



Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química



**Evaluación del extracto crudo de saponinas a partir de la *Sapindus saponaria* como sustancia activa en la elaboración de espuma extintora natural de bajo impacto ambiental**

**Tutores:**

Dr. Luis García

MSc. Miguel A. Pérez

**Presentado por:**

Br. Kelly Carnero

# Puntos a tratar:



- Planteamiento del Problema
- Antecedentes
- Objetivos
- Marco Teórico
- Marco Metodológico
- Resultados y Análisis
- Conclusiones y Recomendaciones

# Planteamiento del Problema

➤ AGUA

➤ POLVO QUÍMICO

Fuente de Ignición

Oxígeno

PRODUCTO UTILIZADO PARA COMBUSTIÓN.

Gas natural  
Hidrocarburos

- Enfriamiento y Sofocación.
- Separa la fuente de ignición de la superficie de los productos.
- Evita la re-ignición por un largo período de tiempo.

alguno de los

AGENTE EXTINTOR:

- Potencial extintor alto
- Menor daño ambiental posible

Figura 1. Tetraedro del Fuego  
Fuente: Lujan (2012)

# Planteamiento del Problema

Espuma  
↓  
Agente Extintor  
Primario

- | <u>Protección</u>     | <u>Zonas donde se:</u> |
|-----------------------|------------------------|
| • Recursos terrestres | • Transportación       |
| • Buques              | • Procesamiento        |
| • Plataformas         | • Almacenamiento       |
|                       | • Uso                  |

Convenios  
Internacional

Convenio de Estocolmo  
Convenio de Róterdam  
Convenio de Basilea  
Convenio OSPAR

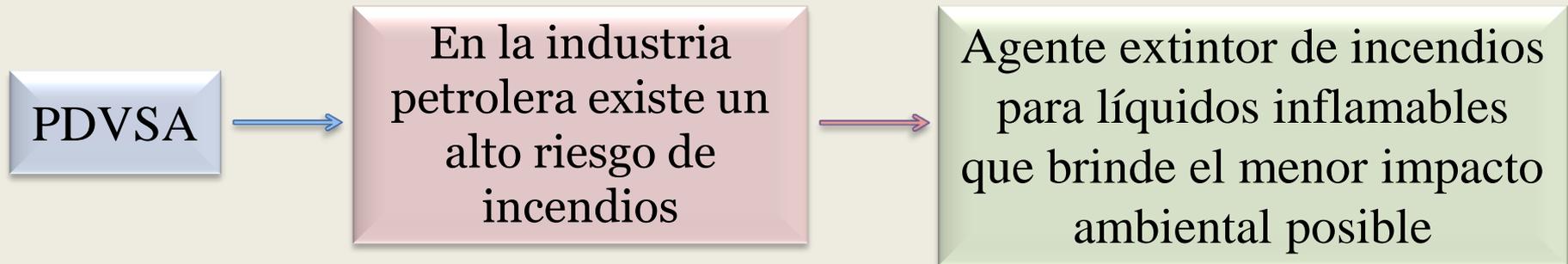
Controlar el uso de productos químicos identificados como Compuestos Orgánicos Persistentes (COP)

# Planteamiento del Problema

COP →

- Sulfonato de Perfluorooctano.
- Hidrocarburos Fluorados.

→ Muy resistente a la degradación, alto riesgo ambiental



Evaluación del extracto crudo de saponinas a partir del fruto de la parapara (*Sapindus saponaria*) como sustancia extintora natural de bajo impacto ambiental

El fruto de la parapara (*Sapindus saponaria*) contiene un 30% de saponinas



# Antecedentes



Gates (1903)

Meyer (1997)

Estudió la efectividad de la solución de jabón

Estudió el uso de saponina triterpenoide en espumas extintoras

Comparó con la formulación de una AFFF

Dióxido de carbono bajo presión

La formulación de espuma mejora su resistencia al calor

Puede utilizar parte del agente

Figura 5. Pavo salvaje

Fuente: (Frysiner, 2001)

Figura 7. c

Fuente: (Gre

Fuente: (Gre

Figura 3. Diagrama de extinción de Rafter

Fuente: Elaboración propia

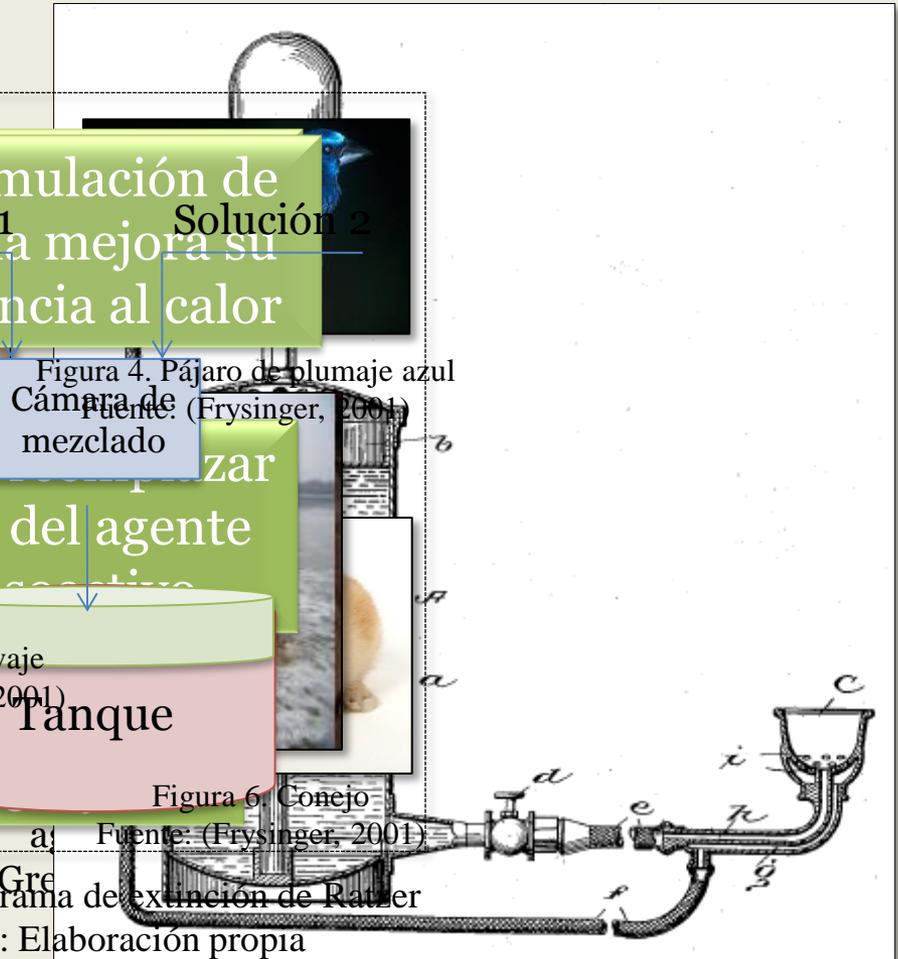


Figura 4. Pájaro de plumaje azul  
Cámara de mezclado  
Fuente: (Frysiner, 2001)

Figura 6. Conejo

Fuente: (Frysiner, 2001)

Figura 2. Método de extinción de espuma

Fuente: Gates, E. (1903)



# Objetivo General



Evaluar la factibilidad del extracto crudo de saponina proveniente del fruto de la Parapara (*Sapindus saponaria*), como sustancia activa en la elaboración de una espuma extintora natural de bajo impacto ambiental.

# Objetivos Específicos



- 1 Extraer la saponina del pericarpio del fruto de Parapara por extracción soxhlet y cuantificar el extracto crudo de saponina
- 2 Determinar la Concentración Micelar Crítica del extracto crudo de saponina
- 3 Determinar el índice y estabilidad de la espuma del extracto crudo de saponina
- 4 Elaborar la espuma y caracterizarla según las normas JOIFF, NFPA 11 e ISO 7203
- 5 Realizar la prueba de extinción de fuego con la espuma elaborada
- 6 Realizar pruebas de ecotoxicología con la espuma extintora natural elaborada



# Marco Teórico



- Agregado de burbujas llenas de aire.
- Se forman a partir de soluciones acuosas de inferior densidad

Espuma  
Concentrado  
Espumante

Sustancia líquida compuesta por surfactantes, viscosificantes, estabilizantes, gelificantes y biocidas.

Solución de  
Espuma

Obtenida cuando al concentrado espumante o espumógeno se le añade agua.

Espuma  
Formada

Se obtiene por la adición de aire a la solución de espuma mediante arrastre o agitación mecánica.

# Marco Teórico



Figura 8. Contaminación del agua  
Fuente: Eco Argentina (2009)

Peces y organismos acuáticos están altamente amenazados por la aplicación de espumas contra incendios

Baja toxicidad de espumógenos

Toxicidad secundaria

Larga biodegradabilidad

**IMPACTO AMBIENTAL DE**

Existen espumas contra incendios que tienen diferentes propiedades químicas y físicas, cada una con sus ventajas y desventajas.

Incluyen surfactantes fluorados

Uso de AFFF y su uso repetido

considerarse cristali físico

idad las

plica em

protección resp

Es necesario poner mayor atención en las p

ecotoxicológicas.



Figura 9. Contaminación  
Fuente: Eco Argentina (2009)

# Marco Teórico



## Parapara o Jaboncillo (*Sapindus Saponaria*)

- Drupa globosa de 1 a 1,5 cm diámetro, de color castaño claro al madurar, en su interior contiene una semilla negra redonda.
- La sustancia viscosa produce abundante espuma en soluciones acuosas.



Figura 10. *Sapindus Saponaria*

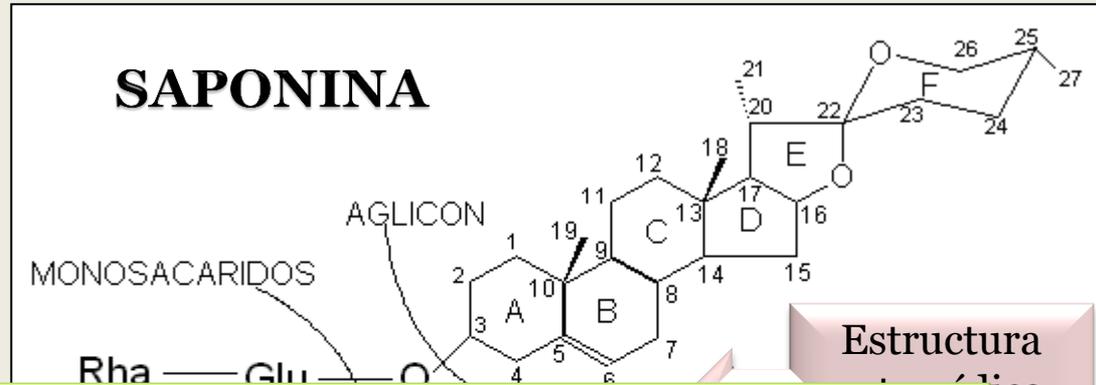
Fuente: Semillas de huertas (2012)

Figura 11. Fruto de *Sapindus Saponaria*

Fuente: Semillas de huertas (2012) 11

# Marco Teórico

- 100 Familias de plantas cultivadas y silvestres.
- Animales marinos y algunas bacterias.



Cadena glucósida soluble en agua

Estructura esteroídica

## CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA

Tradicionalmente se han utilizado como detergentes y plaguicidas.

capaz de formar moléculas de agua

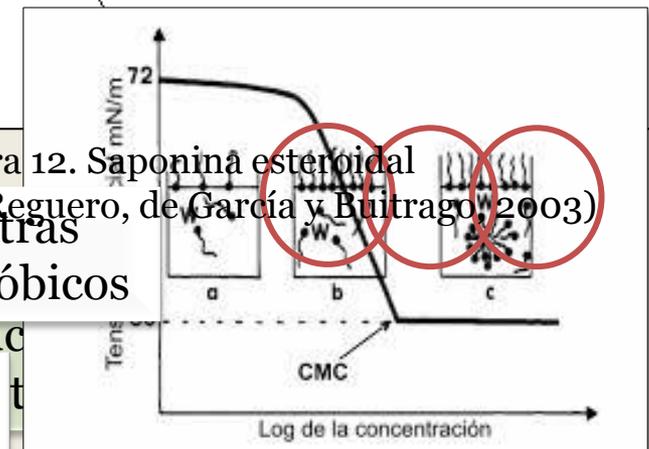
Aislar la región hidrofóbica interaccionando con otras superficies para asociarse a otros compuestos hidrofóbicos

Agente surfactante que en solución

Formando micelas en las que la región lipofílica se sitúa en el centro

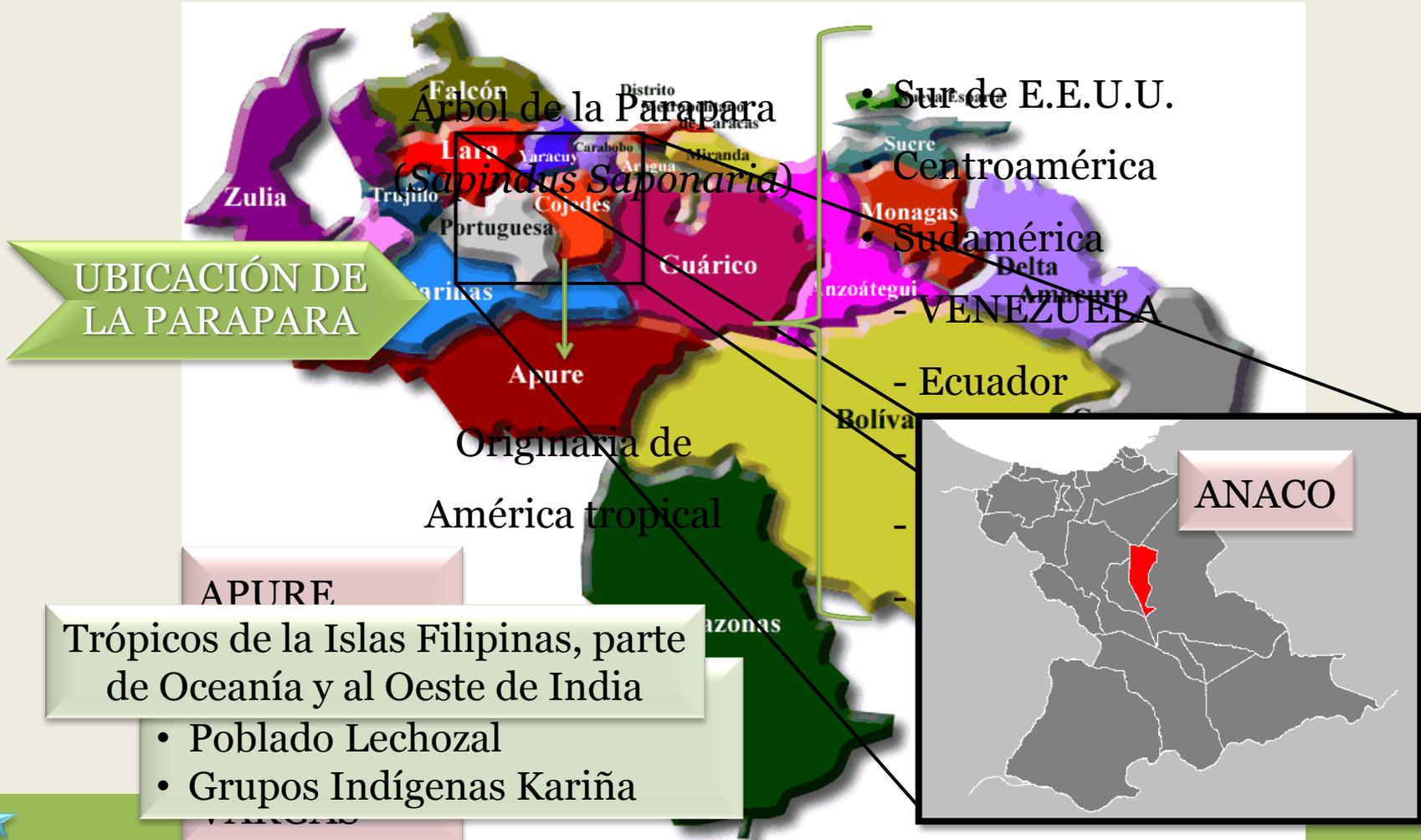
Figura 12. Saponina esteroídica

Fuente: (Hata, Reguero, de García y Buitrago 2003)



Efecto de la concentración de surfactante en la tensión superficial. Fuente: Iustman y López (2009)

# Marco Teórico



# Marco Metodológico



# Marco Metodológico

Pesar 50 g de Pericarpio y colocarlo dentro del dedal



Doblar parte superior del dedal y colocarlo dentro del soxhlet



Balón pesado previamente

Calentar hasta lograr la ebullición del alcohol



Añadir el etanol en el balón y agregar perlas de ebullición



Apagar la manta de calentamiento (solución alcohól. sin coloración)

$\frac{Pv}{Pm} * 100$

Roto-evaporador a 50°C para extraer

Donde:

% ECS: Extracto crudo de saporina (adimensional)  
Pt: Peso del balón con el extracto (g)  
Pv: Peso del balón vacío (g)  
Pm: Peso de muestra de Pericarpio (g)

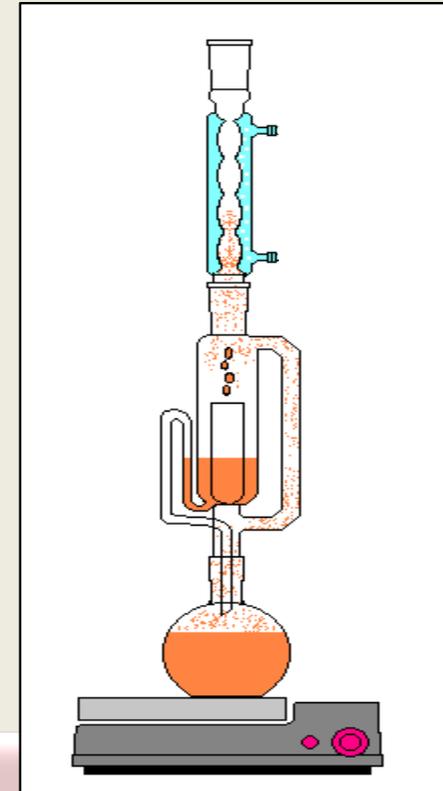


Figura 14. Extracción Soxhlet  
Fuente: Extracto con rotavaporador

# Extracción del crudo de saponina

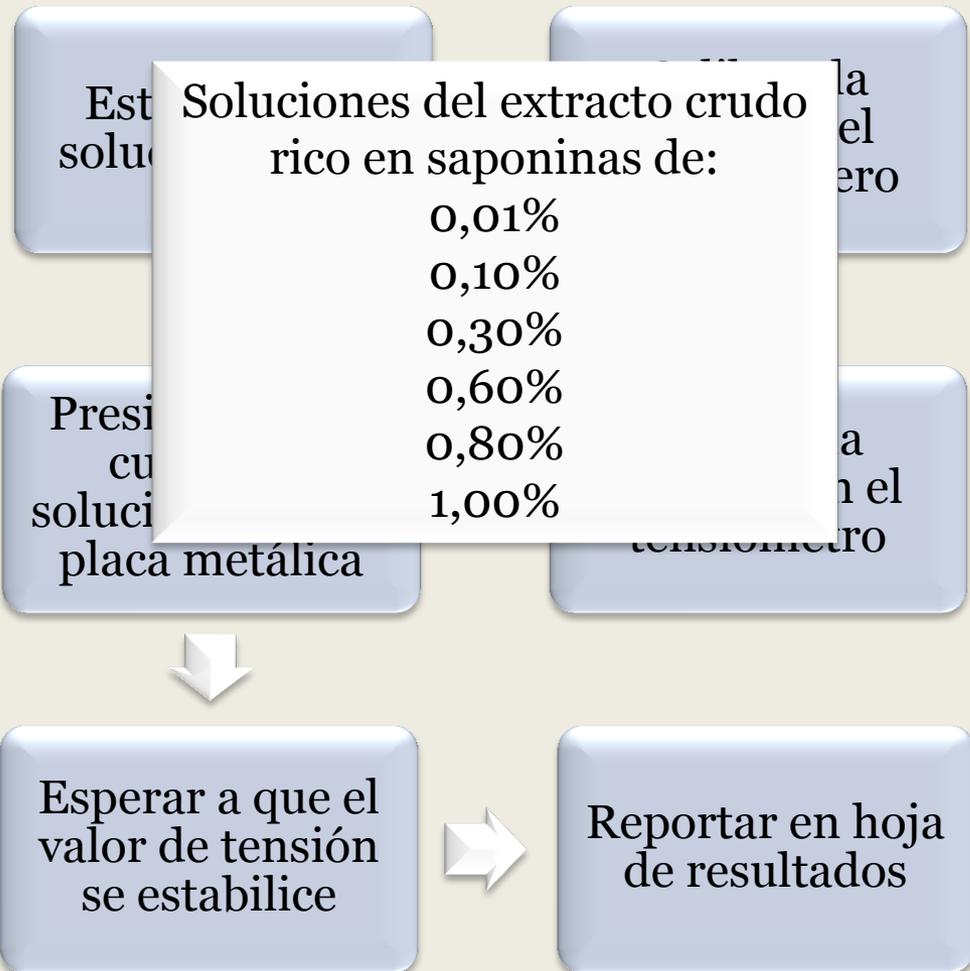


Figura 15. Extracción del extracto crudo de saponina. Fuente: Elaboración propia

# Concentración Micelar Crítica (CMC)



Figura 16. Tensiómetro Krüss,  
modelo K10-ST  
Fuente. Elaboración propia



# Índice de espuma del extracto crudo de saponina

18

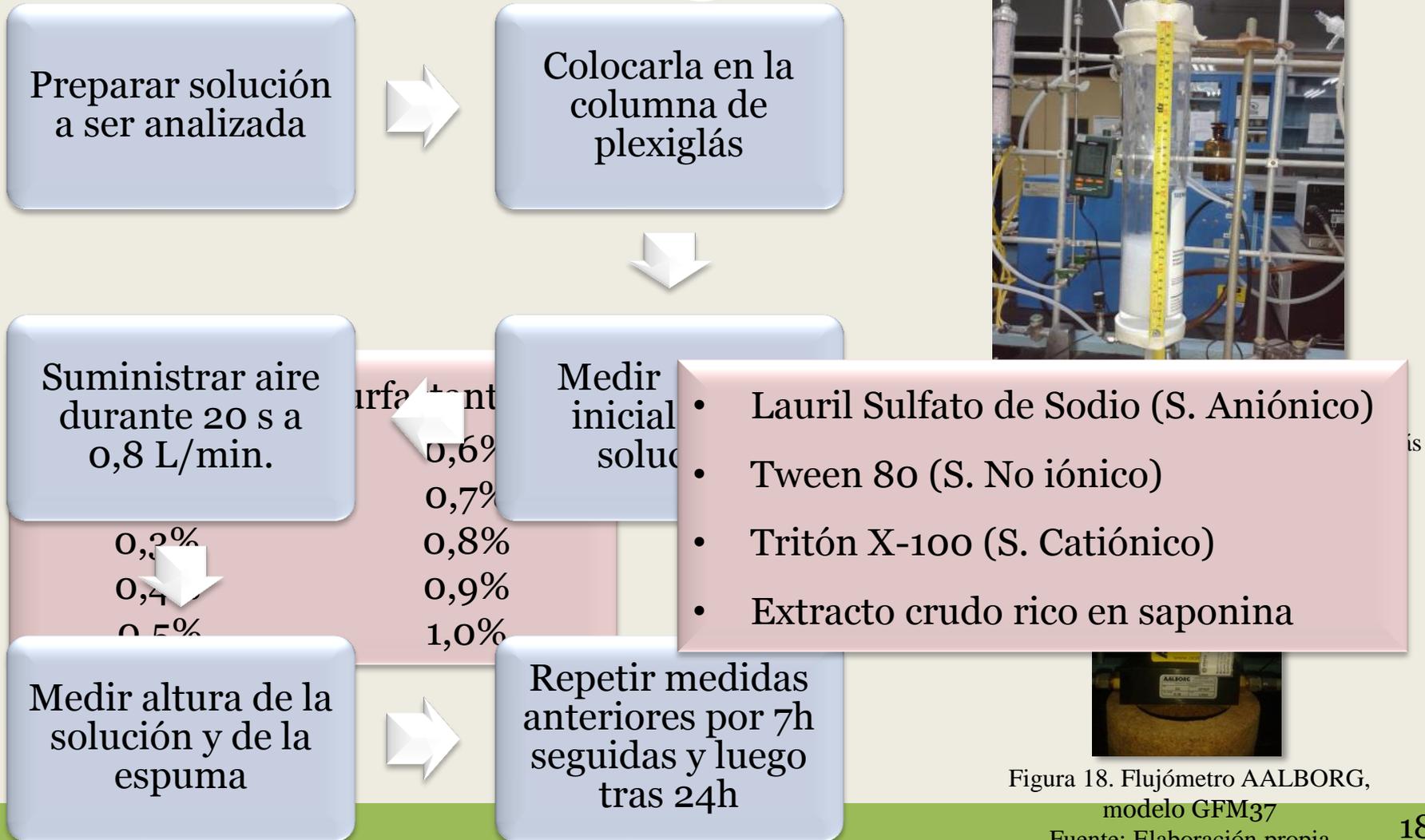


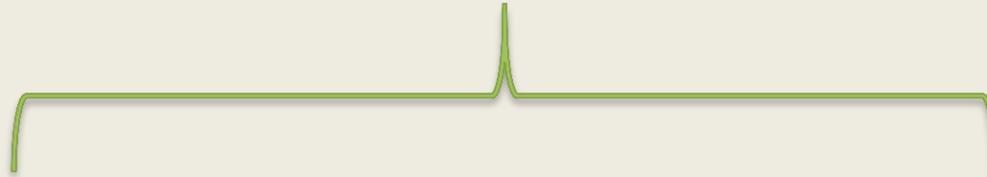
Figura 18. Flujómetro AALBORG, modelo GFM37

Fuente: Elaboración propia

# Estabilidad de la espuma



Repetir mismo procedimiento que el realizado  
para determinar el Índice de Espuma



Índice de Espuma

Estudio de la altura de la espuma  
en función de las concentraciones

Estabilidad de la Espuma

Estudio de la altura de la espuma  
en función del tiempo

# Procesamiento de gomas experimentales DM y GP

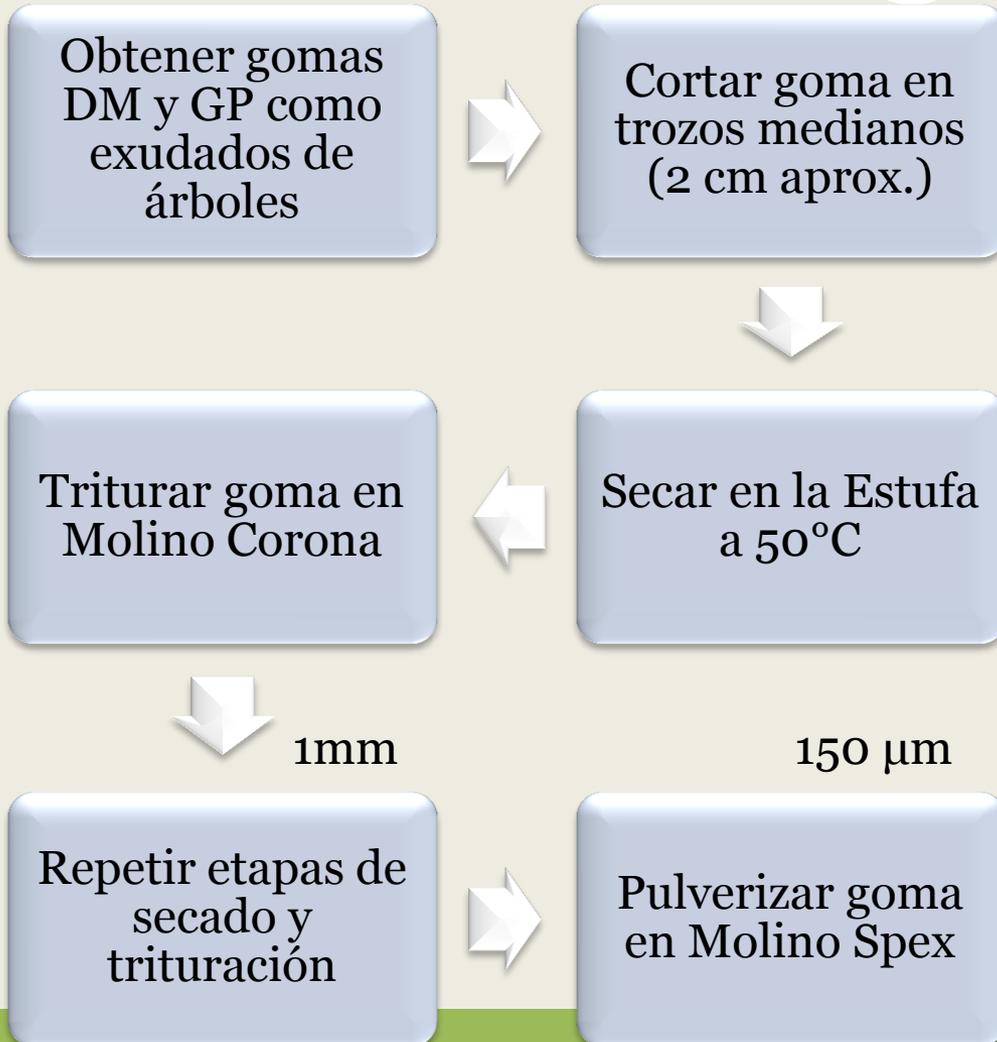


Figura 19. Estufa por convección Selecta, modelo Digitronic 2000.  
Fuente: Elaboración propia

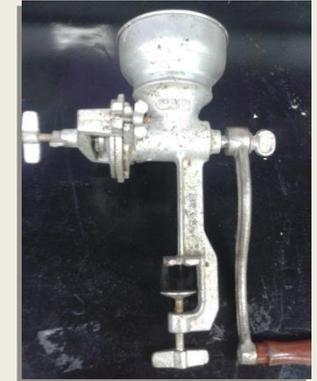
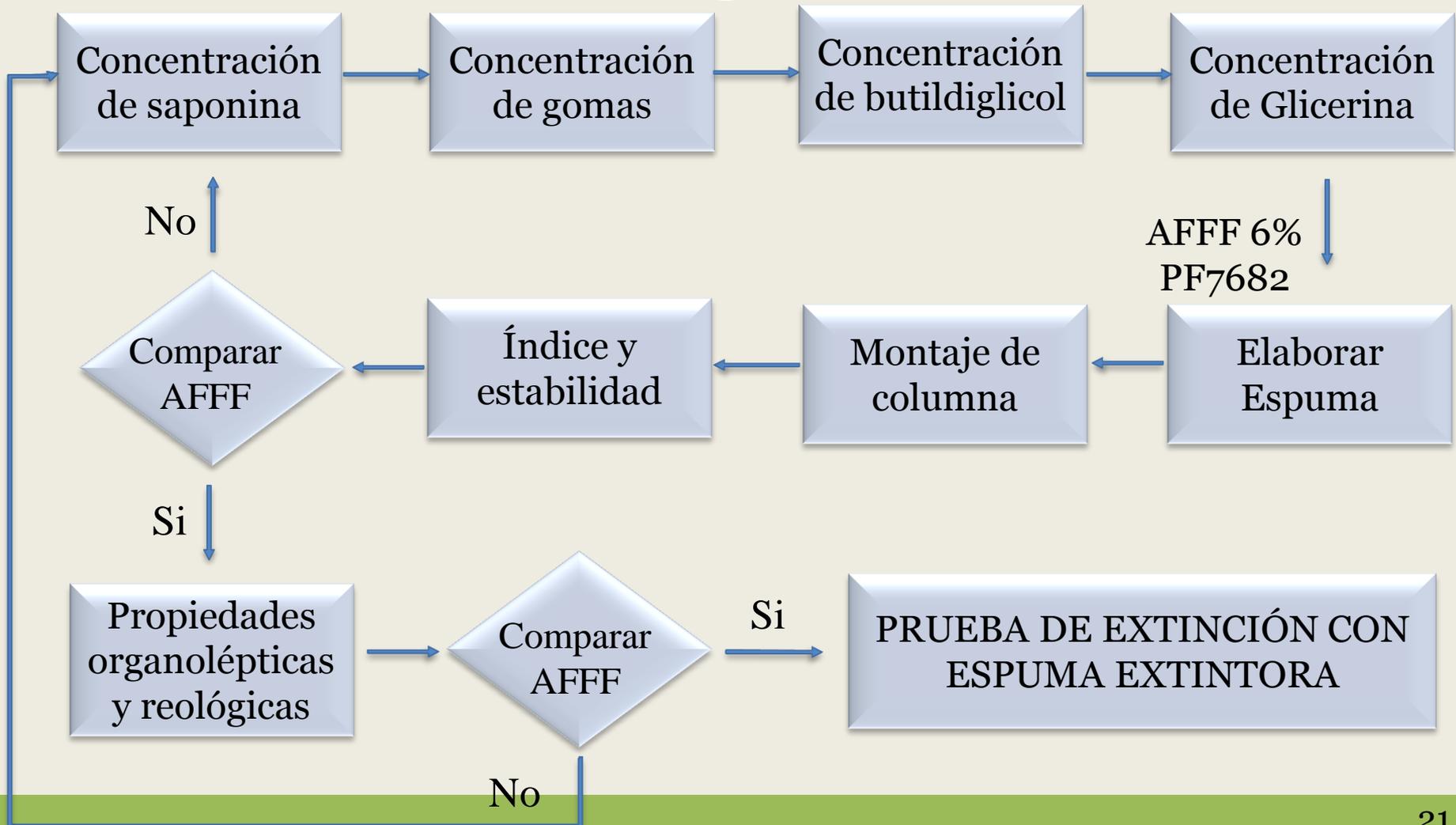


Figura 20. Molino manual Corona.  
Fuente: Elaboración propia



Figura 21. Molino Spex, Modelo 8510.  
Fuente: Elaboración propia

# Elaboración de la espuma extintora natural



# Prueba de extinción de fuego



Figura 22. Camión incendios forestales Mercedes Benz, modelo UNIMOG  
Fuente: Elaboración propia

JOIFF  
NFPA 11  
ISO 7203

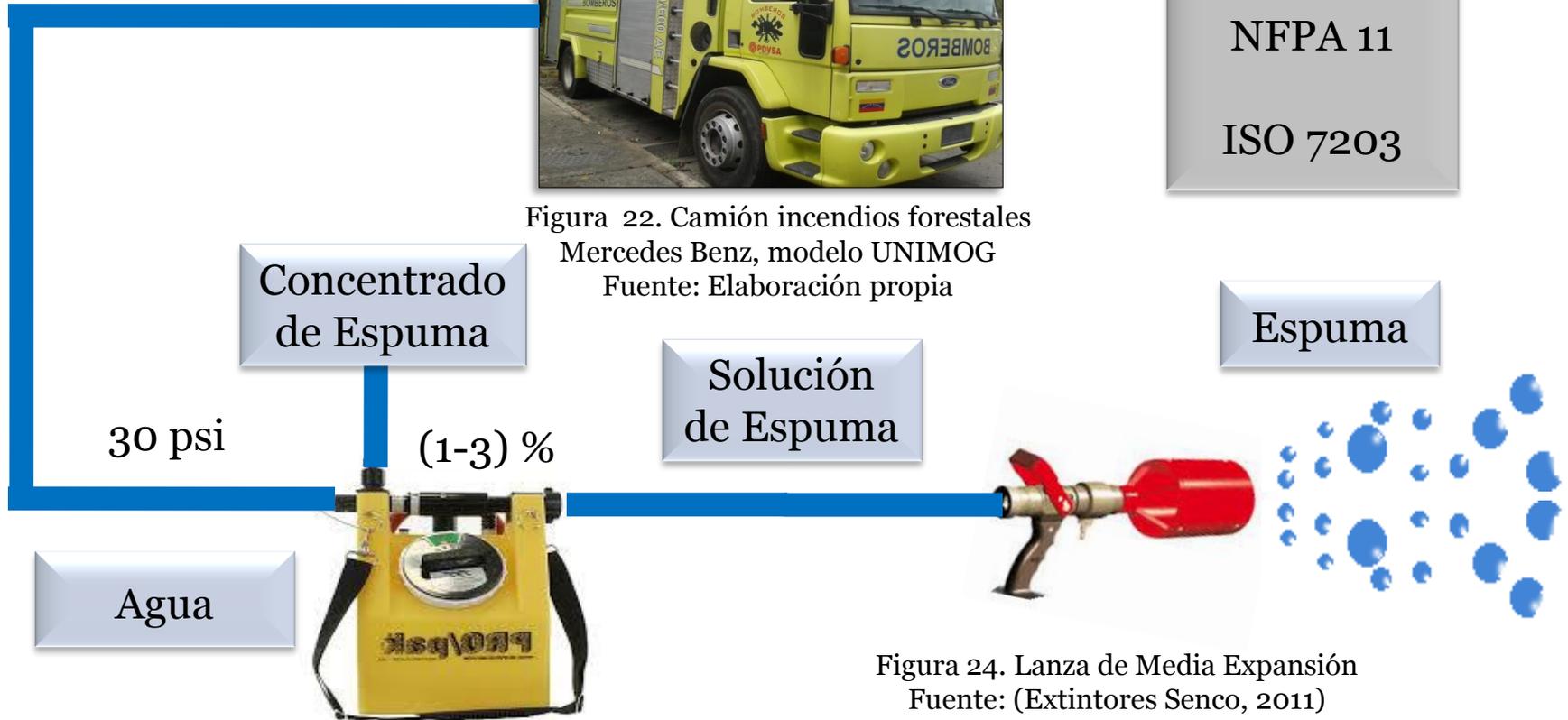
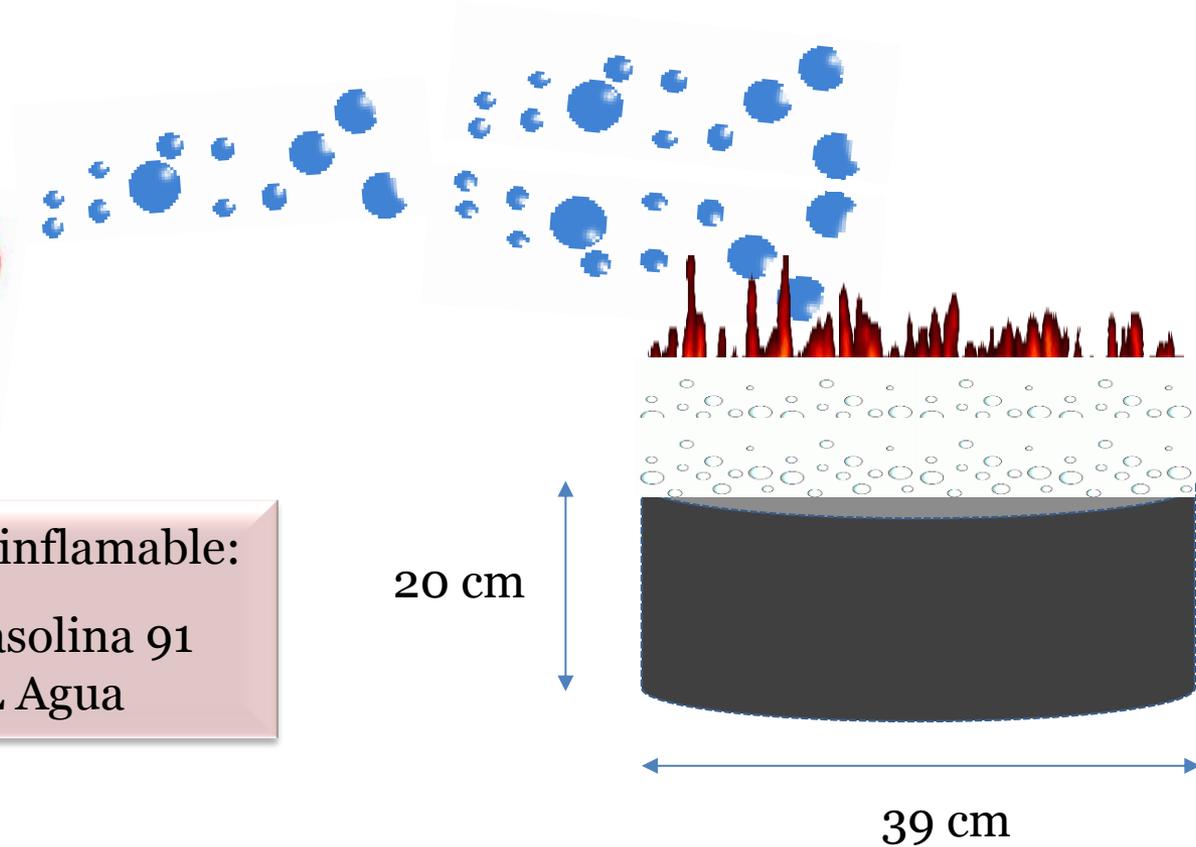


Figura 23. Inductor Pro/pak  
Fuente: Extintores Senco (2011)

Figura 24. Lanza de Media Expansión  
Fuente: (Extintores Senco, 2011)

# Prueba de extinción de fuego



Líquido inflamable:

6 L Gasolina 91

6 L Agua

20 cm

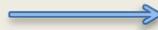
39 cm

1 min

# Caracterización de la espuma extintora



MEDIR  
DETERMINAR



Espumógeno obtenido a partir  
del extracto rico en saponina  
obtenido del fruto de la Parapara



- pH
- Densidad
- Contenido de sedimentos
- Viscosidad
- Relación de Expansión

# Pruebas de ecotoxicología

Uso de sustancias químicas de manera irresponsable

Genera problemas a diferentes organismos y a sus poblaciones

Evaluación de efectos de actividades antropogénicas

Análisis de riesgo ecológico y ambiental, además del uso de bioindicadores

Soluciones:

- 1%
- 3%
- 10%
- 30%
- 100%



Muestras:

- Espuma extintora natural.
- AFFF 6%.
- Extracto crudo de saponina.
- Goma DM.

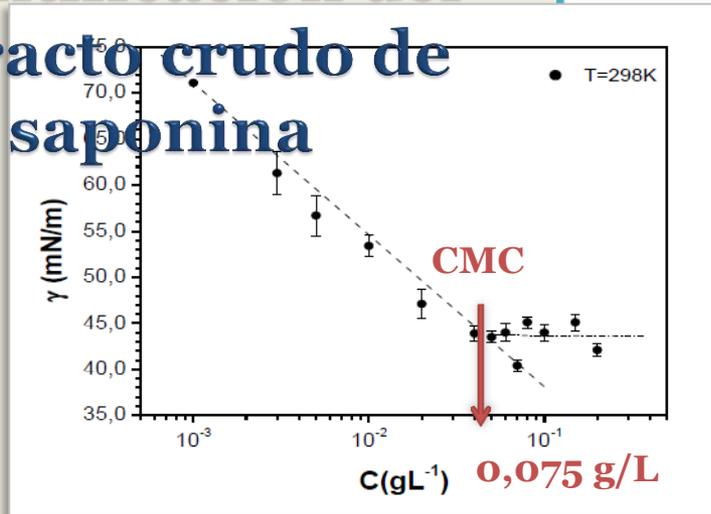
Figura 15. Método empleado para el ensayo de toxicidad en las semillas de alfalfa

Fuente: (Hernández & Pereira, 2010)

# Resultados y Análisis



## Cuantificación del extracto crudo de saponina



Muestra	Peso del extracto (g)	Extracto crudo de saponina (%)
1	7,00	33,59 %
2	9,25	44,37 %
3	9,25	44,58 %

	Saponina	CMC (g/L)
% E.C.S. Cruda Ginseng	4,85 %	0,13
Ultrapura Quillaja		0,75

Figura 28. Tensión superficial del extracto crudo de saponina en función de su concentración

Fuente: (Rivas y Rodríguez, 2012)

# Índice y Estabilidad de la espuma

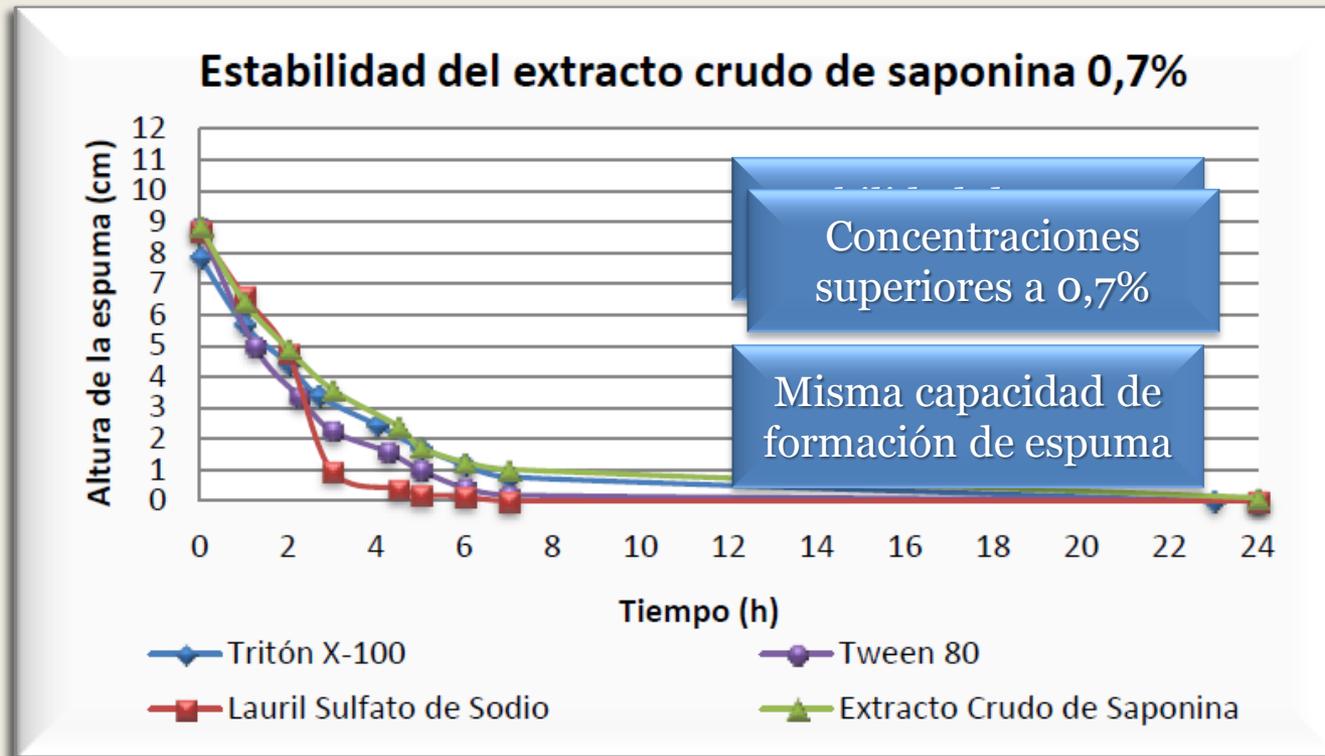


Figura 33.0 Altura de la espuma en función del tiempo

Figura 33.1 Índice de espuma en función de la concentración

Figura 33.2 Estabilidad del extracto crudo de saponina a 0,7% en función del tiempo

Fuente: Elaboración propia

# Propiedades de los componentes

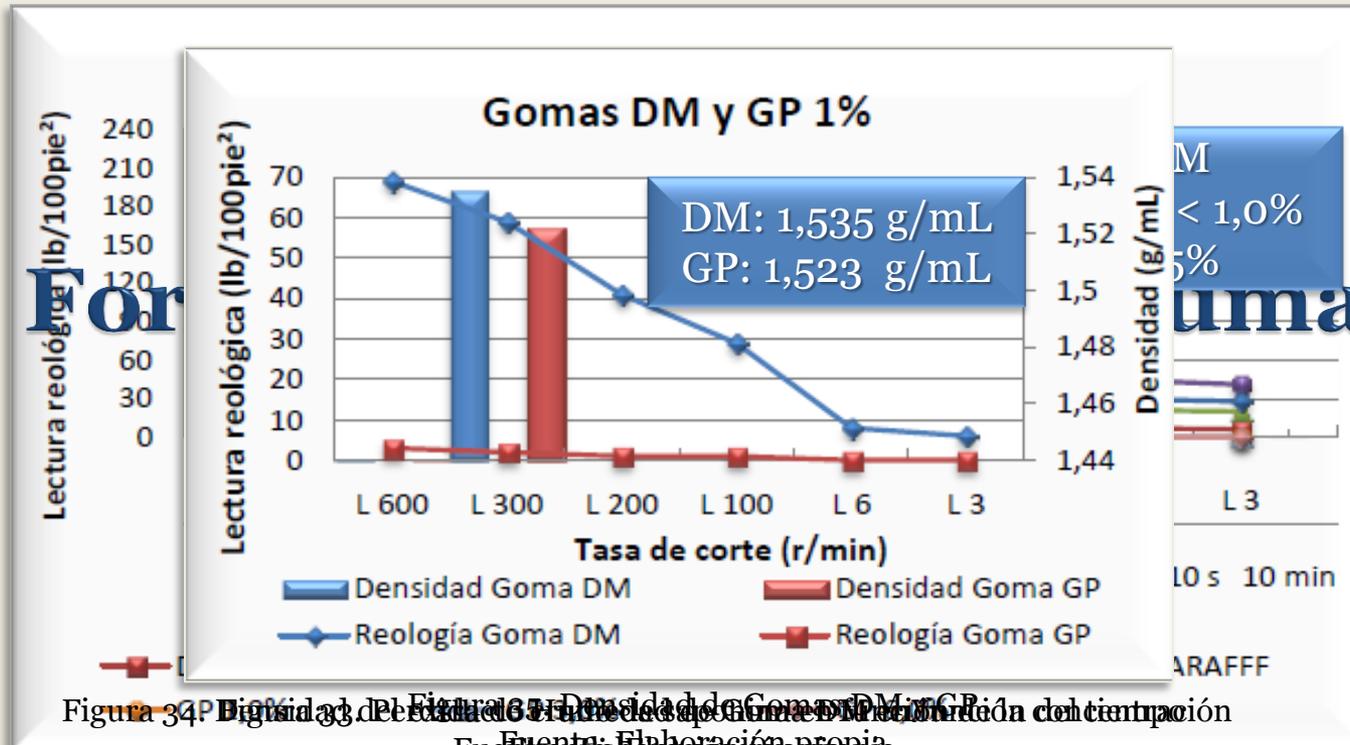


Figura 34. Densidad de Gomas DM y GP. Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Reología de Gomas DM y GP. Fuente: Elaboración propia

# Formulaciones

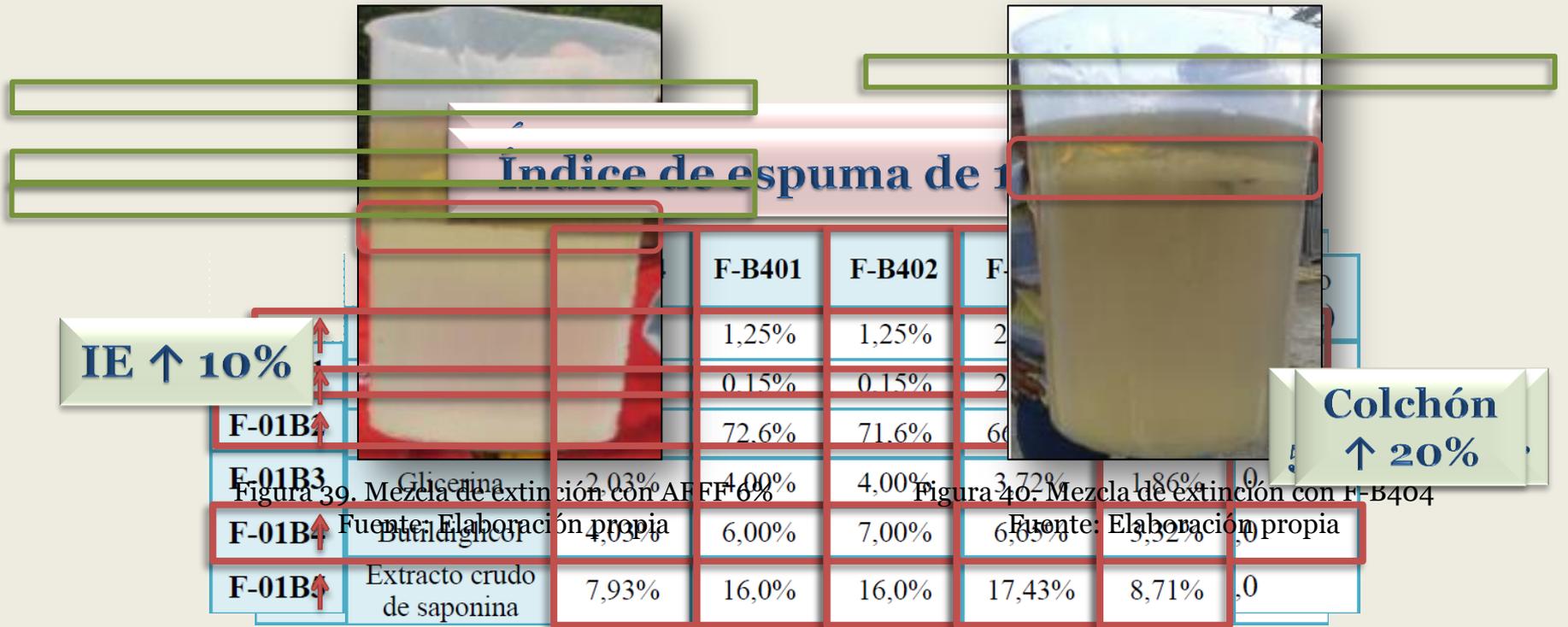


Figura 39. Mezcla de extinción con AFFF 6%  
Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Mezcla de extinción con F-B404  
Fuente: Elaboración propia

Muestra	Tiempo de Extinción (s)	Temperatura del Aire (°C)
AFFF 6%	15	23
F-B403	20	23
F-B404	20	23

# Resultados y Análisis



## Caracterización de la espuma extintora natural

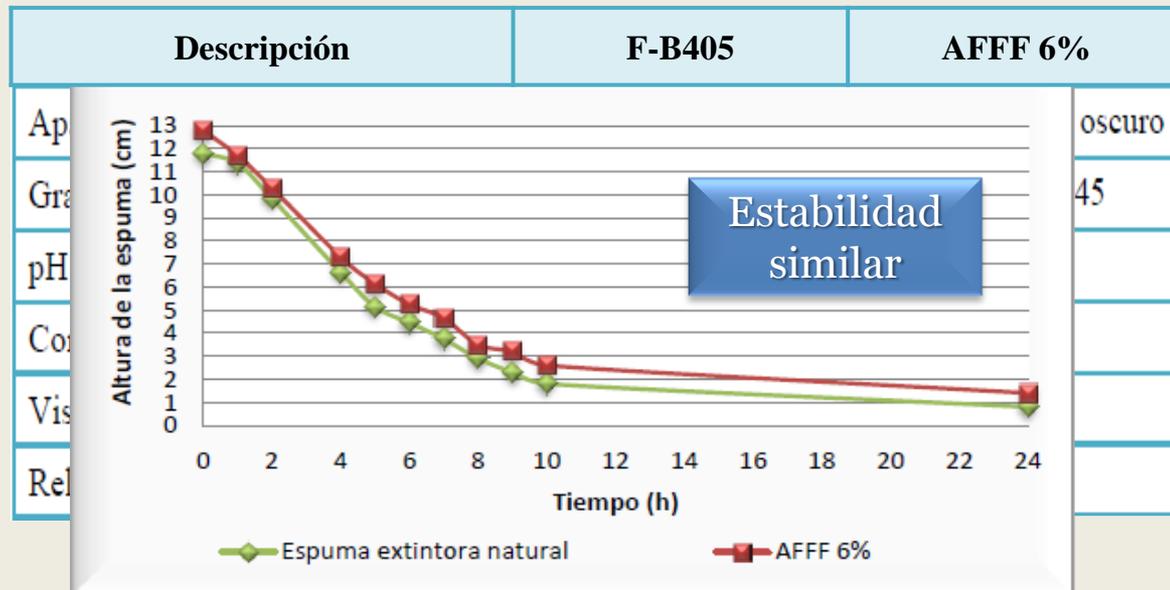


Figura 41. Altura de la espuma extintora natural en función del tiempo

Fuente: Elaboración propia

# Pruebas de ecotoxicología



## Toxicidad en semillas de alfalfa

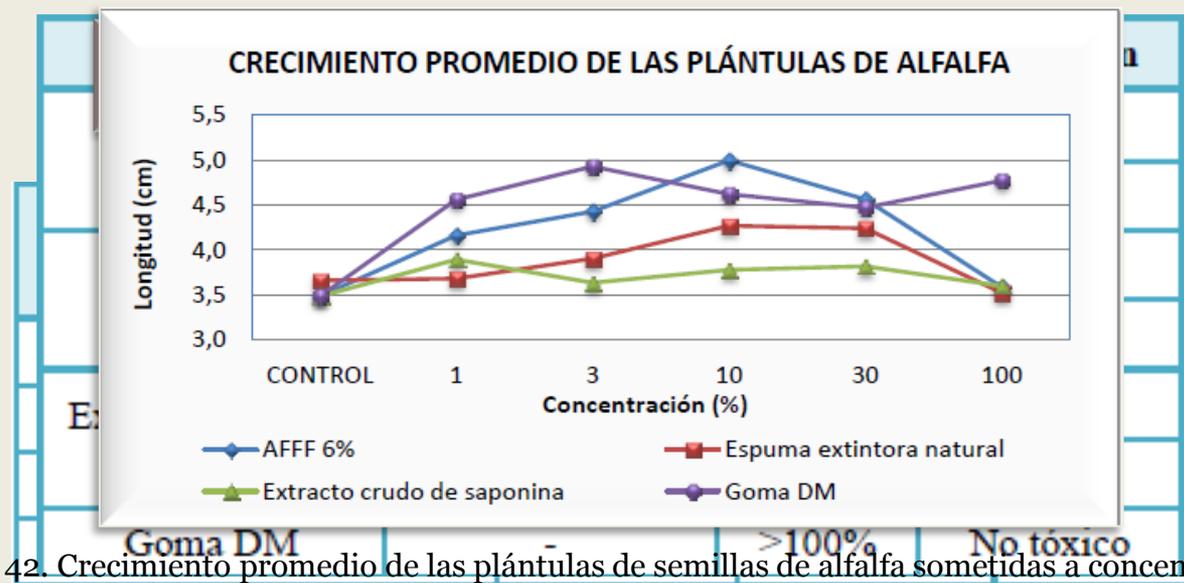


Figura 42. Crecimiento promedio de las plántulas de semillas de alfalfa sometidas a concentraciones

Fuente: Elaboración propia



# Conclusiones



1. El extracto crudo de saponina obtenido del pericarpio del fruto de la parapara (*Sapindus saponaria*) fue en promedio 40,85%.
2. La concentración micelar crítica (CMC) del extracto crudo de saponina fue de 0,075 g/L, siendo menor a lo reportado por la literatura para saponinas de otras especies de árboles.
3. La formulación a la cual se obtuvo el mayor índice de espuma fue la F-B404, constituida principalmente por 1,3% Goma DM; 1,5% Goma GP y 8,7% Extracto crudo de saponinas.
4. La espuma extintora natural logró resultados satisfactorios en la prueba de extinción de fuego al compararla con la espuma comercial AFFF 6%.

# Conclusiones



5. La eficiencia de la extinción de ambas espumógenos medidas en función del tiempo y del volumen del concentrado de espumas son similares, la misma se encuentra entre 15-20 segundos y ambos con un gasto de 2 litros de concentrado.
6. La espuma extintora natural, se comportó como una espuma de baja expansión.
7. Las pruebas ecotoxicológicas mostraron que la espuma extintora natural presentó toxicidad únicamente en lombrices de tierra. Por el contrario, la espuma comercial AFFF 6%, presentó toxicidad tanto para lombrices de tierra como para las Daphnias magna. En consecuencia, la espuma extintora natural presenta menor toxicidad entre los bioindicadores utilizados.

# Recomendaciones



1. Utilizar o diseñar un equipo de extracción que permita extraer eficientemente el crudo de saponinas y logre recuperar la mayor cantidad de etanol posible.
2. Añadir un surfactante anfotérico y un gelificante que permita una mayor expansión y consistencia de la espuma.
3. Realizar ensayos crónicos de ecotoxicidad a tiempos más prologados, con la finalidad de estudiar los efectos sobre los organismos a largo plazo.



# Prueba de extinción

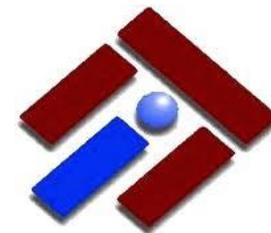


**¡ Gracias por su atención !**





Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química



**Evaluación del extracto crudo de saponinas a partir de la *Sapindus Saponaria* como sustancia activa en la elaboración de espuma extintora natural de bajo impacto ambiental**

**Tutores:**

Dr. Luis García

MSc. Miguel A. Pérez

**Presentado por:**

Br. Kelly Carnero

# Marco Teórico

38

## Propiedades de las Espumas Extintoras

Relación de expansión

Indica cuántas veces el volumen de espuma formada es más grande que el volumen de solución de espuma.

Estabilidad

Capacidad relativa de la espuma formada de resistir al colapso espontáneo o ruptura.

- **Baja expansión 1:20.**
- Media Expansión 1:20 – 1:200.

Contenido de sedimentos

Sedimentos formados en un concentrado de espuma, puede afectar el rendimiento de la espuma contra incendios.

pH

Líquido de reacción, es decir, que tan ácido, neutro o básico es el espumógeno.

# Crecimiento de las plántulas de alfalfa

39

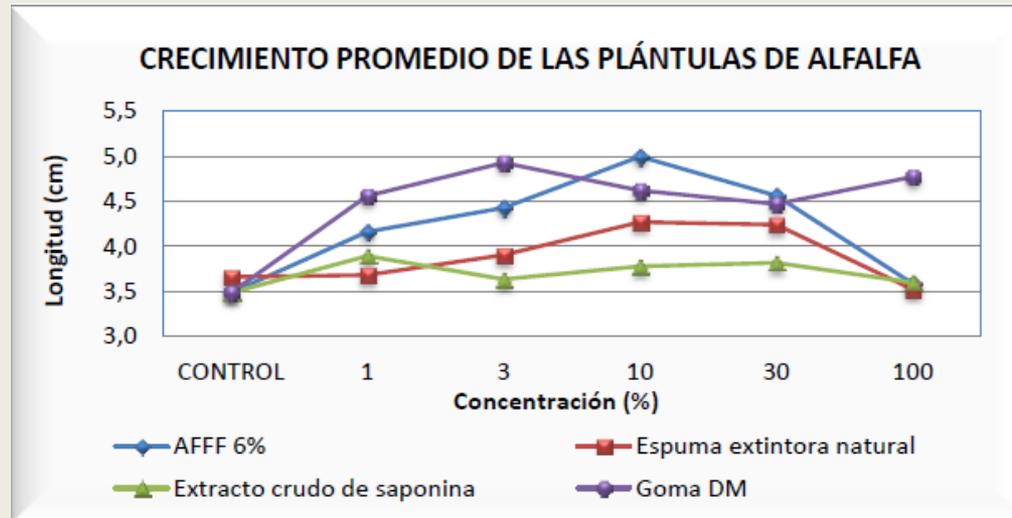


Figura 42. Crecimiento promedio de las plántulas de semillas de alfalfa sometidas a concentraciones  
Fuente: Elaboración propia

- La espuma extintora natural, favorece el crecimiento de la planta a lo largo de todas las concentraciones estudiadas con respecto al control, obteniéndose mayores longitudes de las plántulas a 10% y 30%.
- La espuma comercial, tiene el mismo comportamiento, este fenómeno es conocido como hormesis, en el cual se observa un crecimiento positivo sobre el bioindicador a medida que aumenta la concentración.

# Tipos de Espumas Extintoras

Sintética (S)

Espuma lograda con concentrados sintéticos, generalmente destinadas a expansiones tipo media (1:20 – 1:200) y alta (1:200 – 1:1000).

Proteína (P)

Una de las primeras espumas, es producida por la hidrólisis de proteínas y material animal, se agregan estabilizadores e inhibidores.

Formadora de Película Acuosa (AFFF)

Trabaja con una película polimérica que se extiende fuera del manto extinguiendo el fuego y sellando el combustible.

Fluoroproteína (FP)

A base de un concentrado espumante compuesto de proteína polimerizada y agentes tensoactivos fluorados.

# Marco Teórico

## Propiedades de las Espumas Extintoras

Relación de expansión

• Se prepara al momento de la intervención. Indica cuántas veces el volumen de espuma formada es más grande que el volumen de concentrado de espuma.

• La concentración del espumógeno en el agua se encuentra entre 1% y 6%. Grado de fluidez de la espuma. Se trata de la capacidad de la espuma para fluir a través de cualquier tubería.

Sólidos Suspendidos

• **Baja expansión 1:20.**  
• Media Expansión 1:20 – 1:200.  
Sedimentos formados en un concentrado de espuma, puede afectar el rendimiento de la espuma contra incendios.

pH

• **Alta expansión 1:200 – 1:1000.**  
Líquido de reacción, es decir, que tan ácido, neutral o básico es el espumógeno.

# Marco Teórico

## FORMACIÓN

El gas previamente disuelto en un líquido se libera por un cambio físico, generalmente por un descenso de la presión

Campos de aplicación de Surfactantes

- Un aparato mecánico permite introducir burbujas de gas en el seno del líquido, por agitación violenta o burbujeo
- Transporte de Petróleo

En el transcurso de la formación entran en juego dos mecanismos, la segregación de burbujas y el drenaje del líquido

## EXTRACCIÓN

Facilidad de formar espuma/emulsión. La saponina se extrae comúnmente con una mezcla de agua y etanol

fluido y un sólido con una

El etanol se elimina por evaporación y la saponina es extraída de la fase del agua con 1-butanol

# Procesamiento de las Gomas

43



# Pericarpio y Extracción

44

