



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

**APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE UN  
FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO COMO PARÁMETROS  
DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA Y LAMINOCULTIVOS**

**Byron Geovany Yat Peláez**

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE UN  
FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO COMO PARÁMETROS  
DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA Y LAMINOCULTIVOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BYRON GEOVANY YAT PELÁEZ**

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

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	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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:

**APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE UN FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO COMO PARÁMETROS DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA Y LAMINOCULTIVOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 5 de mayo de 2017.



**Byron Geovany Yat Peláez**



Guatemala, 08 de septiembre de 2017

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Su Despacho

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el informe final del trabajo de graduación del estudiante universitario de la carrera de ingeniería química Byron Geovany Yat Peláez, quién se identifica con registro académico 201123056 y CUI 2400540401601, titulado: **"APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE UN FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO COMO PARÁMETROS DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA Y LAMINOCULTIVOS"**

Por tal motivo y para los usos que al interesado convenga extendiendo la presente, para que se continúe con los trámites respectivos.

Atentamente,

f.

Jorge Mario Estrada  
Ingeniero Químico  
Colegiado 685

Jorge Mario Estrada Astunza  
Ingeniero Químico Col. 685  
Profesor Titular  
Escuela de Ing. Química USAC





Guatemala, 14 de febrero de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.006.2018.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **117-2015** 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 Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Byron Geovany Yat Peláez**.  
Identificado con número de carné: **2400 54040 1601**.  
Identificado con registro académico: **2011-23056**.  
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:

**APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN  
DE UN FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO  
COMO PARÁMETROS DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA  
Y LAMINOCULTIVOS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

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. Jaime Domingo Carranza González  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación





Ref.EIQ.TG.005.2018

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 del estudiante, **BYRON GEOVANY YAT PELÁEZ** titulado: **"APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE UN FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO COMO PARÁMETROS DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA Y LAMINOCULTIVOS"** 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. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, marzo 2018

**FACULTAD DE INGENIERIA USAC**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DIRECTOR**

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



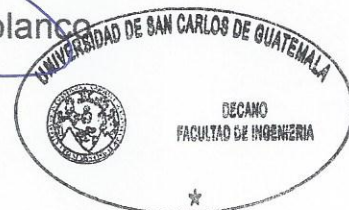
Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.112.2018

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: **APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE UN FUNGICIDA EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS, APLICANDO COMO PARÁMETROS DE CONTROL LOS ANÁLISIS DE BIOLUMINISCENCIA Y LAMINOCULTIVOS**, presentado por el estudiante universitario: **Byron Geovany Yat Peláez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*5/1/18*  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, abril de 2018

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Porque Él es el que da la sabiduría, el conocimiento y la inteligencia, es nuestro proveedor y sustentador en cada aspecto de la vida.

### **Mi familia**

Mi madre, María Hortencia Peláez, mi padre, José Naciaceno Yat, mis hermanos, José Luis, Juan José y Flor de María.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis padres</b>	Por ser ejemplo de sacrificio, responsabilidad y entrega en cada aspecto de su vida.
<b>Mis hermanos</b>	Quienes fueron mis motivadores y apoyo incondicional en todo momento.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Marcos Mayen, Edgar Pacay, Daniel Reyna, Ronald Echeverría, Gabriela Mayen, Narda Pacay, Oscar Rivera, Natalia Valdez, Mauricio Orantes, Ana Herrera, Stephanie Montenegro y Kevin González.
<b>Inga. Dorcas Morales</b>	Por sus consejos durante el tiempo que conviví junto a su familia.
<b>Ing. Jorge Mario Estrada</b>	Por motivarme a través de su pasión por el cuidado del medio ambiente a generar ideas de mejora para nuestro país.
<b>Ing. Orlando Posadas</b>	Por ser importante influencia en mi carrera.
<b>Ing. William Fagiani</b>	Por su apoyo y confianza durante el tiempo que estuve apoyándolo en su cátedra.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Agroquímicos.....	3
2.1.1. Fungicidas .....	5
2.1.1.1. Propamocarb HCl .....	5
2.1.1.2. Fluopicolide.....	6
2.2. Aguas residuales de agroquímicos.....	6
2.2.1. Reutilización de aguas residuales .....	7
2.2.1.1. Producción más limpia.....	7
2.2.1.2. Mejoramiento de la eficiencia de los procesos .....	8
2.2.1.3. Impacto económico.....	9
2.3. Residuos biológicos en agua residual .....	10
2.4. Métodos analíticos.....	11
2.4.1. Bioluminiscencia .....	11
2.4.1.1. Reacción de bioluminiscencia.....	12

2.4.1.2.	Unidades relativas de luminiscencia (URL).....	14
2.4.2.	Laminocultivos.....	15
2.4.2.1.	Detección de mohos y bacterias .....	17
2.4.2.2.	Rojo de bengala cloranfenicol .....	17
2.4.2.3.	TTC Agar.....	17
2.4.3.	Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) ....	18
2.4.4.	Cromatografía de gases (GC) .....	20
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables .....	23
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	24
3.3.	Recurso humano disponible.....	25
3.4.	Recursos materiales.....	25
3.4.1.	Cristalería .....	25
3.4.2.	Equipo .....	26
3.4.3.	Reactivos.....	26
3.5.	Técnica cuantitativa.....	26
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	27
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	29
3.8.	Análisis estadístico.....	29
4.	RESULTADOS.....	33
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	35
	CONCLUSIONES.....	39
	RECOMENDACIONES .....	41

BIBLIOGRAFÍA.....	43
APÉNDICES .....	45



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Molécula de propamocarb.....	5
2.	Molécula de fluopicolide.....	6
3.	Sistema de recirculación de aguas residuales.....	10
4.	Molécula de ATP.....	12
5.	Oxidación de la molécula de luciferina.....	13
6.	Análisis de bioluminiscencia.....	13
7.	Hisopo <i>aqua-trace</i> .....	14
8.	Relación directa del grado de contaminación con ATP y URL.....	14
9.	Muestreo de agua utilizando paletas sumergibles.....	16
10.	Comparación de medición de microorganismos.....	16
11.	Diagrama de equipo de un cromatógrafo de líquidos.....	20
12.	Diagrama de equipo de un cromatógrafo de gases.....	21
13.	Diagrama de flujo de procedimiento experimental.....	28
14.	Concentración de activos químicos en cada muestra.....	33

### TABLAS

I.	Límite de control recomendado para monitoreo de ATP en aguas residuales.....	15
II.	Límite de control recomendado para monitoreo de UFC de bacterias, mohos y levaduras.....	18
III.	Listado de variables del sistema.....	23
IV.	Listado de variables a manipular.....	23

V.	Matriz de toma de datos originales de concentración y pH.....	27
VI.	Matriz de toma de datos originales análisis microbiológicos.....	27
VII.	Concentración de activos químicos promedio en las muestras de agua residual .....	33
VIII.	Identificación del tiempo máximo de almacenaje a través de la medición de unidades relativas de luminiscencia .....	34
IX.	Identificación del tiempo máximo de almacenaje a través de la medición de unidades formadoras de colonias (bacterias).....	34
X.	Identificación del tiempo máximo de almacenaje a través de la medición de unidades formadoras de colonias (mohos y levaduras) ...	34



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>atm</b>	Atmósfera de presión
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>UFC</b>	Unidad formadora de colonias
<b>URL</b>	Unidad relativa de luminiscencia



## GLOSARIO

<b>Agroquímico</b>	Sustancia química que tiene como objetivo controlar, prevenir o destruir cualquier plaga para mantener y conservar los cultivos.
<b>Agua residual</b>	Es toda agua contaminada física, química o microbiológicamente que proviene de un proceso realizado por la actividad humana.
<b>ATP</b>	Adenosín trifosfato, está formado por adenina, ribosa y tres grupos fosfatos.
<b>Bioluminiscencia</b>	Producción de luz de ciertos organismos vivos que se genera como consecuencia de una reacción que transforma la energía química en energía lumínica.
<b>Fluopicolide</b>	Nombre comercial de la molécula agroquímica 2,6-dicloro-N-((3-cloro-5-(trifluorometil)-2-piridinil)metil) benzamida.
<b>Hisopo <i>aqua-trace</i></b>	Instrumento especializado para el muestreo de contaminación en aguas residuales; contiene un reactivo enzimático que se activa con la presencia de ATP.

<b>Laminocultivos</b>	Dispositivos especializados que contienen en su estructura dos distintos tipos de agar según el tipo de microorganismo que se desea analizar.
<b>Luminómetro</b>	Equipo tecnológico basado en la detección de ATP, molécula energética de todos los organismos vivos.
<b>Propamocarb</b>	Nombre comercial de la molécula agroquímica propil (3-dimetilamino) propil carbamato hidrociorado.
<b>UFC</b>	Acrónimo utilizado para unidades formadoras de colonias, comúnmente utilizado en microbiología.
<b>URL</b>	Unidad relativa de luminiscencia; es la cantidad de luz producida en la reacción de bioluminiscencia medida por el luminómetro.

## RESUMEN

Las aguas residuales, actualmente, han sido foco de atención por parte de las autoridades del país y de las diferentes empresas o personas individuales que las generan. A raíz de la problemática ambiental actual, uno de los avances significativos es la generación de parámetros mínimos que deben tener para ser desechadas hacia el alcantarillado público, ya que con esto se ha disminuido considerablemente la cantidad de contaminación presente en las ciudades y también en los ríos y lagos.

Las aguas residuales en una empresa que se dedica a la elaboración y envasado de productos agroquímicos, por su naturaleza, no cumple con las normas nacionales de desecho, por lo que se hace necesario evaluar alternativas para su reuso o tratamiento obligatorio, con el fin de cumplir con los parámetros en cuanto a su disposición final.

En el presente trabajo de investigación se analizaron las aguas residuales de un fungicida líquido para determinar si era factible su reutilización y el tiempo máximo en que podrían ser almacenadas para la siguiente formulación, por ser una empresa que no cuenta con una demanda fija de este producto. Su fin principal es evitar costos de tratamiento, además, al ser reutilizadas, se generan otros beneficios: su aprovechamiento como materia prima, al ser desmineralizada tiene un alto costo de producción, además de ahorro en energía.

Se utilizaron como parámetros de control dos métodos de análisis microbiológicos, el aplicar tecnología de última generación: laminocultivos y

bioluminiscencia; esta última con mucha aplicación en industria de alimentos como monitor de programas HACCP. En este caso, se utilizó para determinar de manera cuantitativa si el agua presentaba contaminantes como mohos, levaduras o bacterias.

Se determinó que estos eran los parámetros que debían ser evaluados debido a las especificaciones de casa matriz Bayer, ubicada en Alemania, ya que se cuentan con valores máximos para ambos métodos analíticos; para ser considerada la reutilización del agua como materia prima en una posterior formulación sin poner en riesgo la calidad del producto fungicida.

Al realizar los análisis respectivos a las aguas residuales del producto fungicida, se determinó que estas presentan crecimiento exponencial de bacterias al almacenarlas a 20 °C y 1 atm de presión, y los parámetros de control microbiológicos son excedidos al segundo día de ser extraídas y almacenadas. Por lo tanto, se concluyó que no era factible utilizarlas para una formulación que no se llevara a cabo el mismo día cuando fueran extraídas de los tanques de formulación.

Al no poder ser reutilizadas, se hizo la recomendación de aplicar métodos de tratamiento avanzados, precisamente una oxidación fotocatalizada, para evitar sus altos costos de incineración; además de evaluar otras alternativas de almacenamiento, favoreciendo la eliminación de los contaminantes microbiológicos y de esta manera, ampliar el tiempo cuando las mismas puedan ser reutilizadas.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Aprovechar las aguas residuales de la producción de un fungicida en una industria de agroquímicos aplicando como parámetros de control los análisis de bioluminiscencia y laminocultivos.

### **Específicos**

1. Establecer el grado de contaminación química promedio presente en el agua residual.
2. Determinar las unidades relativas de luminiscencia promedio presentes en el agua residual.
3. Determinar las unidades formadoras de colonias promedio presentes en el agua residual.
4. Establecer el tiempo máximo de almacenaje en que se genera la inutilización de las aguas residuales de la formulación de un fungicida analizando gráficamente el comportamiento de las unidades relativas de luminiscencia y las unidades formadoras de colonias en función del tiempo.





## **HIPÓTESIS**

Es factible aprovechar las aguas residuales de la producción de un fungicida en una industria de agroquímicos al aplicar como parámetros de control los análisis de bioluminiscencia y laminocultivos.

### **Hipótesis nula**

No es factible aprovechar las aguas residuales de la producción de un fungicida en una industria de agroquímicos al aplicar como parámetros de control los análisis de bioluminiscencia y laminocultivos.



## INTRODUCCIÓN

En las industrias de agroquímicos se presentan fuentes de contaminación que no pueden ser eliminadas de los procesos, tal es el caso de las aguas de lavado de tanques y accesorios utilizados en la formulación y envasado de productos; en este caso, la reutilización es el camino que se debe analizar para la disminución considerable de posibles tratamientos de alto costo.

Como toda industria manufacturera, esta genera alta producción de productos varios lo cual implica alta generación de desechos, también, tanto sólidos, líquidos como gaseosos, lo que genera un problema, el tratamiento para mitigar su impacto de contaminación ambiental.

La reutilización de las aguas residuales de agroquímicos es la manera más eficiente de disminuir los costos de tratamiento; además, esto implica que los desechos de la primera producción puedan ser utilizados como materia prima de la siguiente, reduciendo en gran medida los costos de producción; pero se deben de tomar ciertas consideraciones para que esto pueda ser llevado a cabo; existen restricciones ya que la calidad del producto no se debe poner en riesgo.

Para que las aguas de lavado puedan ser utilizadas en formulaciones posteriores se deben analizar varios factores: el primero es la concentración de activo presente, el pH; y el más importante, la contaminación microbiológica presente, ya que esta última estimula la rápida degradación de los componentes del agua, lo que provoca que estas ya no puedan ser utilizadas luego de un periodo de tiempo determinado.

El periodo de tiempo cuando las aguas de lavado llegan a un alto grado de contaminación microbológica es el primer paso a determinar para validar su reutilización, debido a que las formulaciones de los productos no son constantes, y se realiza el mismo producto una o dos veces por mes; por tal razón, es necesario establecer el tiempo durante el cual las aguas de lavado aún son reutilizables sin alterar de manera considerable la composición físico-química de los productos.

Para la determinación de la contaminación microbológica presente en las aguas de lavado y su aumento durante el tiempo, se utilizará la metodología conocida como bioluminiscencia que ayuda a detectar la presencia de microorganismos, tomando en cuenta el ATP, un compuesto orgánico presente en seres vivos y que reacciona en presencia de luciferina y O<sub>2</sub>; principio que será aprovechado en el presente estudio; además, se complementará el estudio microbiológico con laminocultivos, los cuales ayudan a determinar las unidades formadoras de colonias para obtener con certeza el comportamiento del crecimiento de microorganismos dentro de las muestras de agua analizada.

# 1. ANTECEDENTES

Estudios anteriores para trabajos de graduación han realizado análisis de contaminación a través del estudio de la bioluminiscencia en distintas industrias y procesos que presentan descomposición por la presencia de microorganismos; algunos se describen a continuación.

“Se ha evaluado la confiabilidad de la técnica de bioluminiscencia en la evaluación higiénica a nivel de pezonera, en comparación con evaluaciones microbiológicas de laboratorio lo que demuestra que esta técnica no sustituye las pruebas microbiológicas tradicionales, ya que esta solo monitorea el estado higiénico de las superficies para detectar la presencia de contaminación; por lo tanto, se necesita de la técnica tradicional para determinar y conocer los agentes microbiológicos presentes”<sup>1</sup>.

En otro estudio se verificó comparativamente, por el método de bioluminiscencia y el método tradicional, la limpieza y desinfección en una industria cosmética de Colombia; “se analizaron superficies denotadas como puntos críticos de control a través de ambos análisis; se obtuvo como resultado la no proporcionalidad entre URL’s y UFC’s ya que el primero no solo analiza el contenido de ATP microbiano”<sup>2</sup>.

En un estudio comparativo entre el método de bioluminiscencia y el recuento en placa, aplicado al control de calidad de bebida de malta y productos pasteurizados en una empresa de Bogotá, se determinó que “la bioluminiscencia permite obtener resultados en un corto periodo de tiempo, sin

---

<sup>1</sup> RAXÓN, Linda. *Determinación de la confiabilidad de la técnica bioluminiscencia en la evaluación higiénica a nivel de pezonera, en comparación con evaluaciones microbiológicas de laboratorio*. p. 35.

<sup>2</sup> CASTIBLANCO, Andrea. *Verificación comparativa por método de bioluminiscencia y método tradicional de la limpieza y desinfección en una industria cosmética*. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis127.pdf>. Consulta: 6 de abril de 2017.

embargo, no especifica cuantitativamente la población microbiana existente en una muestra determinada debido al ATP no microbiano presente en la muestra”<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> BURGOS, Cristina; MURILLO, Liliana; GUTIÉRREZ, Israel; ARIAS, Janteh. *Comparación de los métodos de bioluminiscencia y recuento en placa como control de calidad en producto terminado de bebida de malta y refrescos pasteurizados en una empresa de Bogotá D.C.* <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/23772/1/articulo43-7.pdf>. Consulta: 6 de abril de 2017.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Agroquímicos

Son sustancias químicas que tienen como objetivo controlar, prevenir o destruir cualquier plaga para mantener y conservar los cultivos. Estos productos son altamente tóxicos y nocivos para la salud de los organismos vivos, por lo que pueden ser potencialmente peligrosos y su manejo debe ser realizado con altas medidas de seguridad.

- Componentes de un agroquímico
  - Sustancia o ingrediente activo: es el componente que le confiere la acción biológica al agroquímico y es, además, el que contiene el efecto tóxico del producto.
  - Aditivos: son ingredientes inertes, o adyuvantes, que facilitan el transporte y sus características físicas y químicas de las formulaciones.
  - Adherentes: son adyuvantes destinados a aumentar la adherencia de un ingrediente activo.
  - Emulsionantes: son adyuvantes que permiten que el ingrediente activo se mezcle con el agua que forman una emulsión y aumenta su estabilidad.

- Humectantes: son adyuvantes que disminuyen la tensión superficial de un líquido que aumentan la tendencia de este a establecer contacto con la superficie de un sólido.

Los agroquímicos pueden ser clasificados desde varios puntos de vista: los organismos que controlan y su composición química.

- Según los organismos que controlan

Insecticidas, acaricidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas, molusquicidas, rodenticidas, fitoreguladores.

- Según su composición química

- Compuestos inorgánicos: derivados de cobre y mercurio, azufre, sales de zinc, magnesio y arsénico, cianuros, cloratos y boratos.
- Compuestos orgánicos: organofosforados, carbamatos, organoclorados, piretroides, triacinas, carbamatos, organomercuriales, dinitrofenoles, fenólicos, organobromados, organofluorados.

Dentro de la gama de agroquímicos se encuentran los fungicidas; por su alta producción, es de vital importancia su estudio para la reducción de desechos al procesarlos.



### 2.1.1. Fungicidas

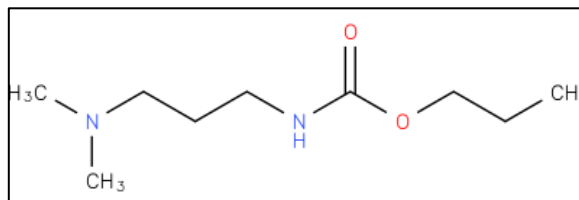
Son sustancias destinadas al control de hongos causantes de enfermedades en las plantas; esto genera bajo rendimiento y calidad en los cultivos. Además, disminuye que el periodo de almacenamiento y posibles toxinas que puedan causar enfermedades en los seres humanos.

Uno de los productos que se comercializa en gran manera es el que contiene ingredientes activos propamocarb HCl y fluopicolide.

#### 2.1.1.1. Propamocarb HCl

Acrónimo del compuesto propil 3-(dimetilamino) propil carbamato hidrociorado, utilizado en la formulación de productos fungicidas. Su fórmula química es  $C_9H_{21}ClN_2O_2$ , su forma física es un líquido viscoso de ligero color amarillo. No es considerado persistente, bioacumulativo y tóxico. Además, es rápidamente biodegradable. Su pH está en un rango de 2 a 4.

Figura 1. **Molécula de propamocarb**

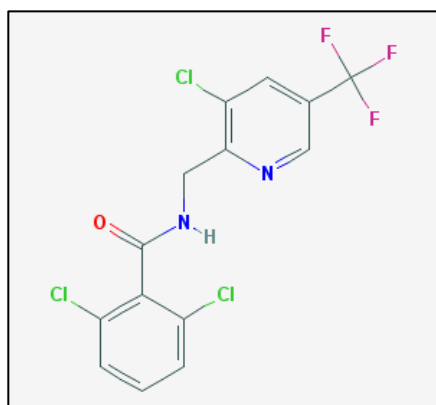


Fuente: *Moléculas*. <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propamocarb>. Consulta: 6 de abril de 2017.

### 2.1.1.2. Fluopicolide

Acrónimo del compuesto 2,6-dicloro-N-((3-cloro-5-(trifluorometil)-2-piridinil)metil) benzamida. Su fórmula química es  $C_{14}H_8Cl_3F_3N_2O$ , su estado físico es un sólido fino color beige. No es considerado persistente, bioacumulativo y tóxico, aunque no es rápidamente biodegradable. Su pH es de 6,5.

Figura 2. Molécula de fluopicolide



Fuente: *Moléculas*. <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propamocarb>. Consulta: 6 de abril de 2017.

## 2.2. Aguas residuales de agroquímicos

Es agua proveniente de los procesos de producción de este tipo de industria, estas regularmente no pueden ser evitadas debido a que para la mayoría de los procesos productivos el agua es una materia prima indispensable.

Las aguas residuales de agroquímicos tienen una particularidad, en su gran mayoría, presentan alto grado de contaminación química y microbiológica, lo que implica alto costo de tratamiento.

### **2.2.1. Reutilización de aguas residuales**

Esta actividad está estrechamente relacionada con la producción más limpia y con los beneficios que representa al medio ambiente. Al reutilizar las aguas residuales se generan los siguientes beneficios:

- Producción más limpia
- Mejoramiento de la eficiencia de los procesos
- Control de contaminantes industriales
- Impacto económico

#### **2.2.1.1. Producción más limpia**

Este concepto se refiere a una estrategia ambiental preventiva para la minimización de residuos y/o emisiones al medio ambiente por parte de las industrias y disminución de costos de tratamiento de residuos por la actividad productiva. Genera beneficios como:

El ahorro de materias primas, agua y energía. La reducción de cantidad y peligrosidad de los residuos y las emisiones contaminantes. Además, contribuye al desarrollo sostenible.

Hasta ahora, las tecnologías ambientales convencionales han trabajado principalmente en el tratamiento de desechos y emisiones existentes, por ejemplo: tratamiento de aguas residuales, tratamiento de lodos, incineración de

desechos, entre otros. Esto se caracteriza, especialmente, por los gastos adicionales para la empresa al final del proceso por la correcta gestión de los residuos.

Comparada con la eliminación por servicios externos o tecnologías de tratamiento, presenta varias ventajas:

- La producción más limpia presenta un potencial de soluciones para mejorar la eficiencia económica de la empresa pues contribuye a reducir la cantidad de materiales y energía usados.
- La minimización de desechos y emisiones generalmente induce un proceso de innovación dentro de las empresas.
- La responsabilidad ambiental se ve fortalecida.
- La minimización de desechos y emisiones es un paso hacia un desarrollo económico sostenible.

#### **2.2.1.2. Mejoramiento de la eficiencia de los procesos**

Este aspecto es un pilar importante en la industria. Se refiere a la generación de procesos altamente efectivos en calidad. Hace énfasis en su velocidad y orden, esto se logra a través de un programa de mejora continua.

La eficiencia también se mide por los costos de producción, lo cual lleva consigo los costos de mano de obra, materia prima, empaques, energía y gestión de residuos. En los aspectos antes mencionados, la gestión de residuos

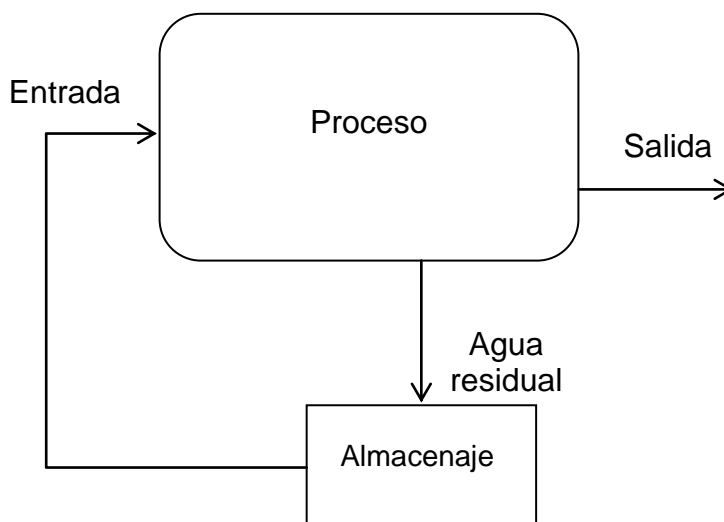
es un factor determinante, por lo que su mitigación es un paso importante en la disminución de costos y el desarrollo sostenible.

### **2.2.1.3. Impacto económico**

Al reutilizar el agua lo que se provoca es su recirculación dentro del mismo proceso, lo que genera ahorro económico en cinco aspectos importantes.

- Agua: la demanda de agua utilizada en la producción se ve directamente afectada ya que disminuye la cantidad a la entrada del proceso.
- Insumos: existe una disminución del requerimiento de insumos debido a que el agua contiene activos y aditivos provenientes de una formulación anterior, por lo que a gran escala el ahorro es significativo.
- Menos desechos: al reutilizar antes que tratar se obtiene una significativa disminución en la cantidad de desechos producidos por la actividad industrial.
- Eliminación de tratamiento: al eliminar los desechos, al mismo tiempo, se elimina la necesidad de realizarles un tratamiento y su costo que actualmente es elevado.
- Energía: por ser el agua desmineralizada se genera un gran ahorro en su tratamiento previo.

Figura 3. **Sistema de recirculación de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3. **Residuos biológicos en agua residual**

“Sólo porque en las aguas de lavado estén presentes moléculas orgánicas de agroquímicos, no significa que estén libres de contaminación biológica. Los microorganismos, las biopelículas y otros residuos orgánicos se alimentan de las moléculas orgánicas presentes en las aguas residuales”<sup>4</sup>.

Debido al contenido de moléculas orgánicas, provenientes de la producción de agroquímicos, que presentan las aguas de lavado de tanques y accesorios donde se formulan estos productos, sus microorganismos tienden a su rápido crecimiento, y como se sabe, éste es exponencial y genera un problema conocer el grado de contaminación microbiológica que las aguas presentan en un determinado periodo de tiempo, ya que por ser las bacterias de

<sup>4</sup> GLASSBROOK, Norman; KRÜGER, Martin. *Cleanliness monitoring of water and surfaces with 3M Clean-Trace™, ATP monitoring systems by Biological Method*. p. 4-11.

tamaño del orden  $10^{-6}$ m, no se ven a simple vista y no se pueden cuantificar con facilidad.

En la actualidad, existen distintos métodos analíticos para cuantificar de manera aproximada la cantidad de microorganismos presentes en una determinada muestra como bioluminiscencia y laminocultivos.

## **2.4. Métodos analíticos**

### **2.4.1. Bioluminiscencia**

“Es un fenómeno muy extendido en todos los niveles biológicos, y consiste en la producción de luz de ciertos organismos vivos que se genera como consecuencia de una reacción que transforma la energía química en energía lumínica”<sup>5</sup>.

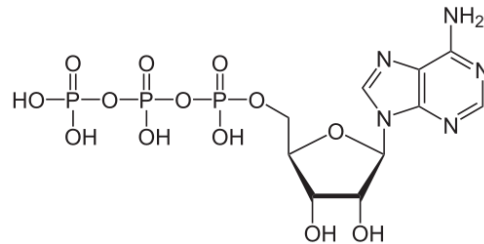
Este fenómeno se da como resultado de la interacción de un reactivo enzimático llamado luciferasa, en presencia de oxígeno, y luciferina. Esta reacción utiliza como fuente de energía el ATP. Por consecuencia, es necesario tener organismos vivos o restos celulares de donde provenga esta molécula orgánica.

El ATP está formado por adenina, ribosa y tres grupos fosfatos. Contiene enlaces de alta energía entre los grupos fosfato. que al romperse liberan la energía almacenada.

---

<sup>5</sup> KYRIAKIDES, Albert; PATEL, Peter. *Rapid hygiene monitoring using ATP bioluminescence*. [Control rápido de la higiene mediante el uso de bioluminiscencia de ATP]. p. 22.

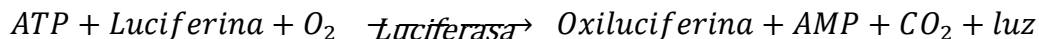
Figura 4. **Molécula de ATP**



Fuente: *Molécula de ATP*. [http://www.coenzima.com/adenosina\\_trifosfato\\_atp](http://www.coenzima.com/adenosina_trifosfato_atp). Consulta: 26 de agosto de 2016.

La bioluminiscencia es una medida indirecta de la cantidad de microorganismos presentes en determinada muestra, ya que mide la emisión de luz que se genera por la reacción de oxidación de la luciferina.

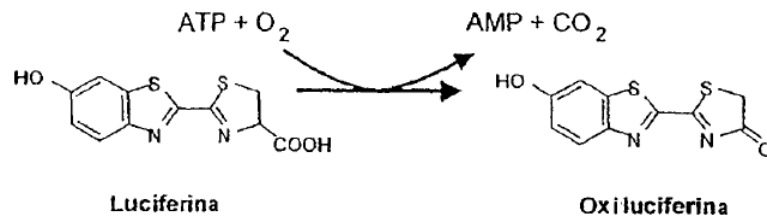
#### 2.4.1.1. **Reacción de bioluminiscencia**



En esta reacción una luciferina es oxidada, mientras que la luciferasa actúa como catalizador, lo que permite que la luciferina se combine con el oxígeno para oxidar la molécula; los átomos de esta quedan excitados debido a la energía absorbida. La energía que emiten los átomos de luciferina al volver a su estado fundamental se liberan en forma de fotones, que se percibe como luz visible. Finaliza el proceso produciéndose oxiluciferina, que es la molécula oxidada de la luciferina inicial.



Figura 5. **Oxidación de la molécula de luciferina**



Fuente: *Oxidación de la molécula de lucifera*. [www.quimicamontevideo.blogspot.com/2012/05/bioluminiscencia](http://www.quimicamontevideo.blogspot.com/2012/05/bioluminiscencia). Consulta: 26 de agosto de 2016.

Para la realización de ésta prueba es necesario únicamente contar con un hisopo especial, contenedor de reactivo enzimático, el cual es sumergido en el agua residual, previamente homogenizada, para luego este ser analizado en el laboratorio con ayuda de equipo especializado en el estudio de la bioluminiscencia, llamado luminómetro, el cual genera como resultado unidades relativas de luminiscencia, que es una medida de luz emitida por la reacción antes descrita. De esta forma se puede medir la concentración de ATP en un volumen dado de agua.

Figura 6. **Análisis de bioluminiscencia**



Fuente: *análisis de bioluminiscencia*. [www.ictsl.net/productos/](http://www.ictsl.net/productos/). Consulta: 26 de agosto de 2016.

El ATP recolectado con el hisopo brinda la energía necesaria para que la reacción se lleve a cabo, al utilizar el sistema luciferina-luciferasa descrito anteriormente.

Figura 7. **Hisopo *aqua-trace***

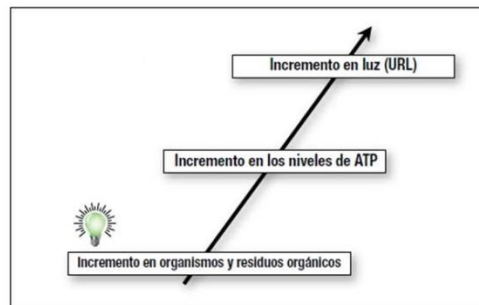


Fuente: 3M<sup>TM</sup> *Sistemas de Administración de Higiene*. [www.clean-trace.com/](http://www.clean-trace.com/). Consulta: 26 de agosto de 2016.

#### 2.4.1.2. **Unidades relativas de luminiscencia (URL)**

La cantidad de luz, como la mide el luminómetro, se expresa en URL's o unidades relativas de luminiscencia. La figura 8 ilustra la relación simple que existe entre el valor de URL y el grado de contaminación microbiológica presente en determinada muestra.

Figura 8. **Relación directa del grado de contaminación con ATP y URL**



Fuente: 3M<sup>TM</sup> *sistemas de administración de higiene*. [www.clean-trace.com/](http://www.clean-trace.com/). Consulta: 26 de agosto de 2016.

Tabla I. **Límite de control recomendado para monitoreo de ATP en aguas residuales**

Límite	Niveles de contaminación
≤ 25 URL	Limpio
26 – 100 URL	Bajo
101 – 300 URL	Moderado
≥ 300 URL	Alto

Fuente: elaboración propia.

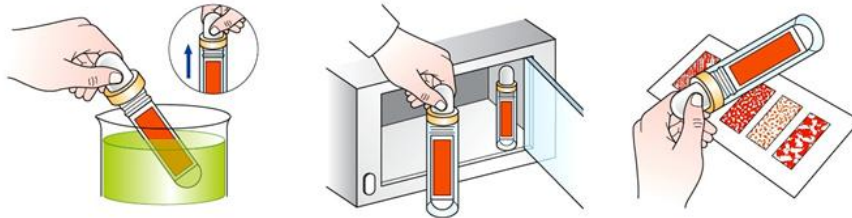
“Esta medida es interesante porque la concentración de ATP decae rápidamente en las células muertas, de forma que se obtiene una buena aproximación del grado de contaminación por microorganismos vivos”<sup>6</sup>.

#### 2.4.2. Laminocultivos

Este método es utilizado para determinar semicuantitativamente el número y tipo de microorganismos presentes en determinada muestra de agua. Esto se realiza mediante el uso de unos dispositivos tipo paleta los cuales contienen dos diferentes medios de cultivo, dependiendo del tipo de microorganismo que se desea analizar. La forma de muestreo de agua es la que se ilustra en la figura 9.

<sup>6</sup> KYRIAKIDES, Albert; PATEL, Peter. *Rapid hygiene monitoring using ATP bioluminescence*. [Control rápido de la higiene mediante el uso de bioluminiscencia de ATP]. p. 22.

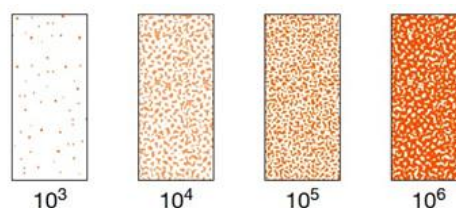
Figura 9. **Muestreo de agua utilizando paletas sumergibles**



Fuente: *Microbiología y biotecnología*. [www.clean-trace.com/](http://www.clean-trace.com/). Consulta: 26 de agosto de 2016.

La metodología de análisis empieza identificando las muestras de agua que serán evaluadas. Luego, se introduce la paleta dentro de la misma para que de esta manera los microorganismos sean depositados en el agar para su crecimiento. Después, se limpia el exceso de agua en la paleta con ayuda de una toalla desechable. Posterior a esto se introducen las paletas a una incubadora a una temperatura de 30 °C, esta es idónea para el crecimiento de microorganismos, los cuales serán el centro de estudio. El tiempo de incubación es de 48 horas. Luego, son extraídas las paletas y comparadas con tablas de crecimiento dadas por los proveedores de éstos dispositivos. Por tal razón, se dice que es un método semicuantitativo.

Figura 10. **Comparación de medición de microorganismos**



Fuente: *Biología, microbiología y biotecnología*. [www.clean-trace.com/](http://www.clean-trace.com/). Consulta: 26 de agosto de 2016.

Los dos diferentes medios de cultivo que serán utilizados dependen directamente del tipo de microorganismo que se desea detectar. Se pueden hacer dos estudios al mismo tiempo por la facilidad de tener una paleta para muestrear.

#### **2.4.2.1. Detección de mohos y bacterias**

Las aguas residuales de agroquímicos presentan estas dos formas de vida, por tal razón su estudio es de vital importancia para determinar su tiempo máximo de almacenaje. Los medios de cultivo utilizados para la detección de estos microorganismos son dos: el primero es para detección de mohos llamado rojo de bengala cloranfenicol y el segundo para detección de bacterias conocido como TTC agar.

#### **2.4.2.2. Rojo de bengala cloranfenicol**

Se utiliza para el recuento selectivo de mohos y levaduras. Su composición química por litro es: poplipeptona micológica (5 g), glucosa (10 g), sulfato de magnesio (0,5 g), fosfato potásico (1 g), rosa de bengala (0,6 g), cloranfenicol (0,2 g) y agar-agar (15 g).

#### **2.4.2.3. TTC Agar**

Este medio de cultivo proporciona los nutrientes suficientes para permitir que una amplia variedad de microorganismos puedan crecer. Generalmente, se utiliza para la detección de bacterias. Su composición química por litro es: triptona (15 g), soytone (5 g), cloruro de sodio (5 g) y agar-agar (15 g).

Tabla II. **Límite de control recomendado para monitoreo de UFC de bacterias, mohos y levaduras**

Agua		Niveles de contaminación
Bacterias	Mohos/Levaduras	
$\leq 100$ UFC/ml	$< 100$ UFC/ml	Limpio
$\leq 10^3$ UFC/ml	100 UFC/ml	Bajo
$\leq 10^4$ UFC/ml	$\leq 10^3$ UFC/ml	Moderado
$\geq 10^6$ UFC/ml	$\geq 10^4$ UFC/ml	Alto

Fuente: elaboración propia.

Además del grado de contaminación microbiológica es necesario determinar el grado de contaminación química.

- Análisis de concentración

Se realiza mediante el uso de los equipos electrónicos especializados: HPLC y GC.

### 2.4.3. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

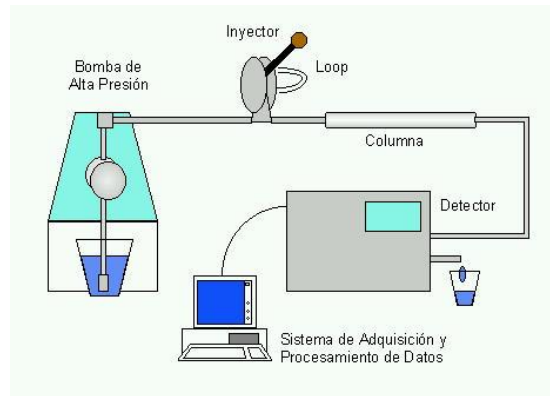
Este tipo de análisis se utiliza para determinar el porcentaje de concentración presente de un compuesto en determinada muestra, la cual funciona inyectando la muestra a través de una columna de separación cromatográfica, la cual, en el caso de líquidos contiene en su interior un filtro compuesto por esferas selectivas en donde se lleva a cabo la separación de los componentes de una muestra.

Esta separación es llevada a cabo para determinar de forma selectiva el porcentaje de concentración de un determinado componente de una sustancia, con base en un estándar preparado, previamente calibrado, el cual representa el 100 % de la sustancia analizada.

El equipo utilizado para el análisis cromatográfico contiene 5 partes importantes:

- Bomba: este dispositivo es utilizado para mantener un flujo constante a través de la columna de separación.
- Inyector: realiza el trabajo de succión de la muestra a analizar y la deposita a la entrada de la columna.
- Conducciones y conexiones: importantes en la puesta en marcha del cromatógrafo, para unir la bomba con la columna y esta última con el detector; de manera de no dejar escapar parte del líquido o de volver a mezclar los componentes separados en la columna.
- Columna: este dispositivo es en donde se lleva a cabo la separación de los diferentes componentes de una muestra analizada. Existen diferentes tipos, los cuales varían en diámetro, longitud y tamaño de partícula del relleno del filtro.
- Detector: como su nombre lo indica, este componente detecta una característica de la sustancia analizada en una muestra y de esta forma envía una señal a la computadora para calcular mediante integración de la curva de salida la cantidad de dicha sustancia en porcentaje, comparándola con un estándar previamente calibrado.

Figura 11. Diagrama de equipo de un cromatógrafo de líquidos



Fuente: *Cromatografía líquida*. [http://jenrodte.wordpress.com/2011/11/25/cromatografia\\_liquida](http://jenrodte.wordpress.com/2011/11/25/cromatografia_liquida).

Consulta: 26 de agosto de 2016.

#### 2.4.4. Cromatografía de gases (GC)

En la cromatografía de gases se inyecta una pequeña cantidad de muestra a separar en una corriente de gas inerte a elevada temperatura. Esta corriente de gas atraviesa una columna cromatográfica que separa los componentes de la muestra por medio de un mecanismo de partición para luego pasar por un sistema de detección.

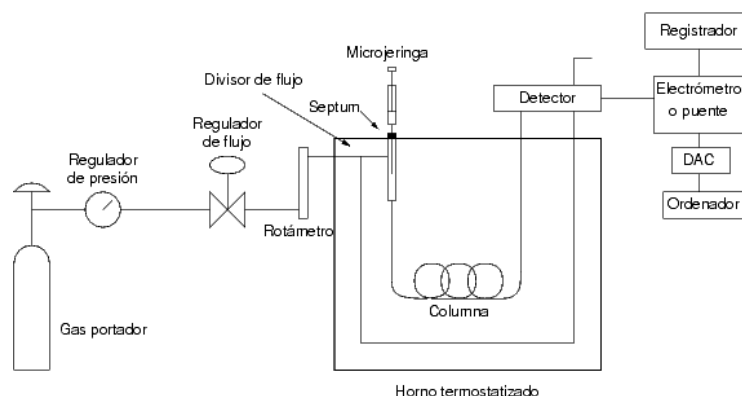
El equipo utilizado para el análisis cromatográfico contiene 4 partes importantes:

- Fuente de gas: utilizado como medios portadores, estos no afectan la separación en la columna, ya que no tienen ninguna influencia sobre los procesos de sorción-desorción.



- Sistema de inyección: tiene como misión vaporizar la muestra a analizar e introducirla hacia la corriente de gas portador que se dirige hacia la columna.
- Horno: tiene como misión mantener la columna a una temperatura fijada con gran precisión.
- Columna cromatográfica: este elemento es en el que se lleva a cabo la separación de los componentes que contiene una muestra. Su forma física es un tubo enrollado que se coloca dentro del horno, dentro del cual se encuentra la fase estacionaria o de separación.
- Sistema de detección: se encuentra localizado a la salida de la columna. Su fin es detectar los componentes de la muestra, separados, que responden ante alguna propiedad de la misma o alguna sustancia analizada.

Figura 12. Diagrama de equipo de un cromatógrafo de gases



Fuente: *Cromatografía de gases*. [www.e-medida.es/documentos/Numero-10/cromatografia-de-gases](http://www.e-medida.es/documentos/Numero-10/cromatografia-de-gases). Consulta: 26 de agosto de 2016.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Tabla III. Listado de variables del sistema

Núm.	Variable	Dimensional	Dependiente	Independiente
1	Tiempo	día	X	
2	Luminiscencia	URL	X	
3	Microbiología	UFC	X	
4	pH	adimensional		X
5	Concentración	ppm		X
6	Temperatura	°C		X
7	Presión	atm		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Listado de variables a manipular

Núm.	Variable	Dimensional	Rango de variación
1	Tiempo	día	1 < día > 5
2	Luminiscencia	URL	1 < URL > 1500
3	pH	adimensional	6 < pH > 8
4	Concentración	ppm	1 < ppm > 30000

Fuente: elaboración propia.

- Variable respuesta

Es el número máximo de unidades relativas de luminiscencia y unidades formadoras de colonias que puede contener el agua para considerarse reutilizable y el tiempo promedio en que se obtiene ese máximo.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

- Área: plaguicidas.
- Industria: agroquímicos.
- Activos Químicos: propamocarb hidrociorado y fluopicolide.
- Clasificación según código CIIU: sección: C, división: 20, grupo: 202 y clase: 2021.
- Clasificación según organismos que controla: fungicida.
- Según su composición química: carbamato en el caso de propamocarb y benzamida en el caso del fluopicolide.
- Proceso: formulación de suspensiones concentradas en tanques con agitación y sistema de refrigeración.
- Etapa del proceso: lavado de tanques y accesorios utilizados en los procesos de formulación de fungicidas líquidos.
- Ubicación: se realizará el estudio en el área de formulación de suspensiones concentradas, en la planta de agroquímicos Bayer, S.A. km. 29,5 carretera al pacífico.
- Condiciones ambientales: los análisis de laboratorio se realizarán a una temperatura estándar estable de 20 °C.

### **3.3. Recurso humano disponible**

La realización del proceso se llevará a cabo en la planta de producción, donde se tendrá el apoyo del personal de la institución del área de formulación de líquidos y control fisicoquímico de calidad.

- Investigador: Byron Geovany Yat Peláez.
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias.
- Coasesores en planta: Ing. Erick Fernando Velásquez, Lic. Qco. Hugo Alejandro Solórzano.
- Analistas de laboratorio: Br. Oliver Alexander Rivera, Br. Sergio Estuardo Rodríguez, Br. Brian Estuardo Moreno.

### **3.4. Recursos materiales**

#### **3.4.1. Cristalería**

- *Beackers*
- Probetas
- Pipetas
- Balones aforados
- Varillas de agitación

### **3.4.2. Equipo**

- Balanza analítica
- Termómetro
- Potenciómetro
- Cromatógrafo HPLC
- Cromatógrafo GC
- Luminómetro
- Hisopos *aqua-trace*
- Incubadora
- Paletas sumergibles (*envirocheck contact slides*)
- Equipo de protección personal

### **3.4.3. Reactivos**

- Metanol
- Buffer de KCl
- Isocianato
- Estándar de activo propamocarb HCl
- Estándar de activo fluopicolide

## **3.5. Técnica cuantitativa**

La investigación consiste en la realización de pruebas en laboratorio físico-químico de control de calidad para caracterizar cuantitativamente la concentración, pH, densidad, unidades relativas de luminiscencia (URL) y unidades formadoras de colonias (UFC) de las aguas de lavado de equipo de formulación.

Se realizarán análisis de pH y concentración inicial del agua de lavado al momento de ser extraída de los tanques y accesorios de formulación. A partir de esa fecha, se procederá a la medición de unidades relativas de luminiscencia y unidades formadoras de colonias semanales para determinar su tendencia a través de gráficas y correlaciones, hasta llegar al valor máximo recomendado que indica alto grado de contaminación, por ende, el agua ya no puede ser reutilizada después de este periodo de tiempo.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Tabla V. **Matriz de toma de datos originales de concentración y pH**

Fecha de muestreo: _____		Número de muestra: _____	
Fecha de análisis	pH	Concentración de activo propamocarb HCl [ppm]	Concentración de activo Fluopicolide [ppm]

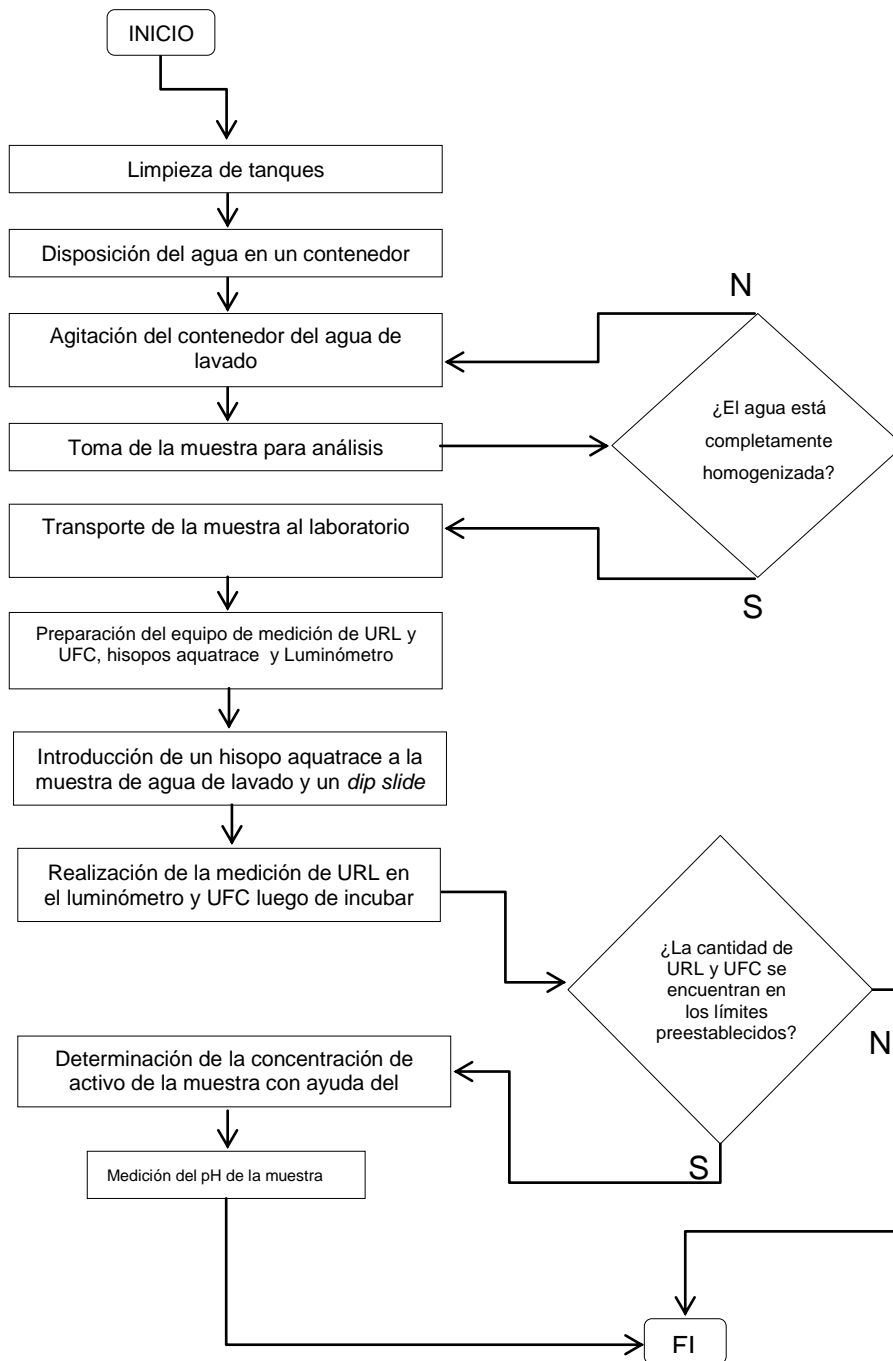
Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Matriz de toma de datos originales análisis microbiológicos**

Luminiscencia	Laminocultivos	
	TTC Agar	Rojo de bengala

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Diagrama de flujo de procedimiento experimental



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.



### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

Se realizará análisis estadístico y gráficas de tendencia para visualizar el comportamiento aproximado de crecimiento o decremento de bacterias dentro de las aguas residuales analizadas.

Se determinará una correlación matemática para cada una de las gráficas, para establecer la posible diferencia en el crecimiento bacteriano en distintas aguas de limpieza analizadas, realizando una comparación en el comportamiento a través de la razón de cambio del crecimiento de bacterias.

Las correlaciones matemáticas deberán corresponder al mismo orden en todas las muestras (el que mejor se ajuste a  $r^2 \approx 1$ ).

### **3.8. Análisis estadístico**

Herramienta de análisis que ayuda a determinar la representatividad de las mediciones y datos analizados y para dar una idea general del comportamiento de un conjunto de mediciones cuantitativas a través de valores numéricos y tendencias gráficas.

- Determinación de corridas a realizar

Para determinar la precisión y confiabilidad de los resultados se procede a calcular el número de datos que se deben tomar, para alcanzar los objetivos y así cumplir con un intervalo significativo de confianza. Se utilizó una probabilidad de éxito del 95 %, por lo que la probabilidad de fracaso es de 5 %, el valor estadístico de la curva normal para estos valores es de 1,96.

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

$$n = z^2 pq / e^2$$

Donde:

- n= número de corridas
- z= valor estadístico de la curva normal de frecuencias
- p= probabilidad de éxito
- q= probabilidad de fracaso
- e= porcentaje de error esperado

$$n = (1,96)^2(0,95)(0,05) / (0,20)^2$$

$$n = 4,56 \approx 5$$

El número de corridas a realizar es de 5.

- Media

Determina el valor promedio dentro de un conjunto finito de datos, se calcula a través de la siguiente expresión:

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

La media brinda una idea de la focalización del conjunto de datos de un fenómeno de estudio.

- Desviación estándar

Cuantifica el rango de dispersión de un conjunto de datos con base en la media o promedio:

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

- Plan de análisis de resultados
  - Métodos y modelos de los datos según tipos de variables

Se realizarán gráficas de tendencia, relacionando las unidades variables relativas de luminiscencia y unidades formadoras de colonias medidas con respecto al tiempo, además de determinar una correlación matemática del crecimiento bacteriano con respecto al tiempo.

- Programas a utilizar para análisis de datos
- Microsoft Excel: para la realización de ordenamiento de la información, obtención de gráficas y correlaciones matemáticas.
- Microsoft Word: tabulación y ordenamiento de los resultados.



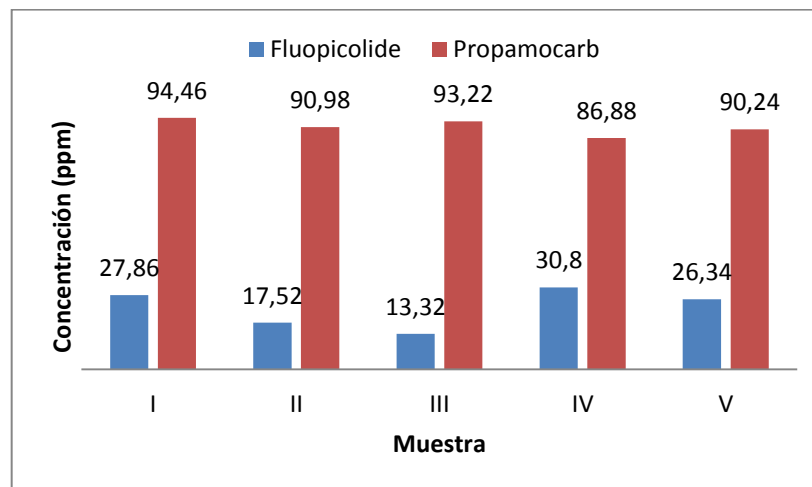
## 4. RESULTADOS

Tabla VII. **Concentración de activos químicos promedio en las muestras de agua residual**

Activos químicos	Muestra				
	I	II	III	IV	V
Fluopicolide (ppm)	27,86	17,52	13,32	30,8	26,34
Propamocarb HCl (ppm)	94,46	90,98	93,22	86,88	90,24

Fuente: elaboración propia

Figura 14. **Concentración de activos químicos en cada muestra**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Identificación del tiempo máximo de almacenaje a través de la medición de unidades relativas de luminiscencia**

Día	Muestra				
	I	II	III	IV	V
0	75	88	62	54	32
1	135	253	324	432	69
2	288	678	532	893	376
3	995	1 124	856	1 543	923
4	2 218	2 112	1 816	2 435	1 986

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Identificación del tiempo máximo de almacenaje a través de la medición de unidades formadoras de colonias (bacterias)**

Día	Muestra				
	I	II	III	IV	V
0	$10^3$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^3$
1	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^5$	$10^4$
2	$10^5$	$10^5$	$10^6$	$10^5$	$10^6$
3	$10^7$	$10^7$	$10^7$	$10^7$	$10^7$
4	$10^7$	$10^7$	$10^7$	$10^7$	$10^7$

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Identificación del tiempo máximo de almacenaje a través de la medición de unidades formadoras de colonias (mohos y levaduras)**

Día	Muestra				
	I	II	III	IV	V
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los análisis realizados a 5 muestras de agua residual de la producción de un fungicida, como se muestran en la tabla VII indica que esta contiene valores de concentración de activos químicos en un rango de [86,88 – 94,46] ppm para el ingrediente activo propamocarb hidrociorado, y de [13,32 – 30,8] ppm para el ingrediente activo fluopicolide. Dichos valores son considerados como trazas del producto, según casa matriz de la empresa. La cantidad de agua utiliza un valor estándar en cada limpieza que es realizada igual a 2  $m^3$ .

Al analizar los valores de URL obtenidos mediante el método de bioluminiscencia, se visualiza en la tabla VII, que esta describe un comportamiento exponencial de crecimiento de los mismos al transcurrir los días de muestreo. Se verificó el primer día en todos los casos valores inferiores a 300 URL, este fue el valor máximo permisible para considerar el agua residual como reutilizable. Al segundo día, estos valores exceden este parámetro, por lo tanto, no se recomienda su uso en una posterior formulación.

La variación existente entre las muestras analizadas mediante bioluminiscencia se debería a que el reactor tipo batch donde se lleva a cabo la formulación del producto fungicida es utilizado también para la elaboración de otros productos, algunos de los cuales contienen espesantes como goma Xantan. Entonces, al no realizarse una limpieza eficiente, podrían arrastrarse trazas de este producto al agua residual analizada, con lo que los valores de unidades relativas de luminiscencia serían de mayor magnitud comparada con otras muestras que no fueran afectadas por este espesante.

Los valores de unidades formadoras de colonias obtenidos mediante el uso de laminocultivos contenedores de agar se muestran en la tabla X. Estos valores describen un comportamiento de crecimiento exponencial de bacterias dentro de las diferentes muestras de agua residual. Al analizar dichos valores se constata que el agua al momento de ser extraída cumple con el valor brindado por la casa matriz como parámetro de evaluación de reutilizable, estos inferiores son a  $10^6$  UFC/ml, pero al transcurrir el segundo día de almacenaje el agua ya no puede ser considerada para reúso debido a su rápido aumento de bacterias.

En los análisis realizados, los valores de UFC para mohos y levaduras fueron cero en todos los casos y al transcurrir los días, como se muestra en la tabla XI, esto se debe a que el producto agroquímico analizado tiene función fungicida, aún a valores de baja concentración se pudo observar su efectividad en el control y eliminación de estos microorganismos.

Otro aspecto importante que se verificó es que el agua residual, aun siendo altamente tóxica para un gran porcentaje de seres vivos, no impide el crecimiento de formas de vida, en este caso para algunas bacterias, las cuales pueden subsistir bajo estas condiciones tomando como alimento las trazas de los diferentes productos químicos que son añadidos para su formulación.

Se observa también que tanto los valores de URL y UFC de los dos métodos analíticos empleados generaron valores no correspondientes de crecimiento microbiológico exponencial, véase tablas IX y XII, por lo cual se ratifica la teoría sobre ambos, los cuales han sido objeto de estudio para evaluar si pueden ser útiles o no en el monitoreo de contaminación bacteriana en aguas residuales. Con base en los datos obtenidos, no puede utilizarse cualquiera de los dos métodos para evaluar la factibilidad de reúso del agua



residual del fungicida que ha sido objeto de estudio en la presente investigación. Deben utilizarse ambos para obtener mayor certeza del estado de contaminación microbiológica.



## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la contaminación química se debe a la presencia de propamocarb HCl en un rango de [13,32 – 30,8] ppm y fluopicolide en un rango de [86,88 – 94,46] ppm.
2. Las unidades relativas de luminiscencia promedio presentes en el agua residual están dentro de un rango de [32 – 2 435] URL.
3. Las unidades formadoras de colonias promedio presentes en el agua residual están dentro de un rango de [ $10^3$  -  $10^7$ ] UFC.
4. El tiempo máximo de almacenaje bajo las condiciones dadas es de 1 día.



## RECOMENDACIONES

1. Evitar la mezcla de aguas residuales de diferentes productos, los cuales al tener diferentes características y activos químicos generarán una mayor complejidad en cuanto a su tratamiento y su disposición final.
2. Variar condiciones de almacenamiento de las muestras de agua residual para evaluar la mitigación del crecimiento microbiano, al añadir un biocida o variar la temperatura y el impacto solar directo en la bodega de almacenamiento.
3. Realizar muestreos microbiológicos en los tanques de formulación del producto estudiado. Evaluar el crecimiento y la posible influencia de los mismos en el crecimiento bacteriológico.
4. Crear un programa de investigación para la creación de un tren de tratamiento para las aguas residuales para evitar su incineración.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUAYO, Fernando; WOLF Maige; MOLINOS, Sergio; SOISSA Horacio. *Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas*. [en línea]. <<http://www.sigweb.cl/biblioteca/ManualPlagicidas.pdf>>. [Consulta: 6 de abril de 2017].
2. BURGOS, Cristina; MURILLO, Liliana; GUTIÉRREZ, Israel; ARIAS, Janteh. *Comparación de los métodos de bioluminiscencia y recuento en placa como control de calidad en producto terminado de bebida de malta y refrescos pasteurizados en una empresa de Bogotá D.C.* [en línea]. <<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/23772/1/articulo43-7.pdf>>. [Consulta: 6 de abril de 2017].
3. CASTIBLANCO, Andrea. *Verificación comparativa por método de bioluminiscencia y método tradicional de la limpieza y desinfección en una industria cosmética*. [en línea]. <<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis127.pdf>>. [Consulta: 6 de abril de 2017].
4. GLASSBROOK, Norman; KRÜGER, Martin. *Cleanliness monitoring of water and surfaces with 3M Clean-Trace™, ATP monitoring systems by Biological Method, [Monitoreo de limpieza de agua y superficies con 3MClean-Trace™, sistemas de monitoreo por método biológico]*. México: McGraw-Hill, 2015. 420 p.

5. GLASSBROOK, Norman; KRÜGER, Martin. *Microbiological examination of water and aqueous material – enumeration using dip slides*. Alemania: Bayer CropScience, 2012. 12 p.
6. KYRIAKIDES, Albert. *Rapid hygiene monitoring using ATP bioluminescence*. Londres, Inglaterra: 1991. 522 p.
7. MINAGRI. *Fabricación de plaguicidas*. Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile, 2015. 447 p.
8. Museo Nacional de Ciencias Naturales, España. *Cromatografía líquida de alta eficacia*. [en línea]. <[http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es\\_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia\\_liquida\\_de\\_alta\\_eficacia.pdf](http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_liquida_de_alta_eficacia.pdf)>. [Consulta: 14 de abril de 2017].
9. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 540 p.
10. RAXÓN, Linda. *Determinación de la confiabilidad de la técnica bioluminiscencia en la evaluación higiénica a nivel de pezonera, en comparación con evaluaciones microbiológicas de laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2011. 105 p.
11. TOMLIN, Clive. *The pesticides Manual*. 11a ed. Reino Unido: 1997. 1017 p.
12. WARREN L., McCabe. *Operaciones básicas de ingeniería química*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 1995. 318 p.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Muestra I, datos originales, análisis químicos

Fecha de Análisis	pH	Concentración de activo Propamocarb HCl [ppm]	Concentración de activo Fluopicolide [ppm]
08/08/2016	6,995	94,5	26,8
09/08/2016	7,014	94,2	28,3
10/08/2016	7,002	93,5	28,4
11/08/2016	7,114	94,6	28,9
12/08/2016	7,116	95,5	26,9

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 2. Datos originales, análisis microbiológicos, muestra I

Luminiscencia (URL)	Laminocultivos (UFC/ml)	
	TTC Agar (bacterias)	Rojo de bengala (mohos y levaduras)
75	$10^3$	0
135	$10^4$	0
288	$10^5$	0
995	$10^7$	0
2 218	$10^7$	0

Fuente: elaboración propia

### Apéndice 3. Muestra II, datos originales, análisis químicos

Fecha de análisis	pH	Concentración de activo propamocarb HCl [ppm]	Concentración de activo fluopicolide [ppm]
22/08/2016	7,001	90,1	17,8
23/08/2016	7,003	86,3	17,8
24/08/2016	7,012	98,2	17,1
25/08/2016	7,012	88,1	17,4
26/08/2016	7,021	92,2	17,5

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos originales, análisis microbiológicos, muestra II**

Luminiscencia (URL)	Laminocultivos (UFC/ml)	
	TTC Agar (bacterias)	Rojo de bengala (mohos y levaduras)
115	$10^4$	0
253	$10^4$	0
678	$10^5$	0
1 124	$10^7$	0
2 112	$10^7$	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Muestra III, datos originales, análisis químicos**

Fecha de análisis	pH	Concentración de activo propamocarb HCl [ppm]	Concentración de activo fluopicolide [ppm]
12/09/2016	7,001	96,5	13,1
13/09/2016	7,003	88,3	13,4
14/09/2016	7,012	92,3	13,1
15/09/2016	7,012	93,4	13,7
16/09/2016	7,021	95,6	13,3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Datos originales, análisis microbiológicos, muestra III**

Luminiscencia (URL)	Laminocultivos (UFC/ml)	
	TTC Agar (bacterias)	Rojo de bengala (mohos y levaduras)
213	$10^4$	0
324	$10^4$	0
532	$10^6$	0
856	$10^7$	0
1 816	$10^7$	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Muestra IV, datos originales, análisis químicos**

Fecha de análisis	pH	Concentración de activo propamocarb HCl [ppm]	Concentración de activo fluopicolide [ppm]
24/10/2016	7,012	84,3	31,2
25/10/2016	7,012	87,6	29,6
26/10/2016	7,014	88,2	32,2
27/10/2016	7,026	87,5	29,9
28/10/2016	7,112	86,8	31,1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Datos originales, análisis microbiológicos, muestra IV**

Luminiscencia (URL)	Laminocultivos (UFC/ml)	
	TTC agar (bacterias)	Rojo de bengala (mohos y levaduras)
189	$10^4$	0
432	$10^5$	0
893	$10^5$	0
1 543	$10^7$	0
2 435	$10^7$	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Muestra V, datos originales, análisis químicos**

Fecha de análisis	pH	Concentración de activo propamocarb HCl [ppm]	Concentración de activo fluopicolide [ppm]
14/11/2016	7,016	92,1	23,4
15/11/2016	7,016	89,4	26,7
16/11/2016	7,021	91,2	27,1
17/11/2016	7,025	87,9	26,8
18/11/2016	7,031	90,6	27,7

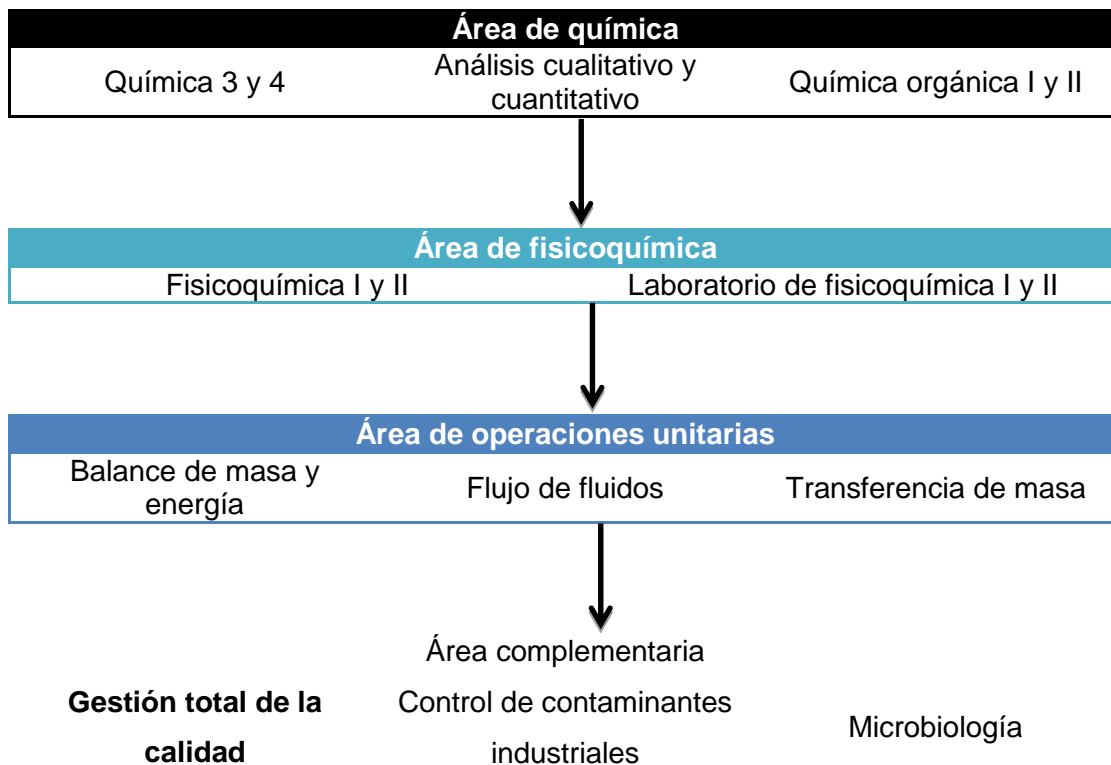
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Datos originales, análisis microbiológicos, muestra V**

Luminiscencia (URL)	Laminocultivos (UFC/ml)	
	TTC agar (bacterias)	Rojo de bengala (mohos y levaduras)
32	$10^3$	0
69	$10^4$	0
376	$10^6$	0
923	$10^7$	0
1 986	$10^7$	0

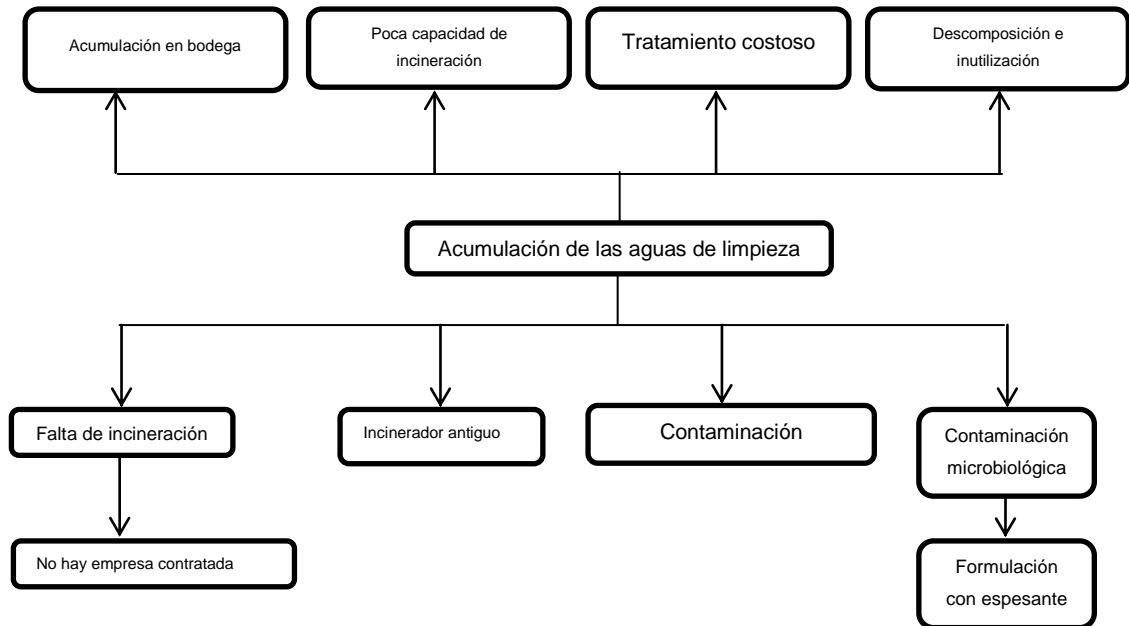
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Requisitos académicos**



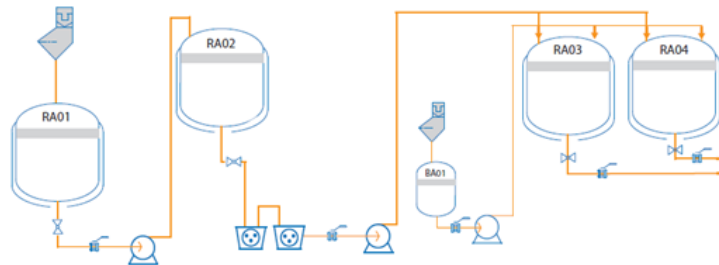
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 12. Árbol de problemas



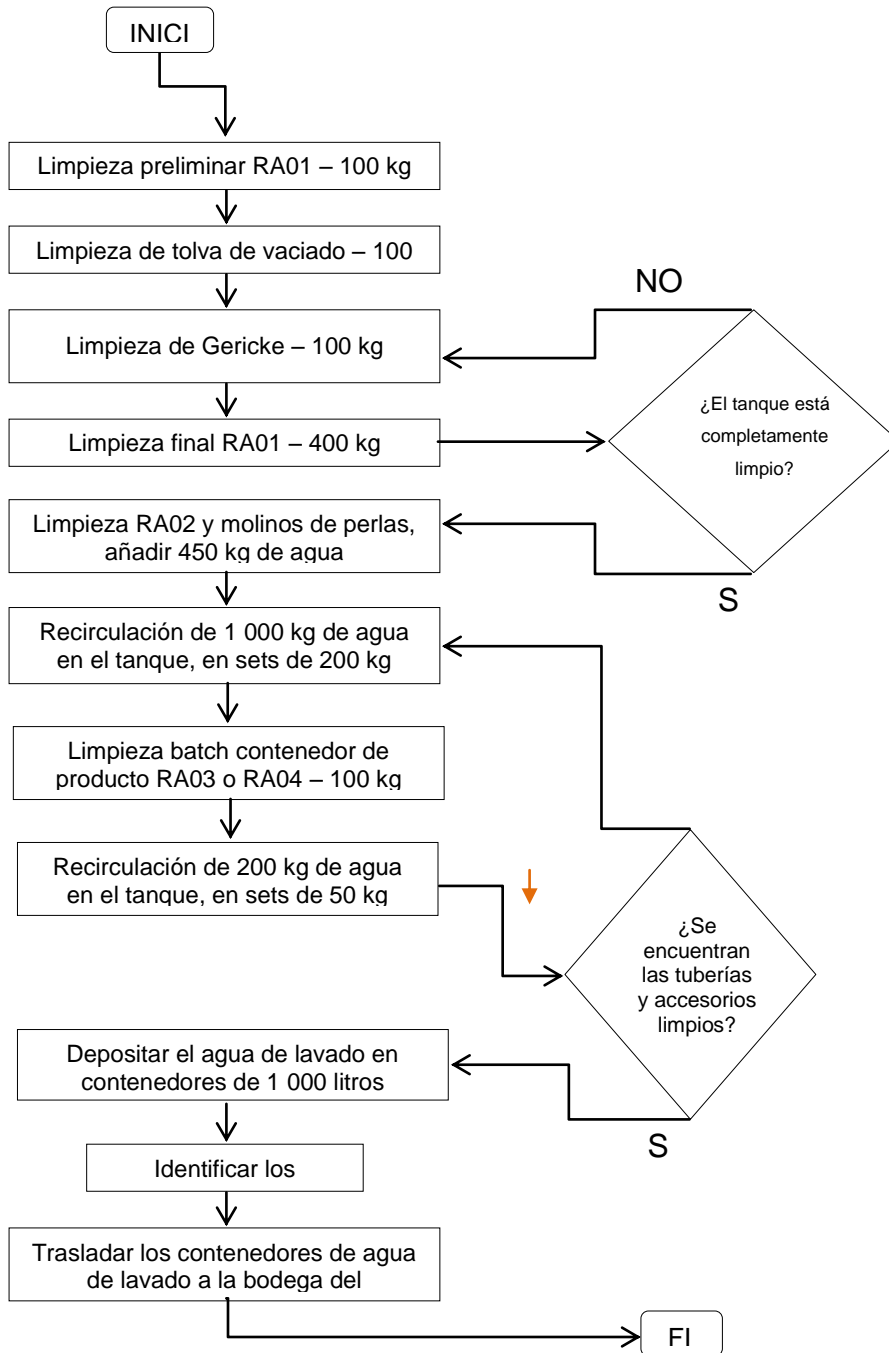
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 13. Diagrama de operación, tanques de formulación



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. Diagrama de flujo, limpieza



Fuente: elaboración propia.