procedimiento de formulación del agroquímico.
Sonicación	Es la aplicación de energía sonora para agitar partículas de una muestra a analizar.
SC	Suspensiones concentradas, son formulaciones compuestas por un ingrediente, el cual está disperso en un líquido. Parte de sus beneficios son su facilidad de uso y mayor efectividad en la aplicación a los cultivos en comparación con los polvos mojables.
Viscosidad	Es la propiedad de los fluidos que demuestra la resistencia a fluir, provocado por el rozamiento entre las moléculas que componen el fluido.

RESUMEN

El propósito de este trabajo de investigación es evaluar el efecto del procedimiento de formulación en la viscosidad del agroquímico en suspensión concentrada, con el fin de alcanzar los límites de especificación establecidos por casa matriz.

Para ello se propuso cambiar el orden de adición de la materia prima del procedimiento que actualmente se utiliza. Se inició con la determinación de la viscosidad del agroquímico al formularlo siguiendo el procedimiento que actualmente se utiliza. El valor de viscosidad quedó fuera de especificación. Al procedimiento actual se le denominó procedimiento base, ya que se utilizó para medir el cambio en la viscosidad al modificar el orden de adición de materia prima.

Se analizaron cinco procedimientos propuestos y todos presentaron un aumento significativo en la viscosidad. Sin embargo, el procedimiento 2 fue el único que cumplió con la especificación de viscosidad y de tamaño de partícula especificado por casa matriz.

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto del procedimiento de formulación en la viscosidad de un agroquímico en suspensión concentrada, a escala laboratorio.

Específicos

1. Determinar la viscosidad del agroquímico en suspensión concentrada obtenida al utilizar el orden de adición de la materia prima del procedimiento de formulación actual.
2. Medir el cambio en la viscosidad del agroquímico en suspensión concentrada al cambiar el orden de adición de la materia prima del procedimiento de formulación actual.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades y las plagas en los cultivos vegetales son algunas de las principales fuentes de daño y pérdida de grandes extensiones de cultivos a nivel mundial. Estas son causadas por un número diverso de organismos fitopatógenos, entre ellos, se puede mencionar a los hongos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO), actualmente las enfermedades y las plagas destruyen entre 25 % a 35 % de las cosechas a nivel mundial. Para evitar las pérdidas de cultivos por enfermedades y plagas, la intervención de los agroquímicos juega un papel muy importante.

Los agroquímicos son sustancias para mejorar el rendimiento de los cultivos agrícolas. Son utilizados para disminuir, controlar y erradicar las plagas y organismos fitopatógenos que los afectan. El objetivo es mejorar el desarrollo de los cultivos vegetales. La planta de agroquímicos, en donde se realizará el presente tema de investigación, trabaja arduamente a nivel mundial para disminuir y erradicar dichas pérdidas de cultivos.

Para ello, la producción de los agroquímicos debe cumplir con los estándares de calidad definidos para que sean efectivos. En el caso del agroquímico en suspensión concentrada, el cual se evaluará, la viscosidad es uno de los parámetros críticos que debe estar dentro de los límites de especificación definidos por casa matriz.

Actualmente, la viscosidad del agroquímico se encuentra fuera de los límites de especificación. Se propone modificar el procedimiento de formulación actual, con el fin de evaluar el efecto en la viscosidad. Debido a que se firmó un acuerdo de confidencialidad, se mantiene en reserva el nombre del agroquímico, así como el nombre y detalle específico de la materia prima que se utiliza para formularlo. Así mismo, los balances de masa y detalles específicos no han sido descritos en su totalidad.

1. ANTECEDENTES

En 2012, Sergio Surám realizó el trabajo de graduación *Evaluación de la estabilidad de una emulsión de la mezcla para dos agroquímicos líquidos (fungicidas y fertilizantes)*, en el cual definió el tiempo de estabilidad de la emulsión, la concentración de emulsificante, densidad y viscosidad final, de dos agroquímicos de emulsión concentrada (EC).

En 2017, David García realizó el trabajo de graduación *Evaluación de los parámetros fisicoquímicos que potenciarán la producción de la formulación de biocidas en suspensión concentrada, a nivel laboratorio con la aplicación de cromatografía líquida y reometría*, determinó que el medio ácido preserva mejor el ingrediente activo en las suspensiones concentradas. También, estableció que la viscosidad es independiente del pH.

A nivel mundial, se han realizado ensayos científicos, en los que se analizan el tema de espesantes en la formulación de compuestos orgánicos.

En 2014, Zhen Lu realizó el artículo *Influence of colloidal silicon dioxide on gel strength, robustness, and adhesive properties of diclofenac gel formulation for topical application*. Lu estableció que la viscosidad de la formulación espesada aumenta como resultado de la adición de dióxido de silicio coloidal, que genera interacciones entre partículas polares y no polares las cuales forman puentes de hidrógeno.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agroquímico

Un agroquímico es una sustancia química que se utiliza en la agricultura con el fin de conservar los cultivos vegetales y animales. El objetivo del uso de los agroquímicos es optimizar el rendimiento de los cultivos agrícolas, ya que luchan contra las plagas que afectan los cultivos. También, favorecen el crecimiento acelerado de los cultivos para suplir la demanda que estos tienen.

2.1.1. Clasificación de los agroquímicos

- Fungicidas: se utilizan para acabar con los hongos y mohos perjudiciales.
- Herbicidas: destruyen o controlan el crecimiento de plantas nocivas, las cuales compiten con el cultivo por agua, nutrientes, luz y espacio o bien, por la fitotoxicidad que presentan.
- Insecticidas: eliminan insectos que pueden ser perjudiciales y destrozar los cultivos.
- Nematicidas: utilizados para eliminar nematodos parásitos de los cultivos y gusanos del suelo.
- Rodenticidas: eliminan roedores que pueden perjudicar cultivos.

- Fertilizantes: se trata de una serie de químicos que incrementan la calidad de las raíces en el suelo, esto permite un desarrollo rápido y de mejor calidad.

2.2. Fungicidas

Una de las principales causas que genera pérdidas en los cultivos son los hongos. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación), actualmente, las enfermedades y las plagas destruyen hasta un 35 % de las cosechas a nivel mundial. Un fungicida es un tipo de plaguicida que controla las enfermedades fúngicas.

2.2.1. Métodos de aplicación

Los fungicidas pueden ser aplicados en forma de polvos, gránulos, gases y líquidos. La más común es líquida. Pueden ser aplicados a:

- Semillas, bulbos, raíces y órganos de propagación: estos tratamientos son realizados por la compañía de semillas y algunos requieren ser efectuados por el agricultor en el lugar y momento de la siembra, con el fin de eliminar los patógenos que se encuentran en el material de siembra y protegerla de los patógenos que existen en el suelo.
- Suelo: ya sea en el surco de la siembra, después de plantar humedeciendo el suelo con la solución fungicida (incluye el riego por goteo) o por aspersión directa alrededor de la base de la planta.
- Follaje y otras partes aéreas de la planta mediante un aspersor.

- Interior de los árboles mediante una inyección en el tronco.
- Espacio aéreo de lugares cerrados como invernaderos y suelo cubierto: los fungicidas son también llamados fumigantes cuando son aplicados en forma de vapor. Se dice que están en su forma químico-activa gaseosa.
- Productos cosechados: puede ser en inmersión o aspersión en las empacadoras.

2.2.2. Formulación de fungicidas

Los fungicidas como productos formulados contienen uno o más ingredientes activos e inertes que mejoran la acción y aplicación del producto. Los fungicidas pueden ser formulados de la siguiente manera:

2.2.2.1. Formulaciones sólidas

- Polvo mojable (WP): polvo para aplicar como suspensión, luego de ser dispersado en agua. Este es ideal para superficies porosas. Se combina el ingrediente activo, combinando con un material sólido, seco y finamente dividido (puede ser arcilla, polvo industrial o tierras diatomeas), al cual se le agregan elementos que influyen en la suspensibilidad, dispersibilidad y estabilidad. Pueden ser desde alta concentración de activo al 75 % hasta baja concentración al 15 %.
- Granulado dispersable (WG): gránulos para aplicación en forma de suspensión, luego de su desintegración y dispersión en agua. Al mezclarse con el agua el gránulo se divide en partículas muy pequeñas, menores que el polvo. El ingrediente activo también se incorpora junto

con otros componentes en forma similar al polvo mojable. Sin embargo, presenta menos inertes por lo que tienen mayor cantidad de ingrediente activo.

- Granulado (GR): formulación sólida, uniforme, en forma de gránulos con dimensiones bien definidas, para aplicación directa sin dilución. Se compone de ingrediente activo y un agente que da cohesión. El tamaño de los gránulos suele ser entre 4 y 80 mesh (malla).

2.2.2.2. Formulaciones líquidas

- Concentrados solubles
 - Acuosa: cuando el producto es para diluir en agua.
 - Oleosa: para diluirse en aceite pues el ingrediente activo no se diluye en agua sino en aceite.
- Concentrado emulsionable (EC): líquido homogéneo para ser aplicado como emulsión, luego de ser diluido en agua. El ingrediente activo no puede disolverse en agua, pero puede hacerlo en solventes orgánicos, aromáticos o alifáticos. Estos productos además llevan como soporte un solvente y sustancias acompañantes como emulsificantes derivados del nonilfenol, así como otros coadyuvantes.

El emulsificante permite que puedan mezclarse en forma homogénea, con el fin de formar emulsiones de aspecto lechoso, el cual debe mantener cierta agitación para conservar la homogeneidad dentro del tanque formulador o en el equipo de aplicación.

- Suspensión concentrada (SC): líquido con el activo en suspensión estable, para aplicar diluido en agua. En este tipo de formulación el ingrediente activo es un sólido insoluble en agua y también insoluble en solventes orgánicos. Suele ser molido muy fino y se mezcla con un líquido con emulsificantes y dispersantes, con el fin de formar una suspensión estable a la concentración específica.
- Suspensión de encapsulado (SL): líquido homogéneo, el cual al ser diluido en agua forma una emulsión del activo, puede contener auxiliares de formulación insolubles.
- Concentrado dispersable (DC): líquido homogéneo para ser aplicado como dispersión, luego de ser diluido en agua.

2.3. Suspensiones concentradas (SC)

Las suspensiones concentradas pueden estar compuestas de:

2.3.1. Surfactante

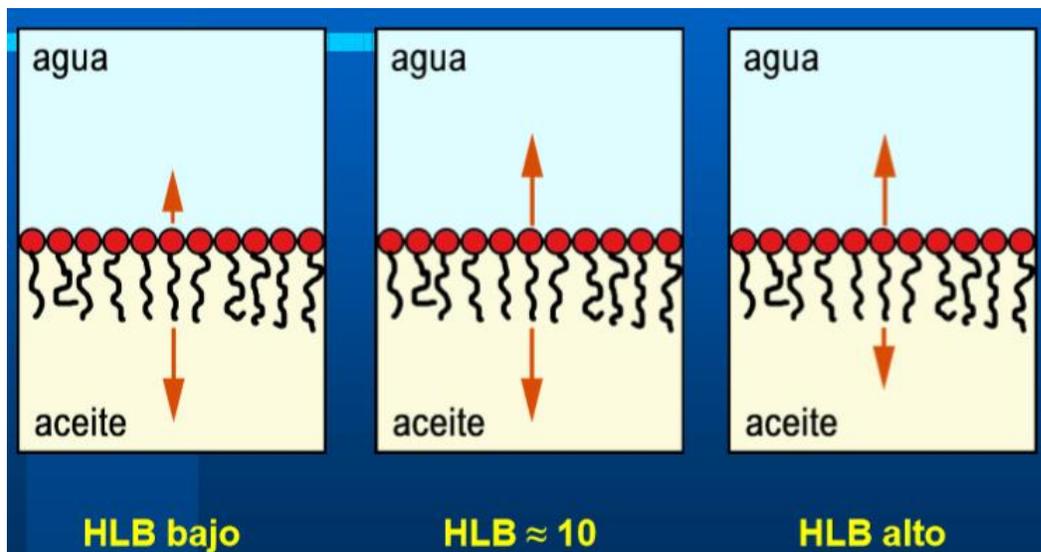
Los surfactantes son sustancias que reducen la tensión superficial o interfacial entre dos líquidos, entre un gas y un líquido, o entre un líquido y un sólido. Generalmente, son compuestos orgánicos los cuales contienen grupos lipofílicos y grupos hidrofílicos.

2.3.1.1. Balance hidrofílico-lipofílico (HLB)

Es una expresión empírica de la relación de los grupos lipofílicos e hidrofílicos presentes en un surfactante.

El HLB es útil para definir el surfactante a utilizar en soluciones de aceite y agua, ya que estima la atracción simultánea que experimentará por las fases acuosas y oleosas. Si el HLB es menor a 10, es un surfactante soluble en lípidos; y si es mayor a 10, es soluble en agua.

Figura 1. **Balance hidrofílico-lipofílico**



Fuente: VEGA, Abraham. *Emulsiones farmacéuticas*.

www.depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Emulsiones_5452.pdf. Consulta: 21 de abril de 2018.

2.3.2. Emulsionante

Sustancias que tienen cierta afinidad con la fase dispersa y el medio dispersante. Se coloca en la interfase y al reducir la tensión superficial, estabilizan la emulsión.

2.3.3. Antiespumantes

Es un aditivo químico que se añade a soluciones líquidas para evitar la formación de espuma en los procesos industriales. Pueden ser aceites insolubles, tipos de alcoholes, glicoles, siliconas y estearatos.

2.3.4. Espesantes

Son modificadores de la reología de las soluciones a las que se agregan. Suelen ser minerales ultrafinos que contienen partículas submicrométricas. Cuando estas partículas se dispersan en los sistemas líquidos, forman una red que atrapan el líquido y las partículas más pequeñas, que deja en suspensión las partículas más grandes.

Las suspensiones concentradas son sistemas de redes moleculares complejas. Debe evitarse la sobre dispersión o la subdispersión, ya que puede impedir el desarrollo de las redes estructurales a nivel molecular, que ocasiona una suspensión no estable que finalmente resultaría en la sedimentación del ingrediente activo. Para ello es importante cuidar el orden de adición de los coadyuvantes, de manera que pueda desarrollarse adecuadamente las redes estructurales que brindarán estabilidad a la suspensión.

2.4. Propiedades reológicas de los fluidos

La reología estudia la deformación y el fluir de la materia. Estudia los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos. La relación entre la tensión de corte y la velocidad de corte de un fluido pertenecen a la reología.

2.4.1. Viscosidad

La tensión de corte es proporcional a la velocidad de corte, donde la constante de proporcionalidad es la viscosidad. Un fluido en movimiento generará un perfil de velocidad, ya que la velocidad y el momento del fluido adyacente a la pared serán cero. La capa de fluido a una distancia corta arriba de la pared tendrá una velocidad y momento. Por lo que, al fluir el líquido existirá una demanda de momento entre capas de fluido.

El momento se transfiere de una región de alta velocidad de fluido hasta una de baja velocidad, por lo que la velocidad de momento transferida por unidad de área está condicionada por el gradiente de velocidad, el cual es la fuerza impulsora para la transferencia de momento.

2.4.1.1. Medición de viscosidad

Para medir la viscosidad del agroquímico se utilizará un reómetro dinámico por cizallamiento. Este posee una plataforma de reómetro rotacional. El software que este rotámetro utiliza es el rSpace, de la serie Kinexus DSR, el cual permite realizar las pruebas para medir viscosidad.

El reómetro tiene un platillo o geometría inferior, el cual está acoplado a un cartucho denominado controlador ambiental ya que controla la temperatura donde se coloca la muestra. Para iniciar el análisis, la geometría superior se acopla al reómetro y junto con la geometría inferior proporcionan la interfaz a la muestra. De esa manera la geometría superior gira según la frecuencia establecida para registrar los valores de viscosidad necesarios para representar los resultados finales por medio del rSpace.

Figura 2. **Reómetro dinámico**



Fuente: Malvern Panalytical. <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/product-range/kinexus-range/kinexus-dsr-range>. Consulta: 30 de abril de 2019.

2.4.1.2. La viscosidad y las suspensiones concentradas

La viscosidad es importante para las suspensiones concentradas, ya que estabilizan las propiedades características de las mismas. Se busca crear una red estructural que permita la correcta dispersión de la fase sólida, en este caso el ingrediente activo, en la fase líquida sin que exista separación de fases. Esto garantiza la correcta aplicación del activo suspendido en la formulación, sobre los cultivos a tratar.

2.5. Disminución de tamaño de partícula

La disminución de tamaño es una operación unitaria en la que el tamaño promedio de los sólidos alimentados decrece al aplicar fuerzas.

Pueden ser en forma de impactos, compresión o por abrasión. Para disminuir el tamaño de partícula puede utilizarse un molino, el cual es una máquina que tritura, muele, lamina o estruja material sólido.

Los tipos de molino que se utilizan en la industria son:

- Molino de martillos
- Molino de discos
- Molino de rodillos
- Molino de bolas
- Trituradoras

El molino que se utiliza en la formulación del agroquímico a analizar es un molino de bolas. El cual utiliza fuerza de cizalla para disminuir el tamaño de las partículas sólidas por medio de perlas de circonio. El resultado es una molienda fina para asegurar la calidad final de la formulación.

Existen sustancias que pueden ayudar al proceso de molienda. Por ejemplo, los surfactantes hacen posible obtener partículas más pequeñas que formulaciones sin surfactantes. Estos también incrementan la velocidad de trituración, lo cual es positivo para el proceso. Es posible considerar también el agua como aditivo a la molienda.

2.5.1. Medición de tamaño de partícula

Para definir el tamaño de partícula de una muestra se describen por medio de una distribución de tamaños de partículas. La distribución es una representación gráfica basada en el porcentaje acumulativo de tamaños mayores o menores con respecto a los diámetros de las partículas.

Puede utilizarse una base de peso, volumen o densidad volumétrica. D10 representa valores de tamaño de partícula para una distribución del 10 % de la muestra, D50 para el 50 % y D90 para el 90 %.

El equipo utilizado para medir el tamaño de partícula utiliza el método de difracción de luz. Este consiste en un recipiente con agua y dentro se dispersan las partículas que se desean analizar, quedando suspendidas en el medio. Por medio de la técnica láser, se analiza la distribución de energía de difracción generada mediante una computadora.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables se definieron de la siguiente manera:

3.1.1. Análisis de ambiente externo

Según estándares de casa matriz y condiciones de operación recomendables, se establecieron los siguientes criterios y rangos:

Tabla I. Listado de variables de análisis de ambiente externo

Procedimiento	Tipo	Variable	Unidad	Rango de variación
Mezclado	Independiente	Temperatura	°C	< 30
	Independiente	Tiempo de homogenización	min	5
	Independiente	Velocidad del agitador en el mezclado	RPM	320 - 453
Molienda	Independiente	Temperatura	°C	< 40
	Dependiente	Presión	bar	< 3,5
	Independiente	Flujo	L/h	88,2
	Independiente	Giro del eje del molino	RPM	2389

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Análisis de experimentación

Tabla II. Listado de variables

Tipo	Variable	Unidad
Independiente	Orden de adición de la materia prima	ad
	Ciclos de molienda	ad
Dependiente	Viscosidad	mPa·s
	Tamaño de partícula	µm

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

Se analizará la viscosidad y el tamaño de partícula final del agroquímico el cual es un fungicida en suspensión concentrada para evaluar cómo influye el orden de adición de las materias prima.

- Lugar de formulación: área de formulación de líquidos no herbicidas de la planta de producción de agroquímicos.
- Lugar de análisis: laboratorio fisicoquímico del departamento de aseguramiento de calidad de la planta de producción de agroquímicos.
- Ubicación: la planta está ubicada en Amatitlán, Guatemala.
- Período de investigación: se realizará durante abril y mayo de 2018.
- Clima: la temperatura media anual del municipio de Amatitlán oscila entre 23 y 27 °C.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Ingrid Rodríguez, estudiante de Ingeniería Química, investigadora.
- Daniel Gómez, ingeniero químico, asesor de la investigación. Cuenta con amplia experiencia en el área de formulaciones.
- Erick Velásquez, ingeniero industrial, coasesor de la investigación. Cuenta con experiencia en el área de formulación de agroquímicos.

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

El equipo, cristalería y reactivos utilizados fueron los siguientes:

3.4.1. Equipo

Para cada etapa se utilizó lo siguiente:

3.4.1.1. Formulación

- Equipo de protección personal (botas industriales antideslizantes, overol, guantes para formular, mascarilla de media cara y casco).
- Mezclador con agitador de paletas (flujo radial).
- Cronómetro.
- Termómetro de mercurio.
- Bomba peristáltica escala laboratorio.
- Mangueras de plástico de 1 pulgada.
- Recipiente de acero de 5 L para alimentación de la bomba.
- Recipiente de acero para mezclador.

- Molino Dyno Mill Multilab de 1,4 L.
- Balanza digital.
- Mortero y pistilo.
- Espátula.
- Tacómetro digital láser.
- Envases de 500 mL para contener formulación final.
- Cámara.

3.4.1.2. Análisis de laboratorio

- Equipo de protección personal (botas industriales antideslizantes, bata, guantes de látex, lentes de seguridad).
- Balanza analítica.
- Termómetro de mercurio.
- Reómetro digital Kinexus.
- Medidor de tamaño de partícula, Mastersizer 2 000.
- Equipo para eliminar espuma (ondas sónicas).

3.4.2. Cristalería

- Beacker de 1 000 mL
- Beacker de 500 mL
- Beacker 250 mL
- Beacker de 10 mL

3.4.3. Materia prima

La totalidad de la materia prima fue proporcionada por la planta de agroquímicos, a pesar de su elevado costo. A continuación, se detalla:

- Agua desmineralizada, grado industrial
- Activo A (líquido)
- Activo B (sólido)
- Surfactante (bajo HLB)
- Antiespumante
- Dispersante
- Emulsificante (alto HLB)
- Espesante

3.5. Técnica cuantitativa

Para evaluar el efecto del procedimiento de formulación en la viscosidad del agroquímico se propone medir el cambio en la viscosidad del fungicida al cambiar el orden de adición de la materia prima del procedimiento de formulación actual.

Se analizarán 5 órdenes de adición de materia prima, diferentes al procedimiento actual. En las tablas III a la VIII se detalla el procedimiento actual (procedimiento base) y los 5 órdenes de adición propuestos.

Tabla III. **Orden de adición de materia prima para la formulación del agroquímico SC, procedimiento base**

Parte	No.	Componentes
A	1	Agua desmineralizada (60,0 %)
	2	Activo A (56,3 %)
	3	Surfactante HLB bajo
	4	Antiespumante
	5	Surfactante HLB alto
	6	Dispersante
	7	Activo B
	8	Espesante
Mezclado		
Limpieza recipiente de mezclado	9	Agua desmineralizada (10,7 %)
Molienda		
Limpieza de sistema de molienda	10	Agua desmineralizada (29,3 %)
Ajuste final	11	Activo A (43,7 %)
Mezclado		

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Orden de adición 1 de materia prima para la formulación del agroquímico SC**

Parte	No.	Componentes
A	1	Agua desmineralizada (31,1 %)
	2	Activo A (56,3 %)
	3	Surfactante bajo HLB
	4	Antiespumante
	5	Surfactante alto HLB
	6	Dispersante
	7	Activo B
	8	Espesante
Mezclado		

Continuación de la tabla IV.

Limpieza de recipiente de mezclado	9	Agua desmineralizada (10,7 %)
Molienda		
Limpieza de sistema de molienda	10	Agua desmineralizada (58,2 %)
Ajuste final	11	Activo A (43,7 %)
Molienda (solo ajuste)		
Mezclado (ajuste final molido y parte A)		

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Orden de adición 2 de materia prima para la formulación del agroquímico SC**

Parte	No.	Componentes
A	1	Agua desmineralizada (90,0 %)
	2	Surfactante alto HLB
	3	Surfactante bajo HLB
	4	Dispersante
	5	Activo B
	6	Antiespumante
Mezclado		
Molienda		
Limpieza de sistema de molienda	7	Agua desmineralizada (10,0 %)
Ajuste final	8	Activo A (100,0 %)
	9	Espesante
Molienda (ajuste final y parte A)		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Orden de adición 3 de materia prima para la formulación del agroquímico SC**

Parte	No.	Componentes
A	1	Agua desmineralizada (90,0 %)
	2	Surfactante alto HLB
	3	Surfactante bajo HLB
	4	Dispersante
	5	Activo B
	6	Antiespumante
Mezclado		
Molienda		
Limpieza de sistema de molienda	7	Agua desmineralizada (10,0 %)
Ajuste final	8	Activo A (100,0 %)
	9	Espesante
Molienda (solo ajuste final)		
Mezclado ajuste final y parte A		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Orden de adición 4 de materia prima para la formulación del agroquímico SC**

Parte	No.	Componentes
A	1	Agua desmineralizada (89,5 %)
	2	Activo A (21,5 %)
	3	Surfactante bajo HLB
	4	Antiespumante
	5	Surfactante alto HLB
	6	Dispersante
	7	Activo B
	8	Espesante
Mezclado		
Limpieza de recipiente de mezcla	9	Agua desmineralizada (10,5 %)

Continuación de la tabla VII.

Molienda		
Ajuste final	10	Activo A (78,5 %)
Mezclado ajuste final y parte A		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Orden de adición 5 de materia prima para la formulación del agroquímico SC**

Parte	No.	Componentes
A	1	Agua desmineralizada (89,5 %)
	2	Surfactante alto HLB
	3	Surfactante bajo HLB
	4	Dispersante
	5	Activo B
	6	Antiespumante
	7	Activo A (21,5 %)
	8	Espesante
Mezclado		
Limpieza recipiente de mezclado	9	Agua desmineralizada (10,5 %)
Molienda		
Ajuste final	10	Activo A (78,5 %)
Mezclado ajuste final y parte A		

Fuente: elaboración propia.

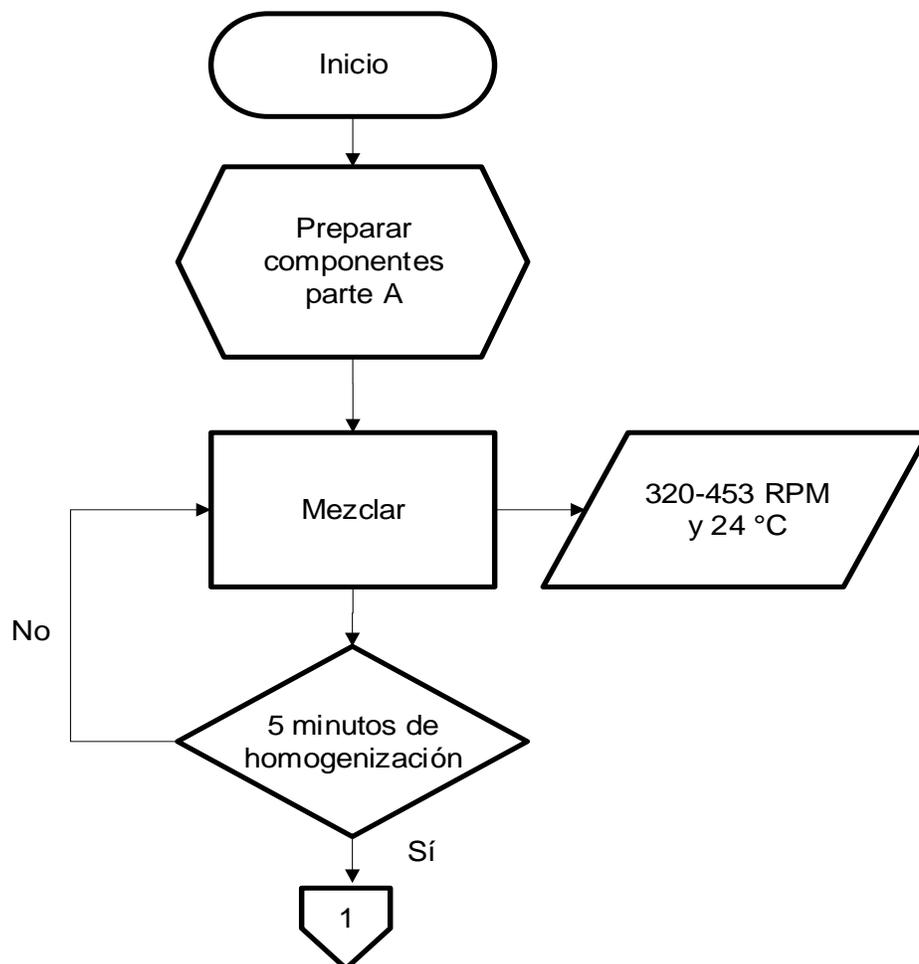
3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

Los procedimientos de formulación se detallan por medio de esquemas en las siguientes secciones; para ello se utilizó el programa Microsoft Visio 2016.

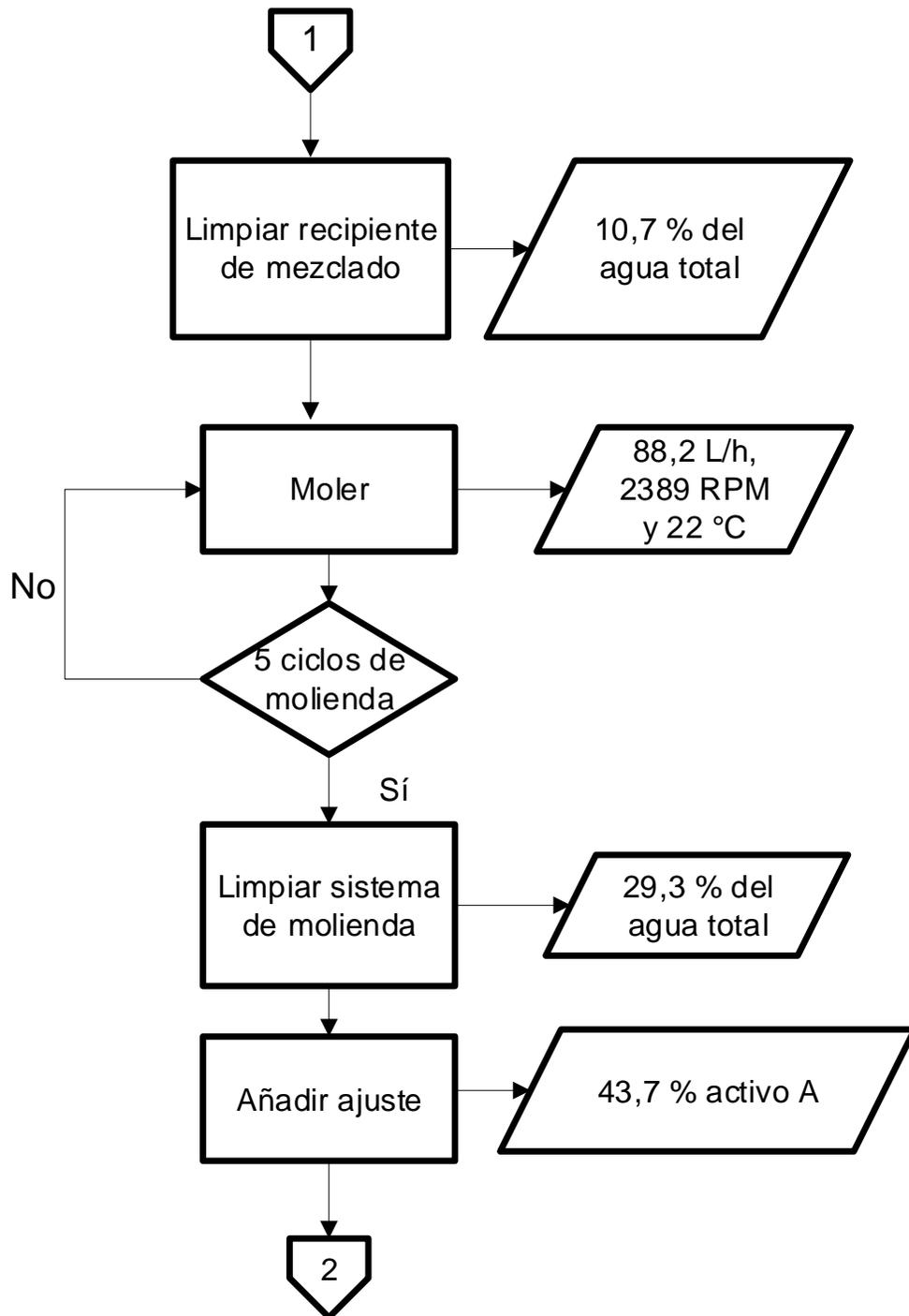
3.6.1. Determinación de la viscosidad del fungicida en SC al utilizar el orden de adición de materia prima actual

Para cumplir el objetivo 1 se realizará el procedimiento base, el cual consiste en seguir el orden de adición de materia prima que actualmente se utiliza para formular, ver figura 3. Obtenido el fungicida se medirá la viscosidad en el laboratorio fisicoquímico.

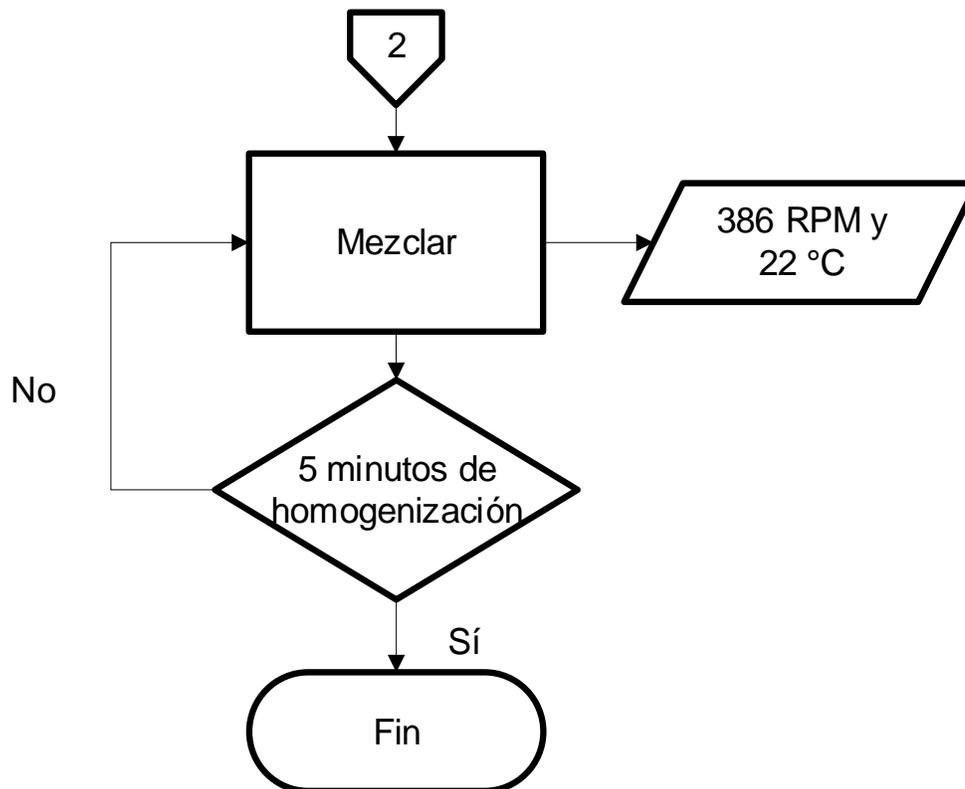
Figura 3. Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento base)



Continuación de la figura 3.



Continuación de la figura 3.

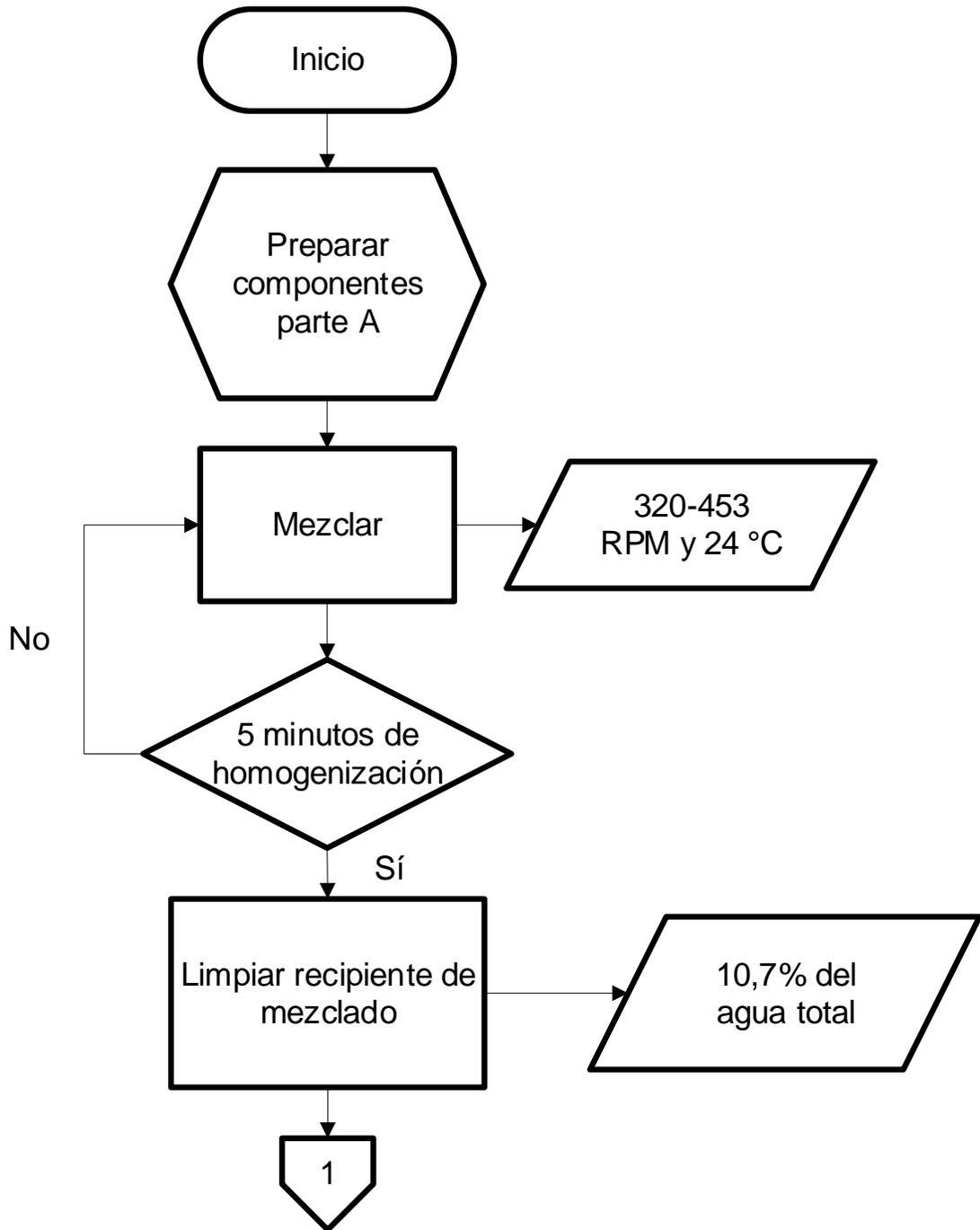


Fuente: elaboración propia.

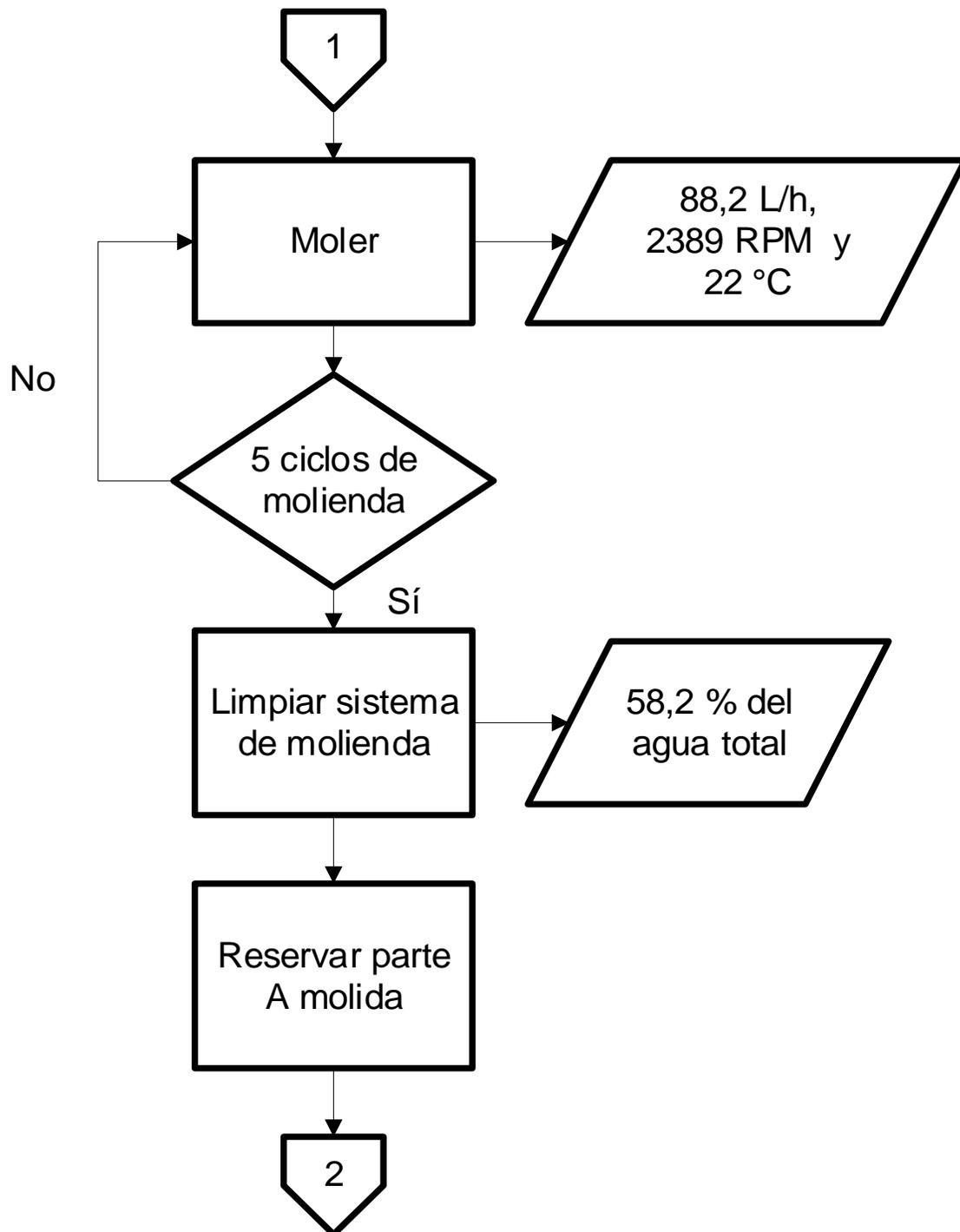
3.6.2. Medición del cambio en la viscosidad del fungicida en SC al cambiar el orden de adición de la materia prima utilizando el procedimiento de formulación actual

Para cumplir el objetivo 2, se analizarán 5 órdenes de adición de materia prima diferentes, ver figuras 4 a la 8. Formulada el fungicida, se medirá la viscosidad en el laboratorio fisicoquímico.

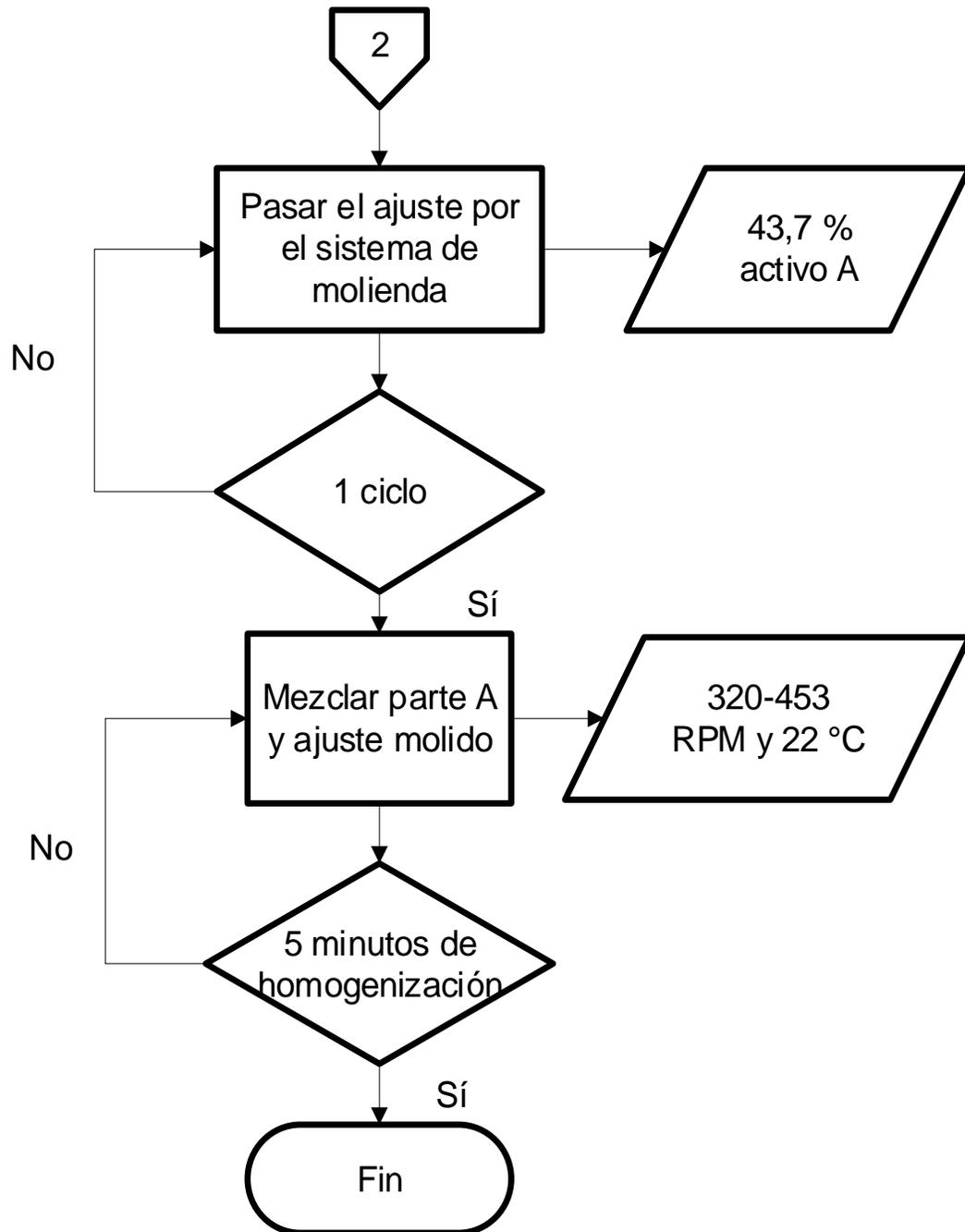
Figura 4. Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 1)



Continuación de la figura 4.

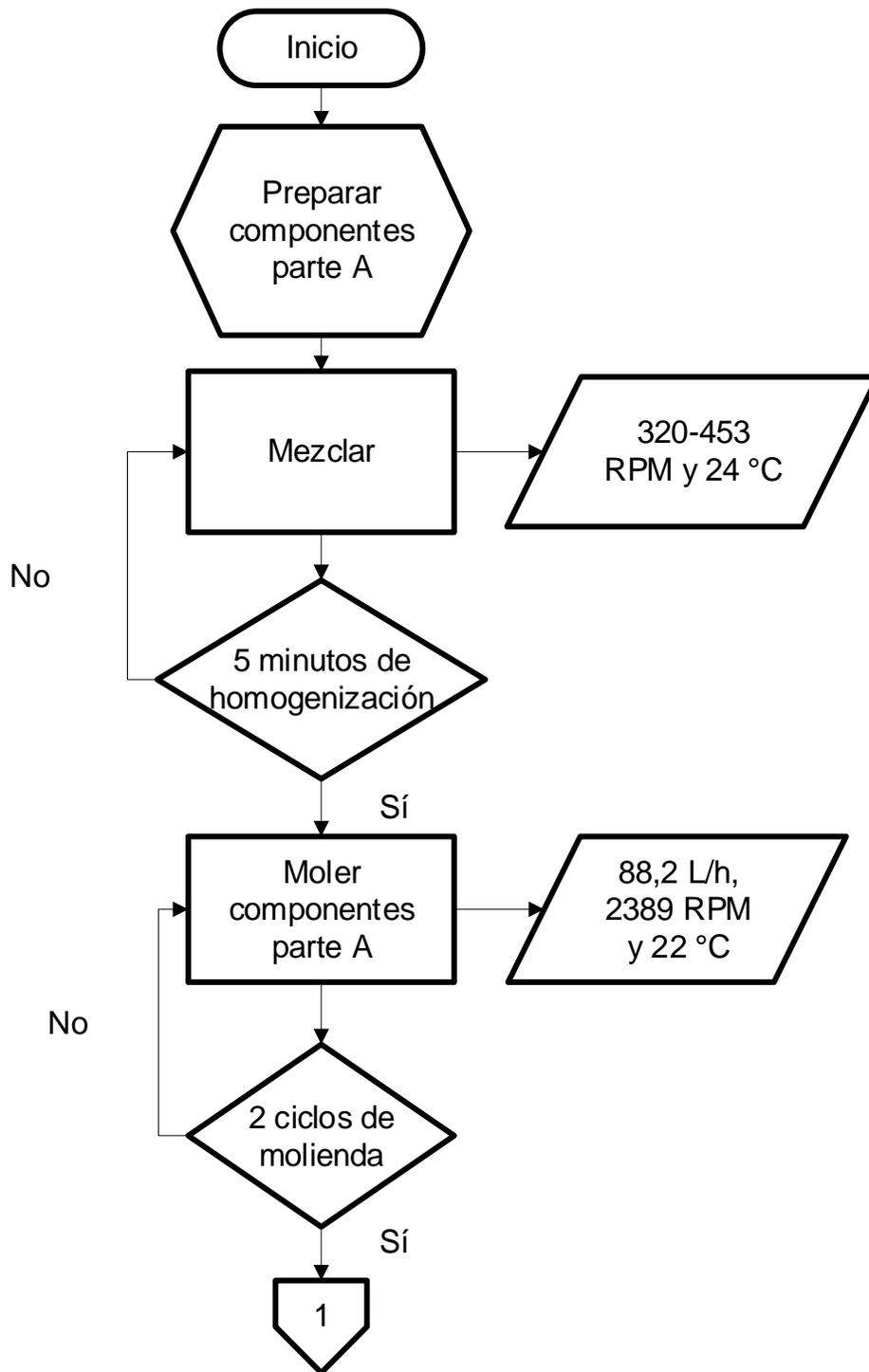


Continuación de la figura 4.

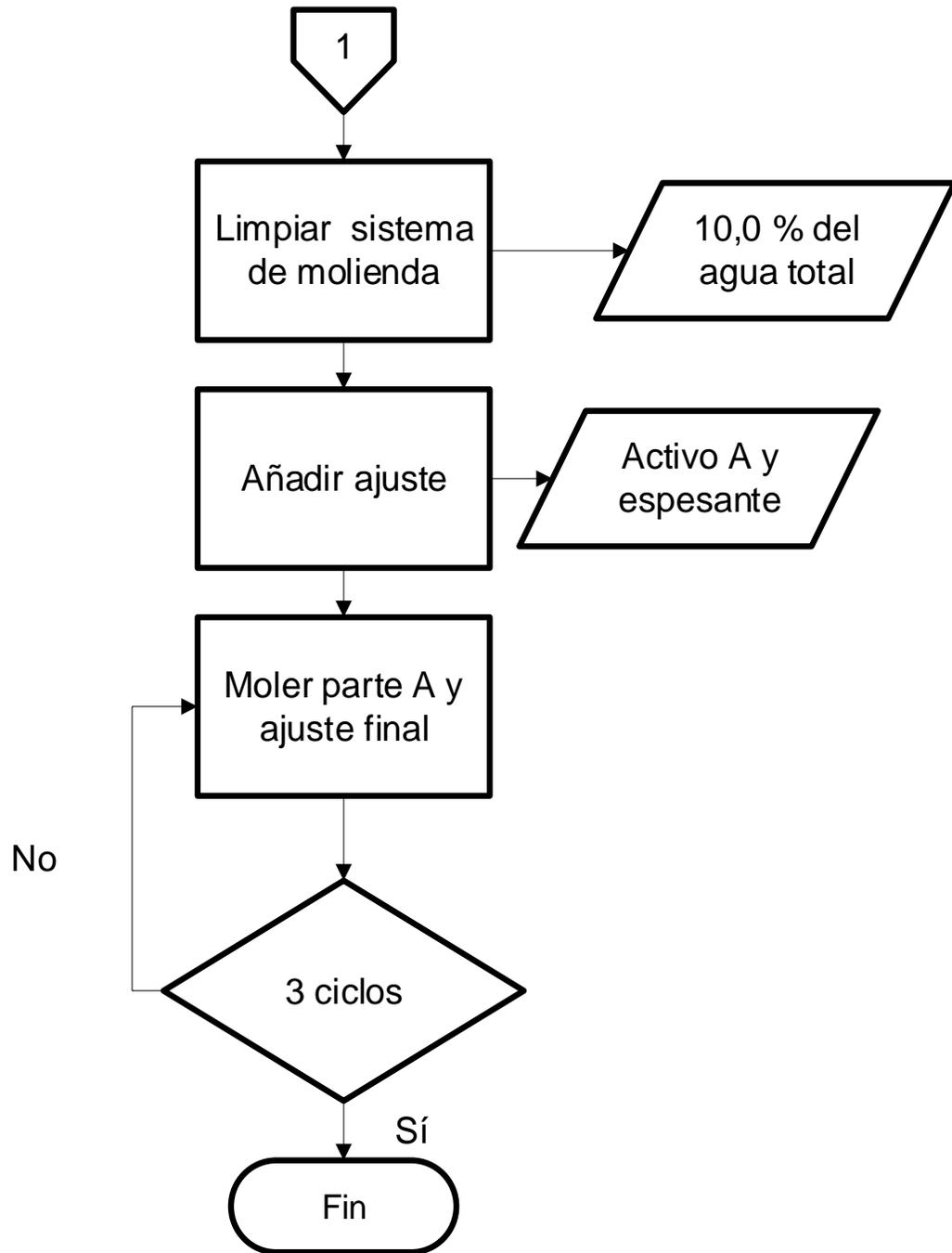


Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 2)**

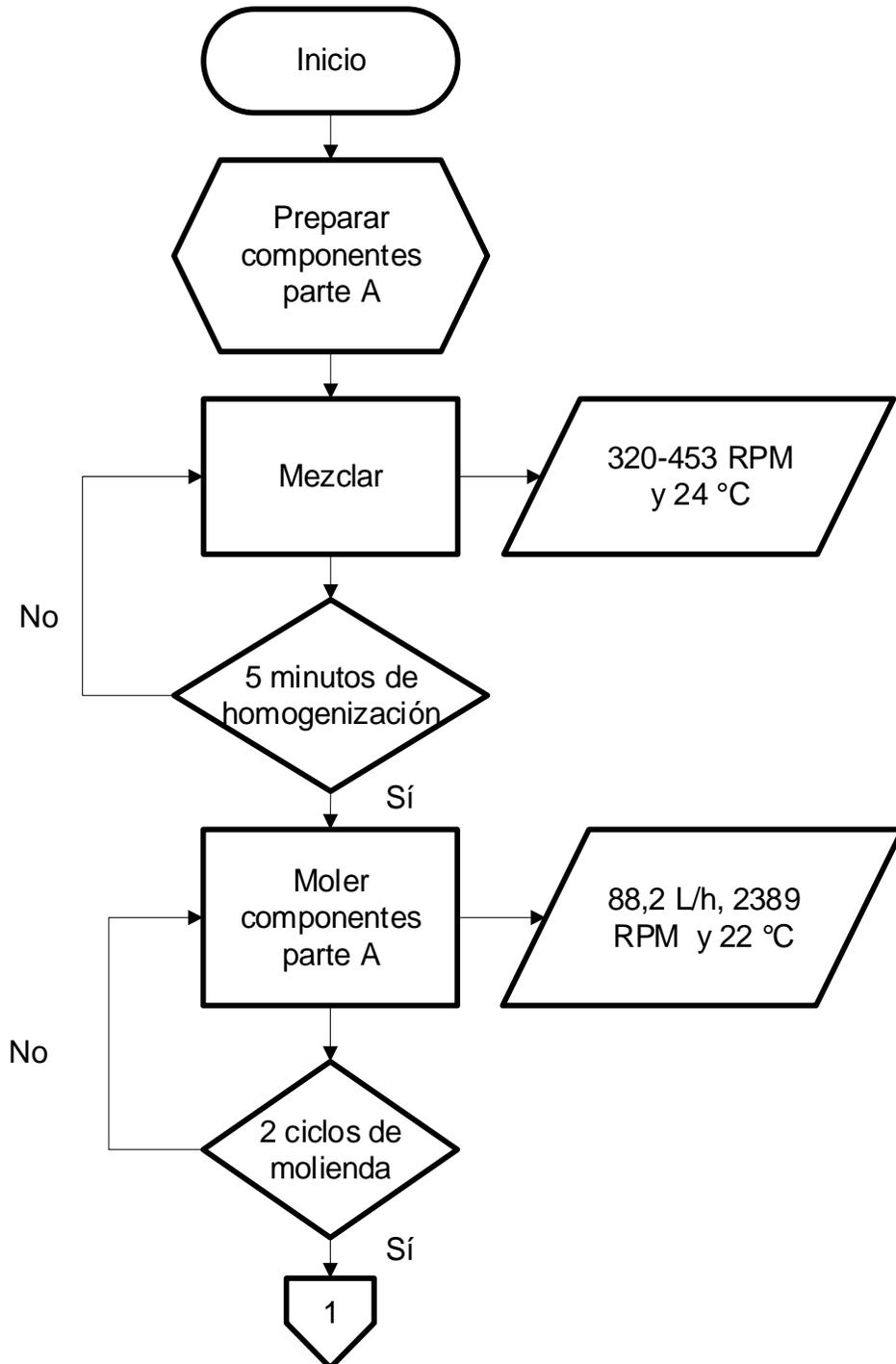


Continuación de la figura 5.

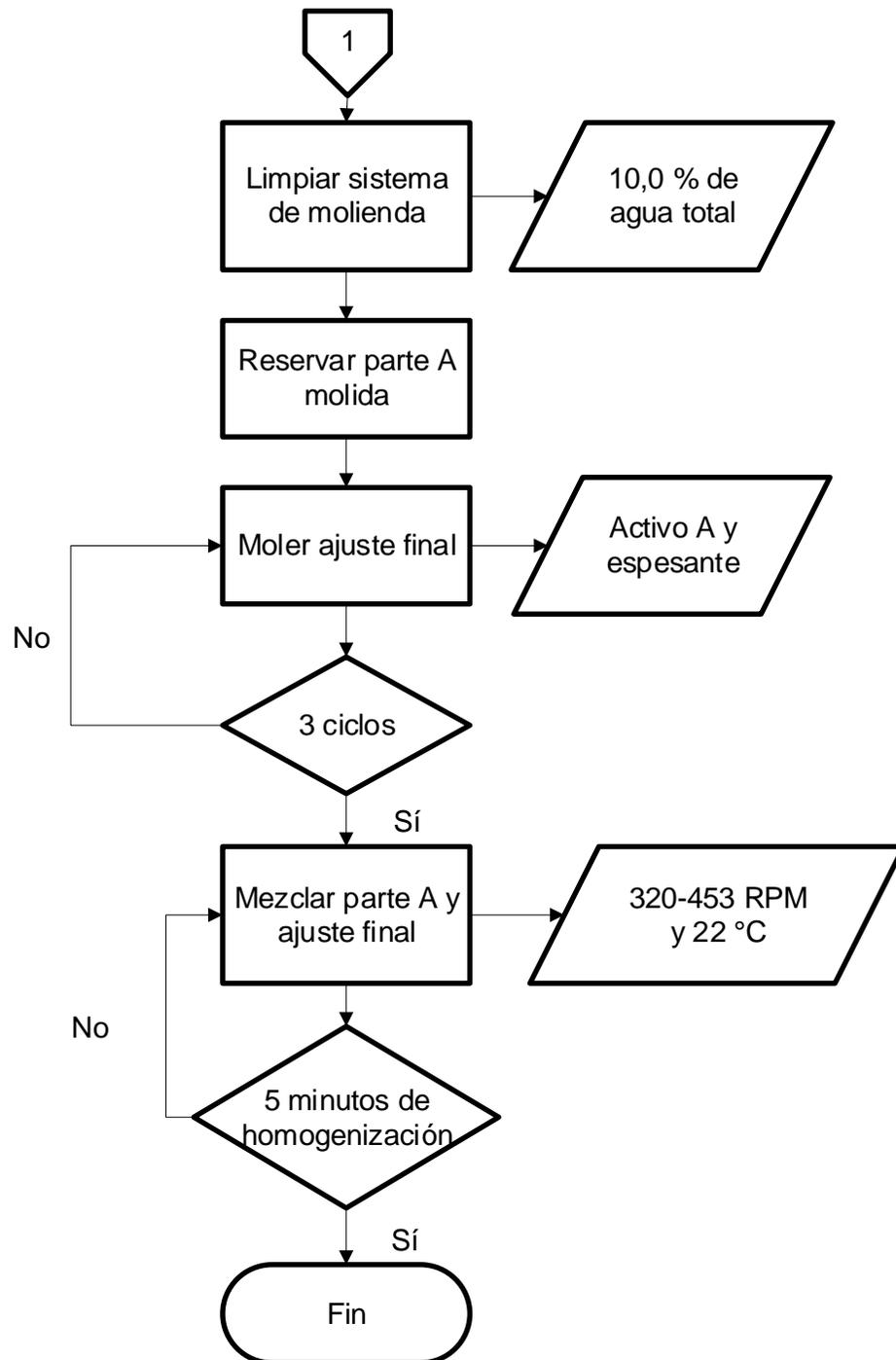


Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 3)

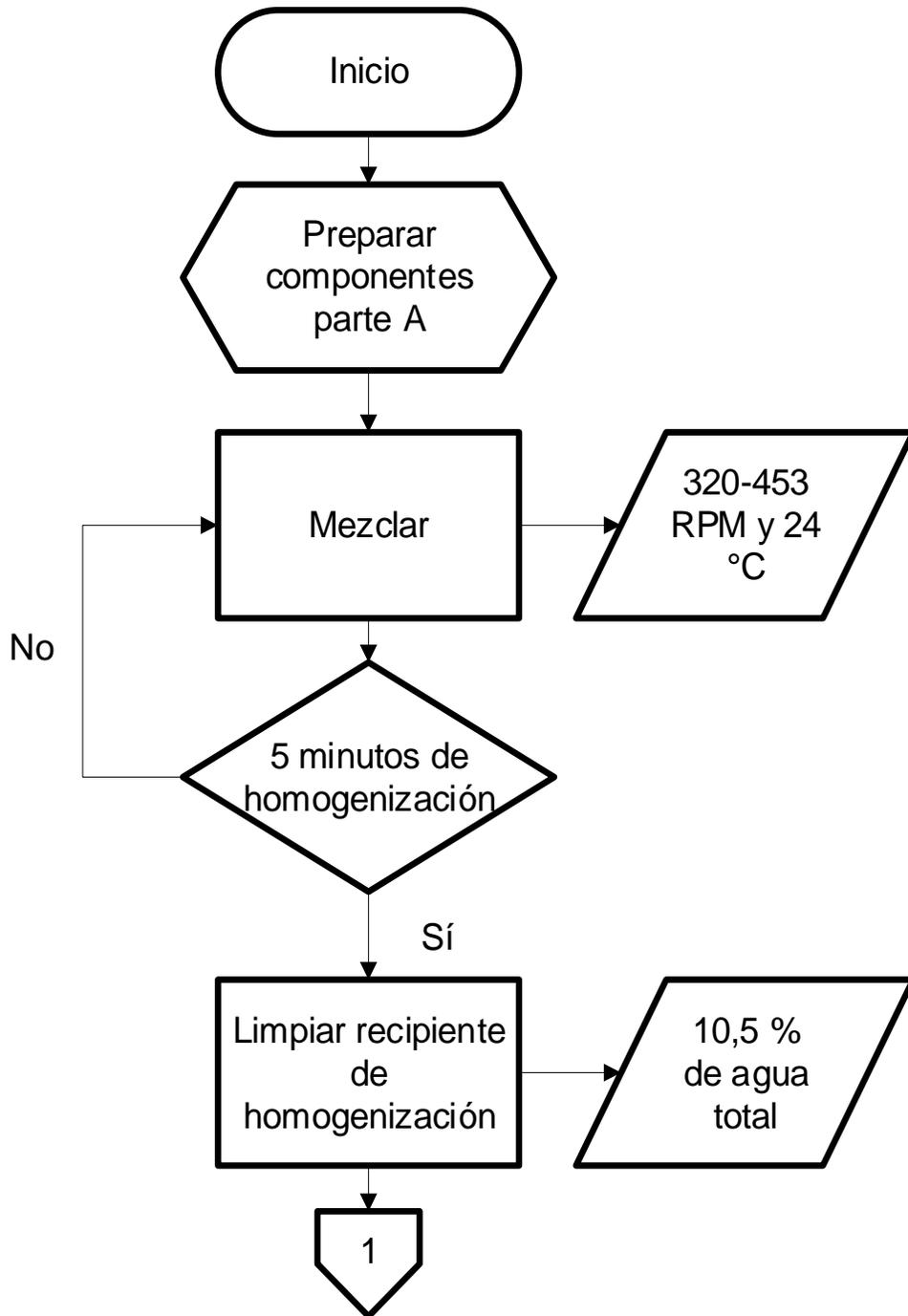


Continuación de la figura 6.

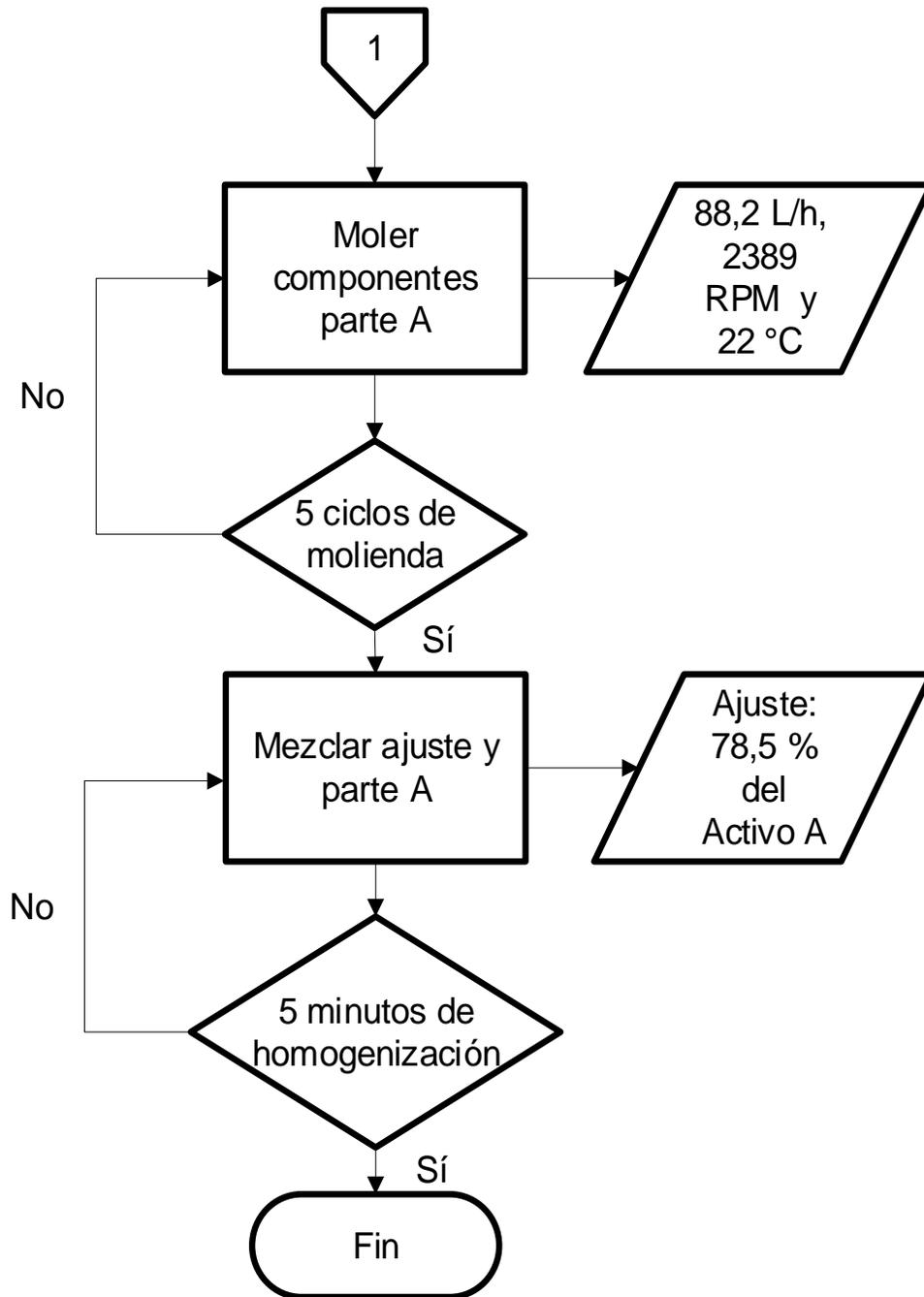


Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 4)

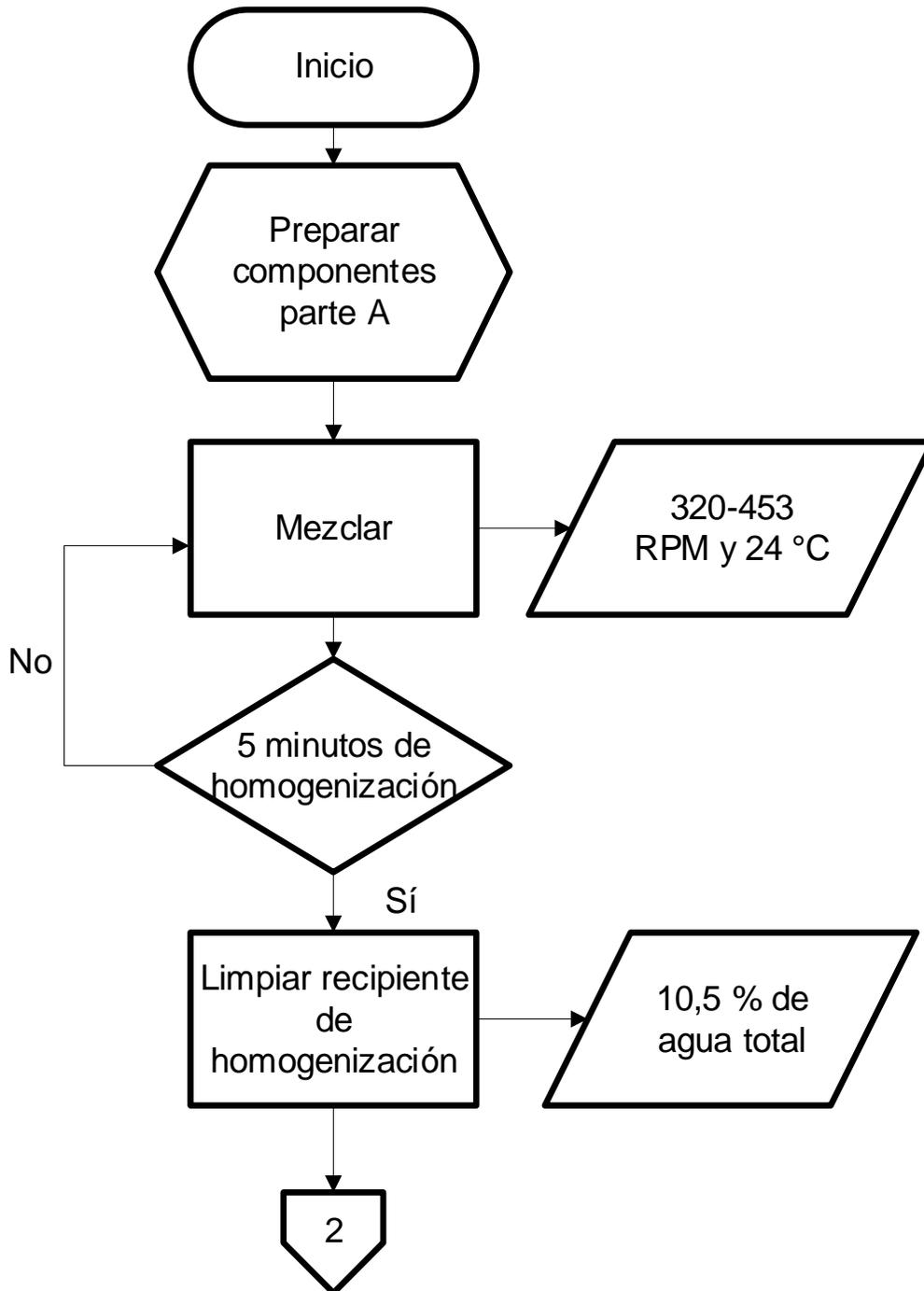


Continuación de la figura 7.

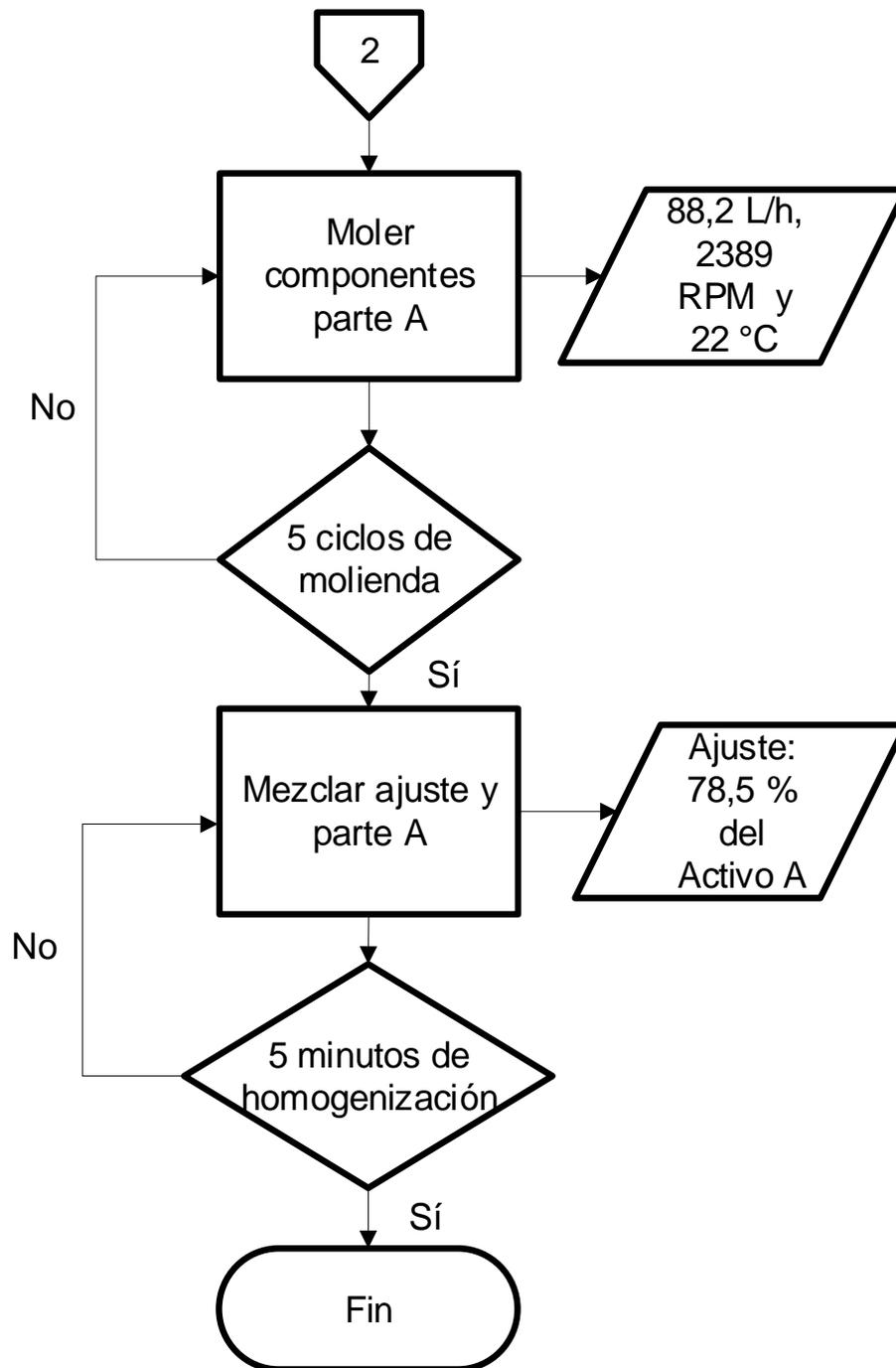


Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Orden de adición de materia prima para formulación (procedimiento 5)



Continuación de la figura 8.



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos de la viscosidad y el tamaño de partícula se tabularán de la siguiente manera:

Tabla IX. **Cantidades por utilizar para el orden de formulación a seguir**

No.	Materia prima	Tara (kg)	Cantidad añadida (kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos obtenidos luego de formular el agroquímico, siguiendo el orden de adición correspondiente**

Orden	No.	Viscosidad (mPa*s)	Tamaño de partícula Dv 50 (µm)	Tamaño de partícula Dv 90 (µm)	Observaciones
	1				
	2				

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico consistirá en lo siguiente:

3.8.1. Análisis de varianza (ANOVA)

Este análisis determina si las diferencias entre las medias muestrales son generadas por la variación aleatoria de los datos o si fueron provocadas por factores distintos a la casualidad. Consiste en comparar la varianza entre las medias muestrales de un grupo y dentro de los grupos. Específicamente, pone a prueba la hipótesis nula, la cual establece que las medias de los grupos no difieren significativamente una de la otra.

Se analizó la existencia de diferencias significativas en la viscosidad al cambiar el orden de adición de la materia prima durante el proceso de formulación. Para ello, se utilizó como estadístico la distribución F, la cual refleja el grado de similitud que existe entre las medias de viscosidad obtenidas. Con un nivel de significancia de 5 %, si la F calculada es mayor que F crítico existen diferencias significativas y se rechaza la hipótesis nula. Las ecuaciones para el análisis se resumen en las figuras 16 y 17.

Figura 9. **Medidas de variabilidad**

$$STC = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \text{suma total de cuadrados,}$$
$$SCT = n \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2 = \text{suma de los cuadrados del tratamiento,}$$
$$SCE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = \text{suma de los cuadrados del error.}$$

Fuente: WALPOLE, Ronald E. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 511.

Donde:

- y_{ij} : observación j-ésima de la i-ésima muestra
- \bar{y} : media del tratamiento correspondiente

Figura 10. **Cálculos para el análisis de varianza de un solo factor**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	SCT	$k - 1$	$s_1^2 = \frac{SCT}{k - 1}$	$\frac{s_1^2}{s^2}$
Error	SCE	$k(n - 1)$	$s^2 = \frac{SCE}{k(n - 1)}$	
Total	STC	$kn - 1$		

Fuente: WALPOLE, Ronald E. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 512.

Donde:

- k : número de grupos
- n : número de datos en cada grupo
- s_1^2 : media cuadrática del tratamiento
- s^2 : cuadrado medio del error
- f : distribución F

3.8.2. Programas por utilizar para el análisis de datos

Se utilizarán los siguientes programas:

- Microsoft Word: como procesador de texto y ordenamiento de la información.
- Microsoft Excel: para tabular los datos, realizar cálculos y analizar los datos cuantitativos.
- MiniTab: como programa auxiliar para datos y cálculos.

4. RESULTADOS

Tabla XI. **Resumen de porcentajes de espesante, activo A y sólidos**

Parte	Concepto	Procedimiento					
		Base	1	2	3	4	5
A	Espesante antes de molienda	100	100	0	0	100	100
	Activo A antes de molienda	56,3	56,3	0	0	21,5	21,5
	Porcentaje de sólidos antes de molienda	17	18	37	37	27	27
Ajuste final	Espesante después de molienda	0	0	100	100	0	0
	Activo A después de molienda	43,7	43,7	100	100	78,5	78,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resumen de incorporación de parte A y ajuste final en los procedimientos evaluados**

Procedimiento					
Base	1	2	3	4	5
Ajuste mezclado con parte A	Ajuste molido un ciclo y mezclado con parte A	Parte A molida dos ciclos. Parte A y ajuste tres ciclos de molienda	Parte A y ajuste molido por aparte	Parte A y ajuste mezclado	Cambio de orden de adición en parte A

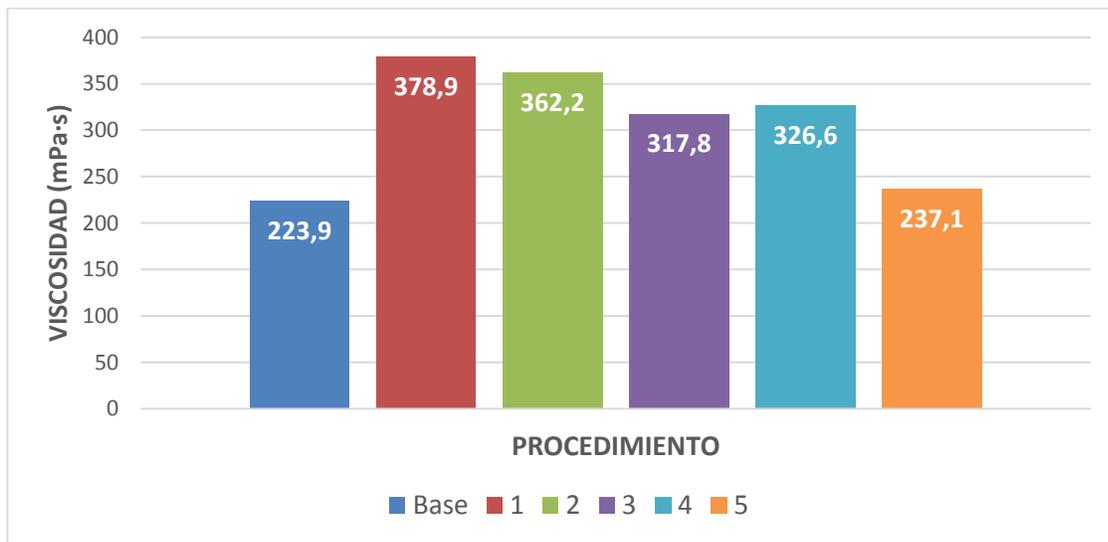
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Resultado de viscosidad, cambio en la viscosidad y tamaño de partículas correspondientes a cada procedimiento formulado

Parámetros	Tipo	casa matriz	Procedimiento					
			Base	1	2	3	4	5
Viscosidad (mPa·s)	20/s	260 - 700	223,9	378,9	362,2	317,8	326,9	237,1
Aumento de viscosidad respecto de la prueba base	-	-	-	69,2 %	61,8 %	37,8 %	46,0 %	5,9 %
Tamaño de partícula (µm)	D ₅₀	≤ 2	2,7	2,7	1,7	2,5	2,0	1,7
	D ₉₀	≤ 7	12,3	10,3	6,4	10,3	9,6	7,7

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Viscosidades obtenidas respecto del procedimiento de formulación



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para garantizar que el agroquímico en suspensión concentrada cumpla su función óptima en los cultivos es imperativo que el activo B, un sólido orgánico insoluble en agua, esté correctamente disperso en la solución que contiene el activo A, el cual sí es soluble en agua. Entre los parámetros físicos que caracterizan la estabilidad de ambos activos, se analizaron la viscosidad y el tamaño de partícula. El más crítico es la viscosidad ya que previene la sedimentación del activo B. Actualmente, la viscosidad resultante del agroquímico queda fuera de especificación.

Según los parámetros de casa matriz, el rango de viscosidad del agroquímico debe estar entre 260 a 700 mPa·s. El tamaño de partícula D50 debe ser menor a 2 μm y para D90 menor a 7 μm , por lo que el proceso de molienda también es un factor para considerar en los procedimientos de formulación.

Para iniciar la evaluación del efecto del procedimiento de formulación en la viscosidad se formuló, a escala laboratorio, el agroquímico utilizando el procedimiento actual. A este se le denominó procedimiento base, ya que se utilizó para comparar el cambio en la viscosidad de cinco procedimientos propuestos (tablas XI y XII).

Para optimizar el proceso de molienda del activo B y el desarrollo de la suspensión concentrada, se restringe la cantidad de materia prima líquida durante dicho proceso. A esa parte de la formulación se le denominó parte A.

Al finalizar la molienda de la parte A, se procede a añadir un ajuste final el cual contiene el resto de materia prima líquida incluyendo el activo A.

Para este estudio, se modificó el tratamiento del ajuste final, adicionando en algunos procedimientos espesante sólido en distintos porcentajes. Además, se molió o mezcló para evaluar la viscosidad resultante de la formulación. El espesante, es un mineral ultrafino sólido que forma redes moleculares al atrapar la materia prima líquida, dejando como resultado que la viscosidad aumente y, por lo tanto, que el activo sólido B pueda quedar suspendido en la solución.

La formulación del procedimiento base obtuvo una viscosidad de 223,9 mPa·s, (tabla XIII), confirmando que el valor está por debajo de especificación. El procedimiento 1 es una variación del procedimiento base, donde se restringió la cantidad de líquidos, aumentando de 17 % a 18 % (m/m) la cantidad de sólidos en la parte A. El ajuste final fue molido y luego mezclado con la parte A. Con este procedimiento, se obtuvo el mayor aumento promedio de viscosidad con 62,9 %.

En los procedimientos 2 y 3 se aumentó a 37 % de sólidos en la parte A, el cual es el porcentaje más alto de sólidos que se presentó en todos los procedimientos evaluados. Es decir, donde se restringió mayormente la cantidad de materia prima líquida. En ambos procedimientos, el ajuste final consistió en el 100 % del activo A y del espesante. En el procedimiento 2, el ajuste final se molió junto con la parte A, previamente molida. Por el contrario, en el procedimiento 3, el ajuste se molió por aparte y solamente se mezcló con la parte A. La viscosidad aumentó 61,8 % y 37,8 %, respectivamente.

Los procedimientos 4 y 5 registraron 27 % de sólidos en la parte A, en ambos el ajuste final consistió únicamente de 78,5 % de activo A, el cual fue

mezclado con la parte A. La diferencia entre ambos procedimientos radica en el orden de adición de la materia prima en la parte A. En el procedimiento 4 el activo B fue añadido como segunda materia prima en la parte A. La formulación presentó un aumento de 46,0 % en la viscosidad.

En el procedimiento 5, el activo B fue añadido como séptima materia prima, resultando en un aumento de viscosidad de 5,9 %, el menor aumento que se presentó.

Al utilizar todos los procedimientos propuestos se obtuvo un aumento en la viscosidad (figura 19) desde un 5,9 % (procedimiento 5) hasta 69,2 % (procedimiento 1). Los procedimientos 1 al 4 alcanzaron la especificación de viscosidad. Sin embargo, el único procedimiento que cumplió con las especificaciones de viscosidad y tamaño de partícula (D50 y D90) fue el procedimiento 2.

CONCLUSIONES

1. El cambio en el orden de adición de materia prima y secuencia de los procesos de mezclado y molienda incrementó la viscosidad entre 5,9 % hasta 69,2 % respecto del procedimiento base.
2. El mayor aumento de viscosidad se alcanzó con el procedimiento 1, el cual fue el único procedimiento en donde se molió el activo A antes de añadir a la parte A de la formulación.
3. Se determinó que al formular el agroquímico utilizando el procedimiento 2 se alcanzaron las especificaciones de casa matriz para la viscosidad y para el tamaño de partícula.

RECOMENDACIONES

1. Pre moler una cantidad mayor al total que se utilizará de surfactante de alto HLB para asegurar que el tamaño de partícula sea homogéneo en todas las formulaciones a realizar.
2. Cuidar que las mangueras de alimentación que van hacia el sistema de molienda no se obstruyan para evitar generar un cambio en el flujo de alimentación.
3. Definir el número óptimo de ciclos de molienda para el procedimiento 1 y 2 con el cual se alcance la especificación de tamaño de partícula.

BIBLIOGRAFÍA

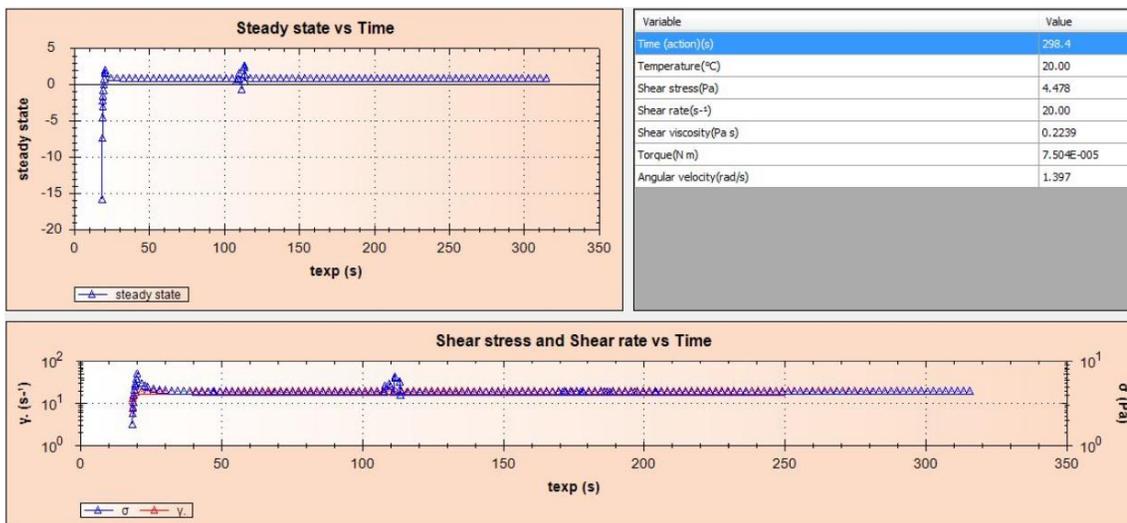
1. Departamento de Postgrados, Máster Universitario en Química, Universidad de Valencia. *Los agroquímicos más utilizados*. [en línea]. <<https://www.uv.es/uvweb/masterquimica/es/blog/agroquimicos-mas-utilizados1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285953068917>> [Consulta: 21 de abril de 2018].
2. Dow. *What is HLB? How is it applied to formulate emulsions?* [en línea]. <https://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/3277>. [Consulta: 21 de abril de 2018].
3. McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2002. 1 177 p.
4. MONJE ÁLVAREZ, Carlos A. *El proyecto de investigación. Guía para su presentación*. Universidad Surcolombiana, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, Colombia, 2011. 38 p.
5. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2001. 35 p.
6. SANTIAGO SARUBBI, Carlos. *Efecto de los surfactanes siliconados en el tamaño y evaporación de la gota de aspersion*. [en línea]. <<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2015sarbucarlosalbertosantiago.pdf>>. Tesis de grado. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Argentina, 2015. 21 p.

7. TEGO Foamex. *Defoamer*. [en línea]. <www.tego.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/Tego/en/Technical-Background/defoamers-tego-foamex.pdf>. [Consulta: 21 de abril de 2018].

8. VEGA, Abraham Faustino. *Emulsiones farmacéuticas*. [en línea]. <http://depa.fquim.unam.mx/amdy/archivero/Emulsiones_5452.pdf>. [Consulta: 21 de abril de 2018].

APÉNDICES

Apéndice 1. Vista del resultado de viscosidad (20s^{-1}) a $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, procedimiento base

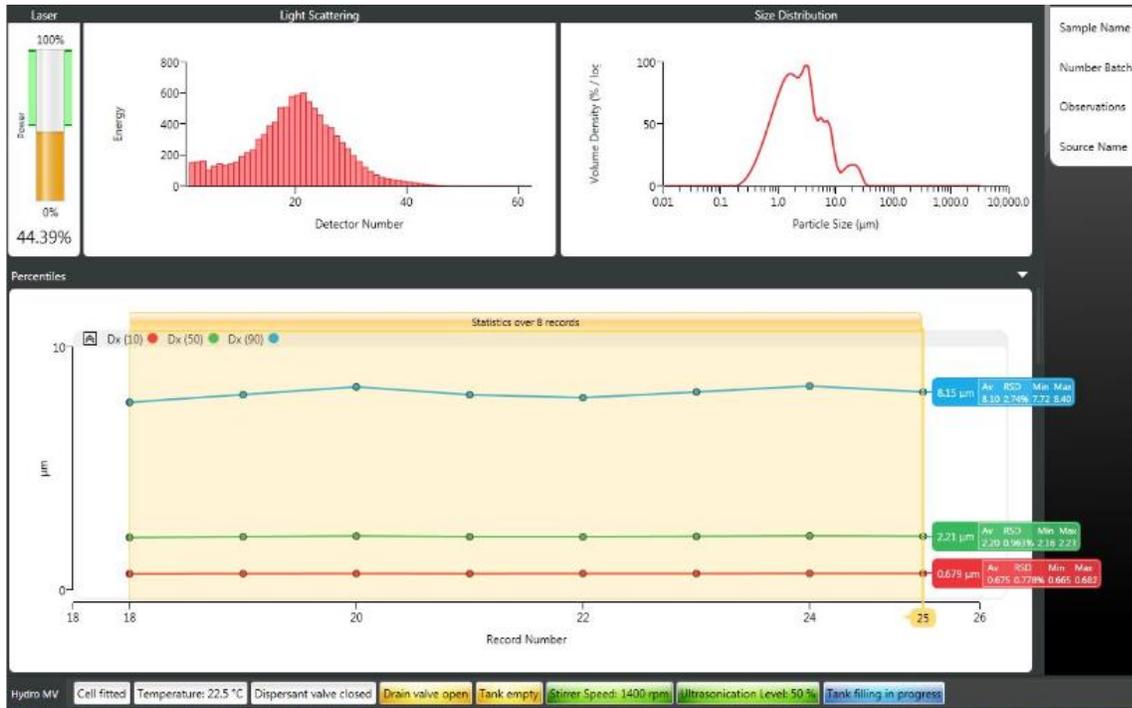


Fuente: elaboración propia, empleando Reómetro Kinexus.

Apéndice 2. Vista del resultado de tamaño de partícula, procedimiento P1 segunda corrida

Particle Refractive Index	0.000	Span	3.385
Particle Absorption Index	0.000	Uniformity	1.182
Dispersant Name	Water	Specific Surface Area	3509 m ² /kg
Dispersant Refractive Index	1.330	D [3,2]	1.51 μm
Scattering Model	Fraunhofer	D [4,3]	3.80 μm
Analysis Model	Narrow Modes	Dv (10)	0.679 μm
Weighted Residual	0.38 %	Dv (50)	2.21 μm
Laser Obscuration	22.55 %	Dv (90)	8.15 μm

Continuación del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia, empleando el medidor de partícula Malvern Mastersizer 3 000.

Apéndice 3. Datos para curva de calibración de bomba peristáltica

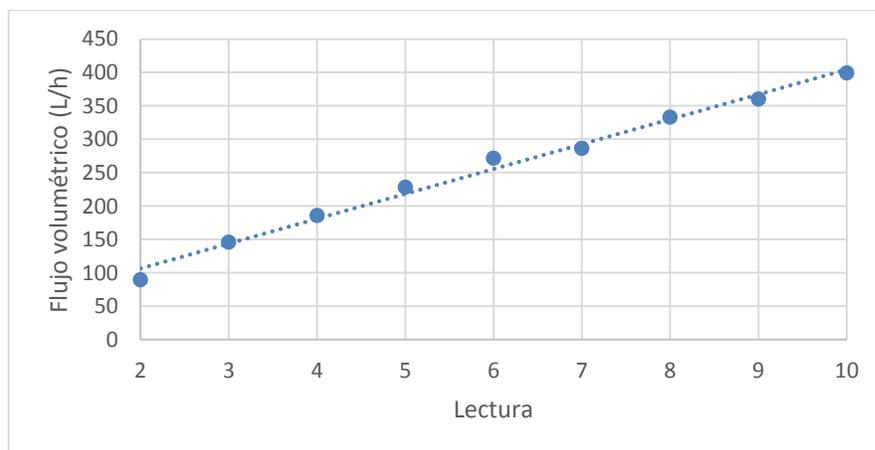
Lectura	Masa total (kg)	Promedio (kg)	Masa (kg)	t (s)	flujo másico (kg/h)	flujo volumétrico (L/h)
2,00	0,69	0,69	0,37	15,00	89,92	89,92
	0,70					
	0,69					
3,00	0,93	0,93	0,61	15,00	146,08	146,08
	0,92					
	0,93					
4,00	0,83	0,83	0,52	10,00	185,76	185,76
	0,84					
	0,83					

Continuación del apéndice 3.

Lectura	Masa total (kg)	Promedio (kg)	Masa (kg)	t (s)	flujo másico (kg/h)	flujo volumétrico (L/h)
5,00	0,95	0,95	0,63	10,00	228,24	228,24
	0,95					
	0,95					
6,00	0,70	0,70	0,38	5,00	271,68	271,68
	0,70					
	0,69					
7,00	1,11	1,11	0,80	10,00	286,32	286,32
	1,11					
	1,12					
8,00	0,78	0,78	0,46	5,00	332,88	33288
	0,78					
	0,78					
9,00	1,02	1,02	0,70	7,00	360,00	360,00
	1,02					
	1,02					
10,00	0,87	0,87	0,55	5,00	399,12	399,12
	0,88					
	0,87					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Curva de calibración de bomba peristáltica



Continuación del apéndice 4.

Curva	Modelo	R²	Intervalo de validez
	$\dot{Q} = 37\,181L + 32,468$	0,99	1,00-12,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Valores de viscosidad correspondientes a los procedimientos evaluados

Procedimiento	Viscosidad (mPa·s)	Promedio viscosidad (mPa·s)
Base	223,9	223,9
1	284,3	378,9
	473,4	
2	405,6	362,2
	318,8	
3	308,6	317,8
	327,0	
4	325,8	326,9
	328,0	
5	272,1	237,1
	202,0	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Valores de tamaño de partícula correspondientes a los procedimientos evaluados**

		Lectura de flujo		1,5		
		Flujo (L/h)		88,2		
Tamaño de partícula (μm)						
Procedimiento	D90	Promedio D90	Desviación estándar D90	D50	Promedio D50	Desviación estándar D50
Base	12,3	12,3	-	2,7	2,7	-
1	12,4	10,3	3,0	3,2	2,7	0,7
	8,2			2,2		
2	6,3	6,4	0,2	1,6	1,7	0,1
	6,5			1,7		
3	10,0	10,3	0,4	2,5	2,5	0,0
	10,6			2,6		
4	12,1	9,6	3,5	2,3	2,0	0,4
	7,1			1,7		
5	7,3	7,7	0,6	1,7	1,7	0,0
	8,1			1,7		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Análisis de varianza de un factor para el efecto del orden de adición**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	F calculada	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	24 146,69	4	6 036,674	1,24	0,40	5,19
Dentro de los grupos	24 275,23	5	4 855,05			
Total	48 421,92	9				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Procedimiento de formulación del agroquímico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Análisis de muestras del agroquímico formulado**



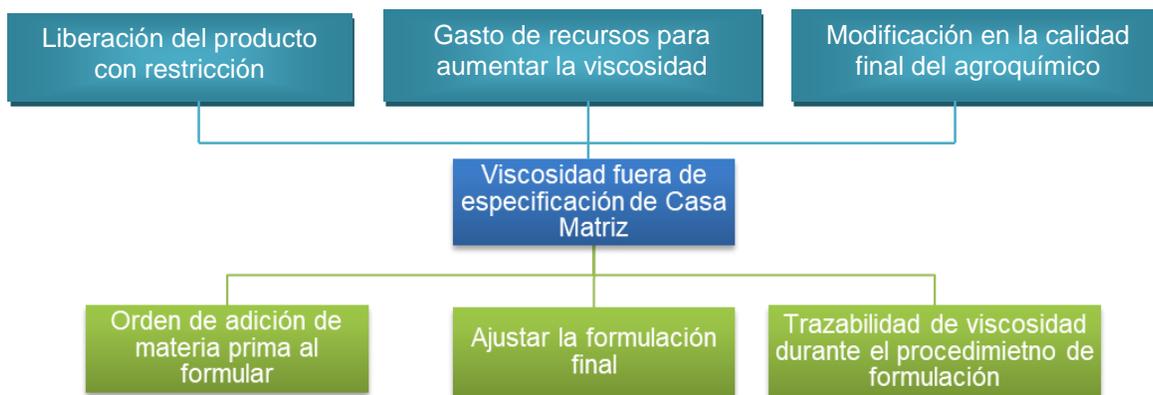
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Tabla de requisitos académicos**

Campo de conocimiento	Carrera	Áreas de formación	Asignatura	Temas
Ingeniería y tecnología	Ingeniería Química	Área de Química	Química 4	Mezclas homogéneas y heterogéneas
			Análisis cualitativo	Potencial de hidrógeno
		Área de Físicoquímica	Físicoquímica 1	Fenómenos de transporte
			Laboratorio de Físicoquímica 1	Viscosimetría
		Operaciones Unitaria	Balace de Masa y Energía	Balace de masa
			Flujo de fluidos	Propiedades reológicas de los fluidos
				Agitación de soluciones

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia