

## CAPÍTULO I

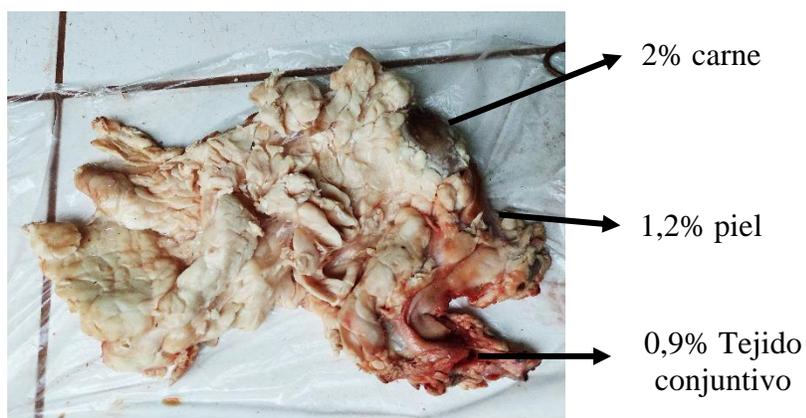
### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Materia prima

##### 1.1.1. Sebo de res

Es la grasa obtenida de los tejidos grasos de los bovinos, ovinos y caprinos sin distinguir las procedencias, si bien se usa normalmente el nombre de sebo para la grasa de buey que es lo más importante. La grasa que se encuentra en los tejidos adiposos de los riñones de los bovinos (sebo en rama) es de mejor calidad que la situada alrededor de los intestinos y menos apreciada aún es la existente sobre el estómago y debajo de la piel. Por fusión de los tejidos adiposos se obtienen varios tipos de sebos. (Bernardini, 1981)

**Figura 1-1: Anatomía del sebo de res**



Fuente: (Elaboración propia, 2021)

Los sebos se clasifican por el Instituto Americano de Embaladores de Carne según su color, su título, su porcentaje de ácidos grasos libres y su contenido de humedad, materia insoluble y materia insaponificable. El sebo de alto título produce jabones duros y el de título bajo, jabones blandos.

El título del sebo crudo es un factor importante para determinar la calidad del sebo y la dureza del jabón que éste producirá. El título se define como el punto de solidificación

de los ácidos grasos contenidos en el sebo, expresado en grados centígrados. Una grasa cuyo título excede los 40°C, se clasifica como sebo, y hasta 40°C se considera como grasa o manteca. El contenido de humedad, materia insoluble y materia insaponificable es material que no produce jabón. (Bailey, 1984).

#### **1.1.1.1. Grasas y aceites**

Las grasas animales y los aceites vegetales son los lípidos que se encuentran con mayor abundancia en la naturaleza. Aunque parecen diferentes, las grasas animales como la mantequilla y la manteca son sólidas, mientras que los aceites vegetales como el de maíz y el cacahuete son líquidos, sus estructuras están estrechamente relacionadas. Las grasas y los aceites son triacilgliceroles (también llamadas triglicéridos), con tres grupos ácidos carboxílicos de cadena larga. (McMurry, 2008)

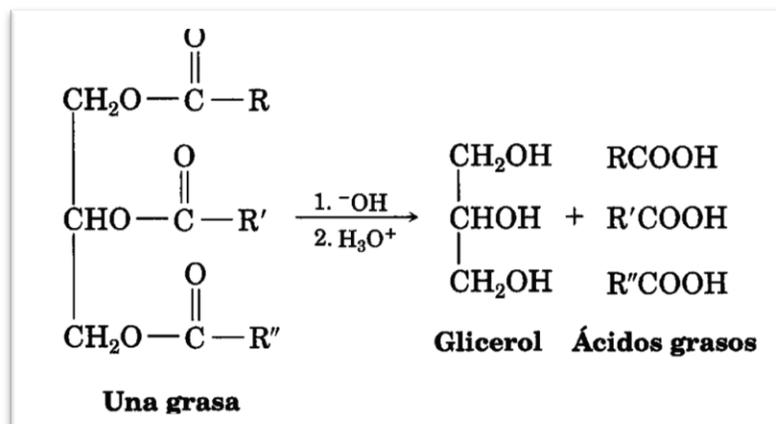
#### **1.1.1.2. Triglicéridos**

Desde el punto de vista estructural, un triglicérido está formado por la condensación de una molécula de glicerol con tres de ácidos grasos, para dar tres moléculas de agua y una de un triglicérido. (Bailey, 1984)

Los tres grupos acilo  $\text{RCO}^-$  de un triglicérido pueden ser iguales, pueden ser todos distintos o puede haber dos iguales y uno distinto.

En la figura 1-2 se observa la hidrólisis de una grasa o triglicérido, en contacto con el agua se descomponen en glicerol y ácidos grasos.

Figura 1-2: Hidrólisis de un triglicérido



Fuente: (Bailey, 1984)

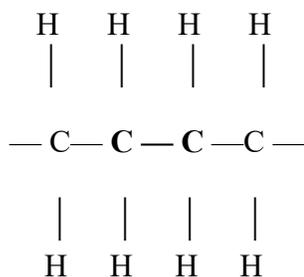
### 1.1.1.3. Ácidos grasos

Los ácidos grasos que se encuentran en la naturaleza, en general, son compuestos alifáticos monobásicos, que constan de un solo grupo carboxilo situado en el extremo de una cadena carbonada lineal. Los ácidos difieren entre sí, principalmente, en el número de átomos de carbono de su cadena y en el número y posición de los enlaces dobles, entre los átomos de carbono.

### 1.1.1.4. Ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos no contienen dobles enlaces en su estructura, mientras su punto de fusión presenta un progresivo aumento con la longitud de la cadena, su presión de vapor, a una temperatura dada, disminuye gradualmente al aumentar la longitud de la cadena. (Bailey, 1984)

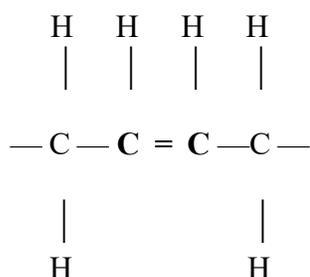
La estructura de una cadena carbonada de un ácido saturado es la siguiente:



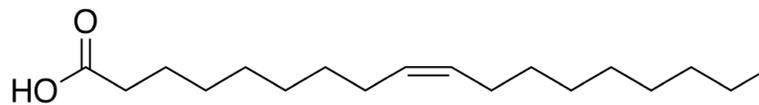
### 1.1.1.5. Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados son aquellos que contienen uno o más enlaces dobles en su estructura, estos se encuentran en los aceites y grasas; dada la relativa dificultad de su aislamiento y caracterización, son conocidos con menos seguridad que los saturados. (Bailey, 1984)

La estructura de una cadena carbonada de un ácido insaturado es la siguiente:



Dentro de los ácidos insaturados presentes en las grasas se encuentra el ácido oleico de fórmula molecular  $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_7 \text{CH} = \text{CH} (\text{CH}_2)_7 \text{COOH}$  (cis). Dentro de su estructura presenta un doble enlace:



Ácido oleico

#### 1.1.2.1. Composición de ácidos grasos de la materia prima: sebo de res

El sebo de res está constituido de diversos triglicéridos ácidos grasos saturados e insaturados. Dependiendo de la naturaleza de la grasa o aceite, variará la composición.

A continuación se detalla en la tabla I-1, el análisis de composición porcentual de los ácidos grasos más significantes realizado a la materia prima “sebo de res” obtenido en el departamento de Tarija, consultado en bibliografía (Perez, 2017).

Se observa que está compuesto de 3 ácidos grasos principales que son determinantes en la composición y peso molecular del sebo de res:

**Tabla I-1: Composición de ácidos grasos de la materia prima: sebo de res**

Compuesto	Unidad	Resultado
Oleico	%	42,3
Esteárico	%	21,1
Palmítico	%	24,7
Mirístico	%	0
Palmitoleico	%	1,5
Linoleico	%	2,6
Total	%	92,2

Fuente: (Perez, 2017)

### 1.1.2. Características fisicoquímicas y composición del sebo

El sebo de res cuenta con características fisicoquímicas particulares de cada especie.

Los datos se pueden apreciar en tabla I-2:

**Tabla I-2: Características fisicoquímicas del sebo de res**

Características	Sebo
Densidad relativa (40°C de agua a 20 °C)	0,894-0,904
Índice de Iodo (Wijs)	40-53
Índice de refracción (ND 40°C)	1,448-1,460
Índice de saponificación (mg KOH/g grasa)	190-202
Título, °C	42,3
Materia insaponificable (g/kg)	12

Fuente: (FAO, 2018)

### **1.1.3. Caracterización del sebo de res**

Para la caracterización del sebo de res, se lo somete tanto a análisis físicos como a análisis químicos.

#### **1.1.3.1. Análisis físicos**

Entre los análisis físicos más importantes tenemos: densidad, índice de refracción, punto de fusión.

##### **1.1.3.1.1. Densidad**

La densidad o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), aunque frecuentemente se expresa en  $\text{g/cm}^3$ .

Según la tabla I-2, la densidad relativa para el sebo de res a ( $40^\circ\text{C}$ ) es 0,894-0,904.

##### **1.1.3.1.2. Índice de refracción**

El índice de refracción de un aceite se define como la razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado.

Es un dato de gran interés, por la estrecha relación que tiene con el peso molecular medio y con el grado de insaturación. Es una característica muy útil para clasificar rápidamente aceites de identidad desconocida o para observar los progresos de una hidrogenación catalítica (Bailey, 1984).

Según la tabla I-2, el índice de refracción (ND  $40^\circ\text{C}$ ) está en el rango de 1,448-1,460

##### **1.1.3.1.3. Punto de fusión**

Es la temperatura a la cual la materia grasa pasa de un estado sólido a estado líquido, es decir, se funde. Los puntos de fusión de los ácidos grasos aumentan con la longitud de la cadena y disminuyen con un aumento de la insaturación.

Según la tabla I-2, el sebo de res tiene un título de  $42,3^\circ\text{C}$ .

### **1.1.3.2. Análisis químicos**

Entre los análisis químicos más importantes tenemos: índice de peróxido, índice de acidez, índice de iodo, índice de saponificación.

#### **1.1.3.2.1. Índice de peróxido**

Es una medida de su contenido en oxígeno activo, expresado en términos de milimoles de peróxido o miliequivalente de oxígeno, por 100 gramos de grasa. En términos más simples, es el punto de enranciamiento de una grasa, tiende a aumentar cuando aumenta la insaturación y su contenido en antioxidantes.

Para el sebo de res el índice de peróxido es de 10 mEq O<sub>2</sub>/kg.

#### **1.1.3.2.2. Índice de acidez**

Mide el grado de hidrólisis de una grasa y se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en un gramo de grasa.

Para obtener un sebo en buenas condiciones, el rango de aceptación del índice de acidez es de 0 - 1,25%.

#### **1.1.3.2.3. Índice de iodo**

Es el grado medio de insaturación de una grasa o mezcla de ácidos grasos. Se define como el número de gramos de iodo absorbidos por 100 gramos de grasa.

#### **1.1.3.2.4. Índice de saponificación**

Es el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) requeridos para saponificar un gramo de grasa. Es también una característica útil que se utiliza para encontrar el peso molecular medio de una grasa. Según la tabla I-2 el índice de saponificación se encuentra entre 190-202 mg KOH/gr grasa.

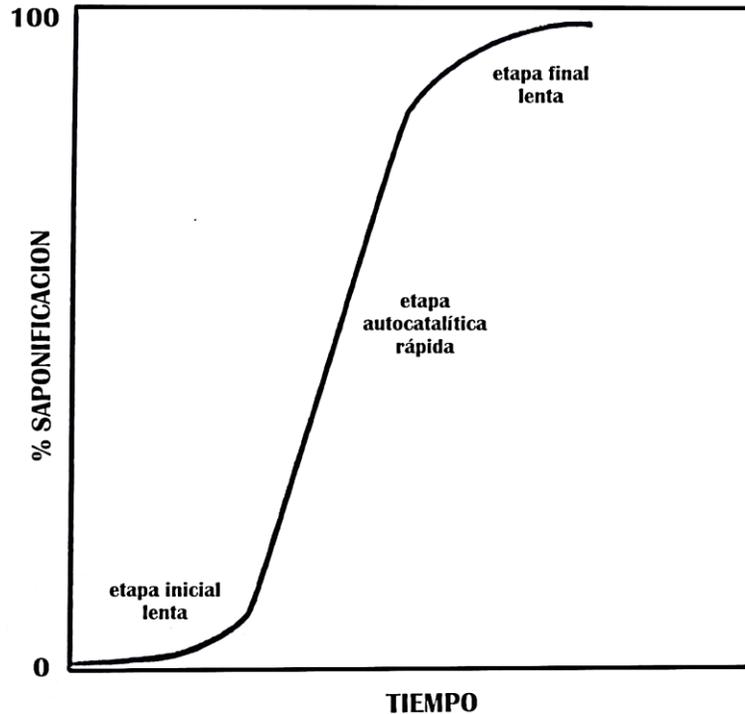
### **1.1.3.3. Reacción de saponificación**

Existen sucesivas operaciones llamadas fases que están presentes en el proceso de fabricación de jabón potásico.

La primera de estas fases, está destinada a saponificar la mayor parte de la grasa fresca, se suele denominar “fase de empastado”, la cual se lleva a cabo hirviendo conjuntamente la grasa y el álcali, con vapor directo. La velocidad de reacción es al principio, lenta, dependiendo sobre todo de la magnitud de las interfaces entre los dos líquidos. Sin embargo, en las últimas etapas se puede considerar la saponificación como una reacción homogénea, efectuándose a través de la solución conjunta de la grasa y el álcali, en una fase compuesta de jabón preformado. La reacción es por tanto auto catalítica. (Bailey, 1984)

Si se representa la cantidad de grasa saponificada frente al tiempo de reacción, se obtiene una curva sinusoidal como se muestra en la figura 1-3. La reacción primeramente lenta, se acelera rápidamente, a medida que aumenta la cantidad de jabón formado. La reacción disminuirá solo al final, cuando la cantidad de grasa decrece y esta tiende a ser ocluida entre las micelas jabonosas.

**Figura 1-3: Velocidad de la reacción de saponificación**



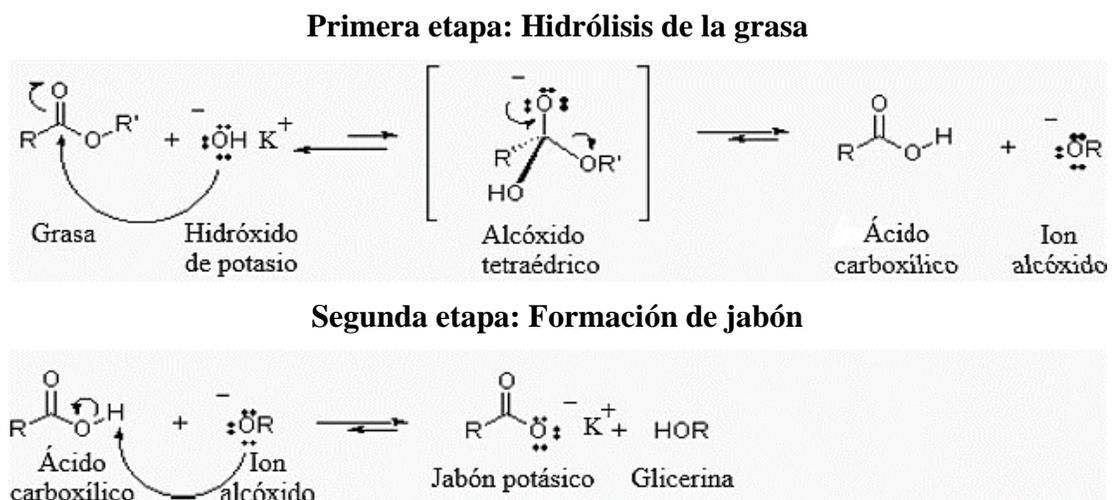
Fuente: (Timothy, K. 2009)

### 1.1.3.4. Mecanismo de saponificación

La obtención de jabón potásico se da mediante una reacción de sustitución nucleofílica de acilo que se ilustra en la figura 1-8, en la cual, el ion hidróxido es un nucleófilo que se añade al grupo carbonilo éster  $\text{RO-C=O}$  y esto da un intermedio tetraédrico. (McMurry, 2008)

En la primera etapa de hidrólisis, la adición nucleofílica de un ion hidróxido  $:\ddot{\text{O}}:$  al grupo éster, da el intermediario: “alcóxido tetraédrico”. Posterior a eso, sucede la eliminación del ion alcóxido  $:\ddot{\text{O}}:\text{R}$ , generando el ácido carboxílico.

**Figura 1-4: Mecanismo de saponificación**



Fuente: (McMurry, 2008)

En el paso final, el alcóxido, siendo más básico, es protonado por el ácido carboxílico, que cambia el equilibrio general para favorecer la saponificación y obtener el jabón potásico y glicerina como subproducto.

### Tabla de saponificación

El índice de saponificación o SAP es la cantidad de hidróxido de potasio necesario para saponificar 1 gramo de grasa.

En la tabla I-3 se puede apreciar los diversos aceites y grasas principales usados para obtener jabón, como así también, las cantidades de álcali a usar, tanto hidróxido de sodio como hidróxido de potasio.

**Tabla I-3: Índice de saponificación de los principales aceites y grasas**

<b>GRASA / ACEITE</b>	<b>IS KOH (mg)</b>	<b>IS NaOH (mg)</b>
Aceite de aguacate	187,5	133,69
Aceite de almendras dulces	192,5	137,25
Aceite de cacahuete	192,1	136,97
Aceite de cáñamo	192,8	137,47
Aceite de coco	268	191,09
Aceite de jojoba	97,5	69,52
Aceite de maíz	192	136,9
Aceite de Neem	194,5	138,68
Aceite de oliva	189,7	135,26
Aceite de palma	199,1	141,96
Aceite de palmiste	219,9	156,79
Aceite de ricino	180,3	128,56
Aceite de semilla de algodón	194	138,32
Aceite de semilla de calabaza	193	137,61
Aceite de semilla de girasol	188,7	134,55
Aceite de sésamo	187,9	133,98
Aceite de soja	190,6	135,9
Aceite de pepita de uva	181	129,06
Cera de carnauba	81	57,75
Lanolina	106	75,58
Manteca de cacao	193,8	138,18
Manteca de cerdo	194,6	138,75
Sebo de vaca	197	140,46

Fuente: (jabonnatural, año 2008)

#### **1.1.4. Proceso de extracción de grasas**

La separación de los aceites y grasas, a partir de los productos oleaginosos animales y vegetales constituye una rama propia y especializada de la tecnología de las grasas. La diversidad de características de los productos grasos da lugar a distintos procedimientos de extracción. Todos estos procedimientos dan como resultado un producto graso libre de impurezas, una mejora del rendimiento y conseguir un residuo de calidad.

Los tejidos grasos animales se componen, principalmente de grasas y agua, las cuales se pueden separar entre sí y de las partes sólidas con una relativa facilidad, por medio de la fusión.

##### **1.1.4.1. Pretratamiento mecánico**

Las materias grasas de origen animal requieren relativamente poca preparación, antes de proceso de fusión, si se comparan con las semillas oleaginosas u otros productos vegetales. Las materias primas destinadas a la obtención de grasas neutras, fundidas a bajas temperaturas tales como la oleomargarina o manteca de cerdo, se seleccionan cuidadosamente y lavan, antes de introducirlas en las calderas de fusión. Las materias primas ordinarias tales como las destinadas a la obtención de manteca de cerdo, al vapor, de primera, no se someten siempre a lavado y se seleccionan menos cuidadosamente. (Bailey, 1984)

Tanto si se emplea la fusión seca o con vapor de agua, la grasa se separa más rápidamente si se corta la materia prima en pequeños trozos; aunque, en la fusión con vapor, no se suele hacerlo. La fusión húmeda a presión, desintegra aun los huesos más grandes e incluso el esqueleto por lo cual, la preparación de la carga para este proceso no presenta dificultades. (Bailey, 1984)

##### **1.1.4.2. Tratamiento térmico**

El término “fusión” se aplica al tratamiento destinado a separar el aceite de los tejidos grasos animales u otros, con una relación elevada de aceite a materia sólida. Este proceso rompe con la estructura de la proteína, causando la salida del aceite a través de la baja viscosidad que contiene debido a la elevada temperatura.

Los tejidos de grasas animales, desprovistos de músculos y huesos, contienen generalmente de un 70% al 90% de grasas; el resto es agua más una pequeña cantidad de tejido conjuntivo, compuesto en su mayor parte de proteínas. Por lo cual el residuo de la fusión, es un concentrado proteínico, muy empleado para alimento de ganado. (Bailey, 1984)

La práctica de la fusión está sujeta a la naturaleza de la materia prima, al igual que a las características deseadas y al tipo de instalación disponible.

#### - **Fusión seca**

Es uno de los procedimientos más sencillos de extracción. La obtención del aceite o grasa está acompañada de la deshidratación de la materia prima grasa y los tejidos que la acompañan. (Bailey, 1984)

- a) Se realiza en calderas abiertas, provistas de camisas de calefacción con vapor a baja presión y agitador a pocas revoluciones para evitar la adherencia de los tejidos grasos a las paredes.
- b) La carga bien desmenuzada, se introduce en el recipiente, sin adición de agua, se agita y calienta a una temperatura de 110°C hasta que los tejidos conjuntivos estén totalmente secos. (Bailey, 1984)
- c) Se filtra el residuo seco, para posteriormente usar una prensa y extraer el restante.

La fusión en caldera abierta es relativamente lenta y de poco rendimiento, no siendo corriente emplearla en la fusión a gran escala. Por lo tanto, el proceso se realiza a sistema cerrado.

#### - **Fusión húmeda**

Este procedimiento se lleva a cabo en presencia de gran cantidad de agua. Durante la operación la grasa separada sube a la superficie de esta y de allí se extrae. (Bailey, 1984)

La fusión húmeda puede realizarse de dos maneras: a bajas temperaturas, desarrollándose la operación a la temperatura de ebullición del agua y en recipiente

abierto, o bien, a altas temperaturas, denominándose en este caso, fusión con vapor y practicándose la operación a presión en recipientes cerrados.

- Temperatura baja

En la fusión húmeda a temperatura bajas, se utiliza un tanque abierto, provisto de agitador a bajas revoluciones y camisas para su calefacción con vapor de agua a presión atmosférica.

- a) La carga se introduce en el tanque, se añade agua y calienta, hasta que la mayor parte de grasa ascienda formando una capa en la superficie.
- b) Se separa y clarifica con un 1,5% al 2,5% de sal.
- c) La temperatura del proceso variará obteniéndose grasas más blandas sin llegar al punto de fusión, o sea, 68°C para la oleomargarina y 52°C para la manteca de cerdo neutra. (Bailey, 1984)

#### **1.1.4.3. Temperatura elevada con presión de vapor**

La manteca preparada se denomina “manteca al vapor primera”. Además de este producto se suelen preparar, por este procedimiento los sebos comestibles y aceite de ballena.

- a) La carga de grasa se coloca en un autoclave cilíndrico de acero, o digestor con fondo cónico diseñado para presiones de vapor de 2,8 a 4,2 kg/cm<sup>2</sup> y sus temperaturas correspondientes.
- b) Se añade una pequeña cantidad de agua, se abre el paso al vapor, hasta que esta última hierva y se cierra el autoclave, dejando una pequeña descarga abierta y continuando inyectando el vapor hasta que alcance la presión y temperatura de trabajo.
- c) El tiempo de trabajo es de 4 a 6 horas haciendo que el material se disgregue hasta cierto grado y se eleve a la superficie, quedando en el fondo los sólidos y agua, para proceder a su extracción mediante un grifo de descarga dispuesto en la pared.
- d) La grasa se purifica de las trazas de agua, por sedimentación y en algunos casos por centrifugación.

Este proceso da cargas muy ricas en grasas, se puede obtener hasta un 99,5% de ellas. Las ventajas de esta fusión, son buenos rendimientos, que se pueden conseguir con instalaciones relativamente sencillas y adaptable a una amplia gama de productos. (Bailey, 1984)

## **1.2. Descripción de insumos**

Para lograr la saponificación del sebo de res, se utiliza de dos compuestos, un álcali como es el hidróxido de potasio y agua desionizada como medio de reacción.

### **1.2.1. Hidróxido de potasio**

El hidróxido de potasio (también conocido como potasa cáustica) es un compuesto químico inorgánico de fórmula “KOH”, a temperatura ambiente, es un sólido blanco cristalino sin olor. La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo. Es higroscópico absorbiendo agua de la atmósfera. Tiene muchos usos tanto industriales como comerciales.

La mayoría de las aplicaciones explotan su reactividad con ácidos y su corrosividad natural. Se estiman en 700.000 a 800.000 toneladas la producción mundial de hidróxido de potasio en el año 2005 (del NaOH se producen unas cien veces más). Por ello, el hidróxido de potasio contiene cantidades variables de agua. Su disolución en agua es altamente exotérmica, con lo que la temperatura de la disolución aumenta, llegando incluso, a veces, al punto de ebullición. (Quiminet, 2007)

En la tabla I-4 se observa las principales características del hidróxido de potasio:

**Tabla I-4: Caracterización fisicoquímica del hidróxido de potasio (KOH)**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,04
<b>Masa molar (g/mol)</b>	56,105
<b>Punto de fusión (°C)</b>	380
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	1323
<b>Color</b>	Blanco
<b>Estado de agregación</b>	Sólido

Fuente: (Formulación química, 2017)

El hidróxido de potasio, conocido comúnmente como potasa cáustica se produce en los Estados Unidos mediante la electrólisis de la salmuera de cloruro de potasio en celdas electrolíticas. Cuando la salmuera de cloruro de potasio es introducida en la celda electrolítica, el proceso resulta en una solución de hidróxido de potasio y productos conjuntos de cloro e hidrógeno.

Además se usa en la producción de fertilizantes para la agricultura. Estos fertilizantes se pueden usar como fuente de potasio (uno de los tres alimentos principales para plantas) para las cosechas que son sensibles a iones de cloruro. Otros usos finales del hidróxido de potasio incluyen la galvanoplastia, herbicidas, grasa, catalizadores, oxidantes, medicamentos y pilas alcalinas-electrolíticas. El hidróxido de potasio se usa como intermedio director para varios productos químicos del potasio, incluyen cianuro de potasio, aluminato, formato, fluosilicato, borohidruro, bromato, bromuro, gluconato, laurato, manganato, oleato y titanato. (Drogueria el Barco, 2017)

### **1.2.2. Agua desionizada**

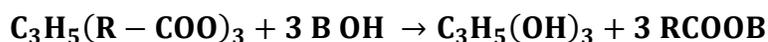
El agua desionizada o desmineralizada es llamada así porque se le han quitado los cationes, como los de sodio ( $\text{Na}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), cobre ( $\text{Cu}^+$ ), y aniones como el carbonato  $\text{CO}_3^-$ , fluoruro  $\text{F}^-$ , cloruro  $\text{Cl}^-$ , mediante resinas de intercambio iónico de lecho mixto. Esto significa que al agua se le han quitado todos los iones excepto el  $\text{H}^+$ , o más rigurosamente  $\text{H}_3\text{O}^+$  y el  $\text{OH}^-$ , pero puede contener pequeñas

cantidades de impurezas no iónicas como compuestos orgánicos. Es parecida al agua destilada en el sentido de su utilidad para experimentos científicos, por ejemplo, en el área de la química analítica donde se necesitan aguas puras libres de iones interferentes. (Adquim, 2015)

### 1.3. Descripción del producto “jabón”

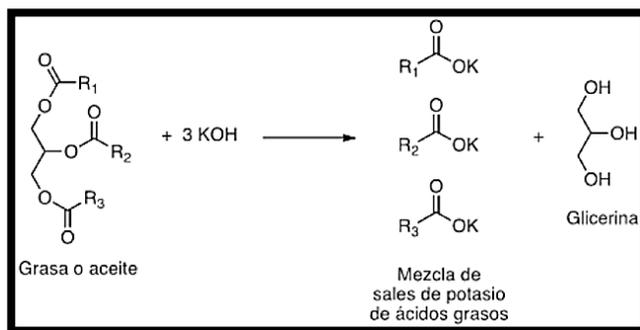
La palabra jabón proviene del latín tardío “sapo-onis”, y este a su vez del germánico “saipon”.

Se trata de un agente limpiador o detergente que se fabrica utilizando grasas animales y/o aceites vegetales. Químicamente, es la sal de sodio o potasio de un ácido graso que se forma por la reacción de grasas y aceites con álcali: (Guerrero, 2014)



Químicamente, el jabón es la sal sódica o potásica de un ácido graso, que se obtiene por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos. Si se escinde una grasa con un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón del metal alcalino con el ácido graso. Esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón.

**Figura 1-5: Reacción química de saponificación**



Fuente: (UNAM, 2014)

El jabón es soluble en agua y, por sus propiedades detergentes, se usa comúnmente en productos destinados a la higiene personal y para lavar determinados objetos o tejidos. Normalmente se presenta en forma de pastilla, en polvo, en crema o en líquido, aunque es sólido en estado natural a temperatura ambiente. En realidad, la forma sólida es el compuesto "seco" o sin el agua que está involucrada durante la reacción química para fabricar el jabón, y la forma líquida es el jabón "disuelto" en agua, en este caso su consistencia puede ser muy viscosa o muy fluida. (Guerrero, 2014)

### **1.3.1. Tipos de jabones**

La mejor clasificación de los jabones se basa en el uso para que hayan sido fabricados. Los de mejor calidad son los jabones de tocador, que contienen muy poco álcali y se utilizan grasas y aceites de color mucho más claro. Los que le siguen en calidad son los jabones de servicio ligero, que se prestan en forma de pastillas, polvos, gránulos y escamas. Se usan para lavar la vajilla, tejidos de lana, etc. Aquí se usan grasas con un color un tanto más oscuras.

Entre los jabones más importantes según su aspecto físico y uso, se nombra a los jabones duros y jabones blandos.

#### **1.3.1.1. Jabones blandos**

Son jabones semifluidos que se producen, usando como álcali, a la potasa y una grasa y/o aceite vegetal, obteniéndose el llamado jabón blando, que es líquido en las condiciones corrientes debido a su punto de fusión bajo y mayor solubilidad. (Bailey, 1984)

#### **1.3.1.2. Jabones duros**

Si el álcali utilizado es la sosa cáustica se obtienen los jabones duros (también llamados jabones de grano debido a su condición sólida). El factor que más influye sobre las características físicas de las barras de jabón terminado es la composición química de la materia prima grasa. La dureza del jabón depende principalmente del grado de insaturación (índice de iodo) de la grasa. A mayor índice de Iodo, mayor grado de insaturación de la grasa y se obtiene un jabón más blando de lo habitual. (Bailey, 1984)

### 1.3.2. Jabón potásico

El jabón potásico es una sal de ácidos grasos. Se utiliza ampliamente como humectante y se le reconoce una tendencia a potenciar el efecto de otros productos fitosanitarios. Es un producto de origen natural que actúa por contacto, no es persistente en el medio ambiente, generando carbonatos y potasio, por lo tanto es biodegradable. No es fitotóxico para la planta y no deja residuos en la fruta, de manera que el tiempo de seguridad en relación a la ingestión es nulo. (Promisol, 2021)

Como las grasas son extremadamente untuosas y pegajosas, al mezclarlo con una sustancia solubilizante, como es el hidróxido de potasio, se obtiene un producto final totalmente semilíquido y adecuado para aplicación foliar. (Agromática, 2012)

#### 1.3.2.1. Composición del jabón potásico

El jabón potásico está compuesto principalmente de diversas sales de ácidos grasos como el oleato potásico en mayor proporción, y de Estereato potásico y palmitato potásico en menor proporción. Además puede contener pequeñas impurezas provenientes de la grasa o aceite y una mínima cantidad de hidróxido de potasio (KOH) libre menor al 0,5%.

#### 1.3.2.2. Propiedades fisicoquímicas del jabón potásico

El jabón potásico presenta las siguientes características físicas y químicas. Según la tabla I-5 se observa los datos principales:

**Tabla I-5: Características físico-químicas del jabón**

Propiedad	Valor
Estado físico	Pasta consistente a 21 °C
Olor	Característico
PH	9,4 en solución al 50%
Inflamabilidad	No inflamable.
Solubilidad	Forma emulsiones en agua.
Color	Marrón ámbar.
Punto fluidificación	40 - 45 °C

Fuente: (droguería Boter, año 2012)

### 1.3.2.3. Características del jabón

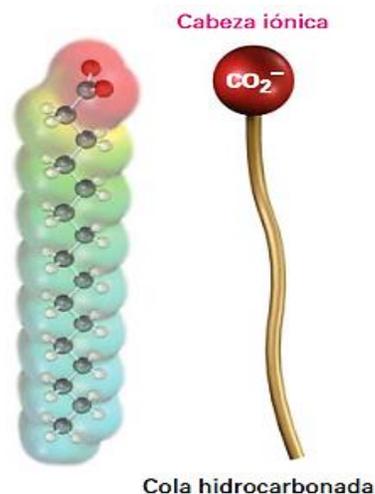
El jabón tiene cualidades que lo hacen representativo y particular, las mismas derivan por las características de sus moléculas.

#### Funcionamiento de un jabón

Los jabones actúan como limpiadores y se denomina anfipático porque tiene extremos polares y no polares. Además, como es grande, cada extremo tiene su propio comportamiento de solubilidad.

En la figura 1-6 se representa una molécula de jabón. La cabeza iónica representa un extremo polar,  $\text{-COO}^-$ , es soluble en agua y se llama hidrófilo, y, el otro extremo no polar es la cola hidrocarbonada con 12 a 18 átomos de carbono, y se llama hidrófobo.

**Figura 1-6: Representación de una molécula de jabón**

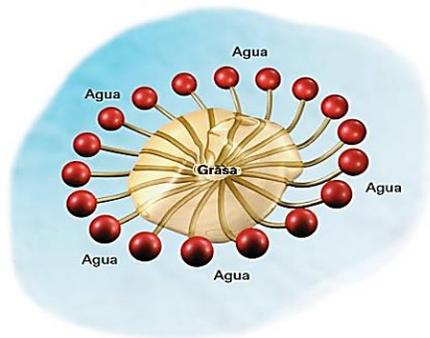


Fuente: (McMurry, 2008)

Cuando los jabones se dispersan en el agua, las largas cadenas hidrocarbonadas forman racimos en el interior de una bola hidrofóbica enredada, mientras que las cabezas iónicas sobre la superficie del racimo se adhieren a la capa de agua.

Estos racimos esféricos, llamados micelas, se muestra esquemáticamente en la figura 1-7. Las gotitas de grasa y aceite se solubilizan en agua cuando son recubiertas por las colas que no son polares de las moléculas de jabón en el centro de las micelas. Una vez solubilizadas, la grasa y la suciedad se pueden sacar por enjuague. (McMurry, 2008)

**Figura 1-7: Representación de una micela**



Fuente: (McMurry, 2008)

#### **1.3.2.4. Solubilidad**

En agua dura, la cual contiene iones metálicos, los carboxilatos de sodio solubles se convierten en sales insolubles de magnesio y de calcio, dejando los familiares anillos de nata alrededor de las tinas de baño (McMurry, 2008); en el caso de los jabones blandos a base de potasio es algo diferente, teniendo mayor solubilidad.

La solubilidad de jabones depende no solo de la insaturación, sino también, en gran medida del peso molecular medio de la grasa. (Bailey, 1984)

#### **1.3.2.5. Emulsión**

Se define normalmente una emulsión como un sistema de dos líquidos inmiscibles, uno de los cuales se dispersa en el otro en forma de pequeñas gotitas. (Bailey, 1984)

#### **1.3.2.6. Biodegradabilidad**

La biodegradabilidad es un parámetro determinante en el comportamiento ambiental de las sustancias químicas y una propiedad deseable de los productos que se liberan en grandes cantidades al medio natural, tales como detergente, pesticidas, materiales de

embalaje, etc. Mediante el proceso conocido como biodegradación, los microorganismos transforman los compuestos orgánicos, la mayoría de las veces en productos menos tóxicos que los compuestos originales. La biodegradación puede ser primaria y conducir a simples alteraciones estructurales del compuesto, o bien implicar su conversión a productos inorgánicos de bajo peso molecular y constituyentes celulares, en cuyo caso se denomina biodegradación última o mineralización. (Vasquez & Beltran, 2004)

En la Ec 1.2 se observa la degradación de un compuesto que reacciona con el oxígeno.

### **microorganismos**

Compuesto orgánico + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + sales + biomasa      **Ec. 1.2**

#### **1.3.2.6.1. Biodegradación última o mineralización**

En principio cualquier compuesto orgánico es biodegradable. El significado de esta afirmación es que el carbono orgánico de cualquier sustancia, después de una serie de procesos de degradación, más o menos extremos y prolongados, puede oxidarse en dióxido de carbono a través de la respiración microbiana. En ausencia de oxígeno, se producen metano y CO<sub>2</sub>, como se sabe. Este proceso de conversión de carbono orgánico a carbono inorgánico se define como mineralización.

Los términos biodegradación y mineralización se utilizan con frecuencia como sinónimos. En realidad, no siempre un proceso de biodegradación conduce a una mineralización completa del sustrato. Por otro lado, otros factores ambientales, además de la biodegradación, como la temperatura, el agua, la irradiación, etc. pueden tener una parte en el proceso de mineralización. Pero, cualquiera que sea la vía de degradación, el resultado de la mineralización es el cierre del ciclo bio-geo-químico del carbono. (Innocenti, 2003)

La aplicación del jabón potásico en plantas, una vez entra en contacto con los factores medioambientales, se degrada relativamente rápido en carbonato de potasio, impactando de manera eficaz sobre la planta al ser también un fertilizante.

### **1.3.2.7. Acción insecticida-fungicida**

El jabón potásico presenta una propiedad de humectante o mojante usado en diferentes áreas como la agricultura o minería. Es una práctica común añadir jabón a los insecticidas (ver sección 1.3.2.9.1) para pulverizar ciertos agentes humectantes hidrosolubles, con el fin de mejorar el esparcimiento, cubrir mejor la superficie de la planta y aumentar la retención del insecticida por dicha superficie. Los agentes humedecedores mejoran también la eficacia de los insecticidas, fungicidas o bactericidas que matan por contacto. (Bailey, 1984)

En cuanto a su cualidad fungicida, actúa por desestabilización de fracción lipofílica de las membranas celulares, provocando la evacuación de material celular al exterior y la muerte de estas células por deshidratación. Es gracias a este efecto que puede disponer de propiedades bactericidas y fungicidas. (Promisol, 2021)

En cuanto a su cualidad insecticida, contribuye a dificultar su respiración, al obstruir los espiráculos, facilitando la debilidad del exoesqueleto de quitina de insectos de caparazón blando (trips, pulgón, mosca blanca, etc.). Gracias a sus modos de acción, no pueden crearse resistencias. (Promisol, 2021)

### **1.3.2.8. Usos**

Las aplicaciones del jabón potásico se dan en los siguientes ámbitos:

- Limpieza y lavandería: se destina un alto porcentaje del jabón producido para el aseo y lavado doméstico y para empresas comerciales de lavandería
- Textil: los jabones se usan en operaciones de lavado, remojo, encurtido, impermeabilización, abrillantado, etc.
- Pinturas: el jabón forma parte de la formulación de las pinturas de tipo emulsión acuosa, que son resinas sintéticas emulsionadas en agua. También se usan para elaborar pigmentos.
- Papel: se usa como detergente, emulsionante y lubricante. Para fabricar acabados y recubrimientos
- Agricultura: para fabricar insecticidas y evitar infecciones en el ganado.

- Sanitario: los jabones de potasa son utilizados en la limpieza de hoteles, fábricas, restaurantes, tiendas y edificios de oficinas. También se usan jabones líquidos para manos en los aseos de estos establecimientos, para el fregado de suelos; y en hospitales suelen incluir alcohol o agentes antimicrobianos para minimizar los gérmenes.

### **1.3.2.9. Aplicaciones del jabón potásico**

El jabón potásico actúa como un plaguicida en el área de la agricultura, su aplicación sobre las plantas elimina ciertos tipos de hongos e insectos.

En el presente proyecto de investigación, se realiza la eficacia del jabón potásico aplicado a la planta de vid, la misma que en tiempos de crecimiento es afectada por dos tipos de plaga, la arañuela roja y Mildiu. La decisión de aplicar el jabón potásico en este tipo de planta, obedece al potencial de producción de uva que tiene el departamento de Tarija.

#### **1.3.2.9.1. Plaguicidas**

Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos productos agrícolas, madera y productos de madera. El término incluye a las sustancias o mezclas de sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de las cosechas para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte. (Arregui M.C., 2008)

Para combatir este tipo de plagas existe diferentes agentes químicos que están agrupados según la tabla I-6:

**Tabla I-6: Agentes químicos para control de plagas**

Agente químico	Acción
Acaricida	Destruye o inhibe el crecimiento de ácaros y garrapatas.
Fungicida	Previene inhibe o elimina a los hongos.
Herbicida	Utilizado para destruir o inhibir el crecimiento de las plantas indeseables (malezas).
Insecticida	Destruye los insectos o inhibe su crecimiento.

Fuente: (Elaboración propia, 2021)

Acaricida: agente químico, físico o biológico que destruye o inhibe el crecimiento de ácaros y garrapatas.

Fungicida: agente químico físico o biológico que previene inhibe o elimina a los hongos.

Herbicida: agente físico, químico o biológico utilizado para destruir o inhibir el crecimiento de las plantas indeseables (malezas).

Insecticida: agente químico, físico o biológico que destruye los insectos o inhibe su crecimiento.

#### **1.3.2.9.2. Plagas agrícolas**

La plaga es cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales. (FAO, 2018)

Existen varios tipos de plagas y enfermedades que afectan todo tipo de plantas agrícolas, por citar a algunos como la arañuela roja y Mildiu:

### 1.3.2.9.3. Arañuela roja

La arañuela roja (*Tetranychus Urticae*) es un ácaro muy pequeño, que está presente en numerosas plantas de huertos, frutales y jardines. La hembra mide de 0,4 a 0,6 mm, siendo el macho más pequeño. Es de color blanco-anaranjado y verde pálido gran parte del año. Durante el verano tiene una coloración marrón verdosa, siendo las generaciones tardías de un rojo intenso. (INTA, 2019)

Se caracteriza por formar colonias en las que tejen hilos de seda que pueden llegar a cubrir toda la planta. El principal factor de dispersión del ácaro es el aire. Los ataques de la arañuela son muy agresivos debido a varios factores, uno de ellos es su corto ciclo de vida (9 a 14 días) una alta capacidad de reproducción y un rápido desarrollo de resistencia a los acaricidas.

Larvas ninfas y adultos se alimentan de la clorofila, mayormente en el envés de las hojas, destruyendo la epidermis. Si bien las lesiones individuales son muy pequeñas, el ataque de cientos de arañuelas rojas produce miles de lesiones que se manifiesta con el moteado de las hojas, lo que reduce la capacidad fotosintética de las plantas. (INTA, 2019)

**Figura 1-8: Arañuela roja**



Fuente: (INTA, 2019)

### 1.3.2.9.4. Mildiu

Es un tipo de plaga que provocan grandes pérdidas de los agricultores de diversos cultivos. El mildiu ataca especialmente a los cultivos de tipo hortícola como la papa, el tomate, el ajo, el puerro y también es una enfermedad habitual de la vid. Dependiendo

del cultivo, el mildiu se manifiesta a partir de varios hongos como el *Phytophthora infestans* y el *Plasmopora vitícola*. (Lesus, 2006)

El mildiu de la vid es una enfermedad potencialmente muy peligrosa, producida por el hongo “*Plasmopara vitícola*” que afecta a todas las partes verdes de la vid, principalmente hojas, inflorescencias y bayas. En primavera su incidencia suele ser fuerte. La temperatura óptima de reproducción es de 16-24°C y humedad relativa del 70% y Rocío de 6 horas. (INTA, 2013)

- **Síntomas**

Manchas en las hojas amarillentas o de color pardo-rojizo con una textura aceitosa y una forma angular.

Aparición de esporas del hongo en el envés de las hojas con el característico color blanco y formación densa y algodonosa.

En caso avanzado, el hongo presenta afectación importante de los frutos que toman un tono grisáceo. En los racimos jóvenes puede recubrirse de un polvo gris producto de la esporulación del hongo.

El mildiu es una enfermedad que de no controlarse a tiempo puede llegar a provocar pérdidas irreparables en las cosechas. Si no se elimina puede producir rebrote en invierno. (INTA, 2013)

**Figura 1-9: Enfermedad de Mildiu en vid**



Fuente: (CERTIS, 2020)

### **1.3.2.9.5. Indicadores de daño en plantas**

#### **Porcentaje de Severidad (intensidad)**

Es una medida cuantitativa, se refiere al nivel promedio de enfermedad de una unidad. Se lo expresa como el área o volumen de tejido vegetal que está enfermo, usualmente en referencia al área o volumen total (en %). (Ploper, 2018)

### **1.3.3. Requerimientos de calidad del producto terminado**

Existen medidas que permiten definir la calidad del jabón como ser: el índice de saponificación, el pH, humedad, concentración. Al cumplir las exigencias establecidas, el producto terminado estará apto para su uso sin causar ningún daño.

#### **1.3.3.1. Índice de saponificación**

Este dato indica la cantidad de grasa que es saponificada, en caso de no ser completa, habrá un exceso de álcali y grasa sin reaccionar, perdiendo efectividad y ocasionando un menor tiempo de duración debido a la rancidez.

#### **1.3.3.2. Humedad**

Es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra inicial, y el peso de la muestra final después de ser secada mediante temperatura elevadas de 100°C. El resultado de la humedad del jabón curado, determina las cantidades para una correcta dilución del jabón potásico en su composición final.

#### **1.3.3.3. PH**

El PH de un jabón es básico, oscila entre un valor de 7 y 11, siendo los de uso humano, fabricados lo más cercano posible a la neutralidad. En uso para la agricultura el jabón es diluido en agua, por lo tanto, su alcalinidad disminuye hasta casi la neutralidad de PH=7.

#### **1.3.3.4. Concentración final de jabón potásico en disolución**

La concentración final de jabón a formar, de acuerdo a los existentes en el mercado internacional, es de 30-40% m/m. esto proporciona al producto final una correcta manipulación en las dosis a preparar en su campo de aplicación.

#### **1.3.4. Métodos de obtención de jabón**

Existen tres métodos de obtención que se basan en parámetros como ser la disposición de la materia prima, de los costos de equipos y la eficiencia del proceso.

##### **1.3.4.1. Proceso en ebullición total**

Consiste en tener el producto a una temperatura de ebullición de 100 °C durante unas dos o tres horas, bien en horno o al baño maría. El jabón permanece en un estado fluido y de mucha viscosidad (de ahí el nombre de gelificación). De esta forma se consigue que la saponificación se complete, por lo que no es necesaria la curación posterior del jabón obtenido.

Como ventaja de este método, cabe destacar que se pueden añadir aceites esenciales y colorantes después del proceso de saponificación, siempre y cuando el jabón aún no se haya solidificado. De esta forma preservamos estos componentes del pH básico del proceso de saponificación y que podría alterar su composición. (Bailey, 1984)

Este proceso de ebullición consta de etapas complementarias a la saponificación, como el salado (para separar la glicerina del jabón), el lavado de jabón (eliminar impurezas y restos de glicerina) y agregado de aditivos.

##### **1.3.4.2. Proceso de semiebullición**

Los jabones saponificados a temperaturas moderadas (50-70°C) se llaman también jabones semicocidos, se obtienen por saponificación de las grasas en recipientes no muy grandes provistos de inyección a vapor que al mismo tiempo que calienta, agita la masa. La grasa fundida se calienta a temperatura que varía entre 45 y 65°C, según su naturaleza, y se agrega la lejía en cantidad casi exacta para obtener una saponificación gradual que se completa al cabo de 24 horas. Por ser la saponificación una reacción

exotérmica se controla la temperatura agitando cada vez que esta se eleva. Terminada esta operación se agregan los materiales de ayuda o de relleno y cuando la masa toma un aspecto rugoso y bastante sólido, se vierte en pequeños moldes. Los jabones semicocidos contienen toda la glicerina liberada en la saponificación, por lo que son suaves y transparentes y como no se separan por agregado de salmuera, estos pueden ser utilizados con aguas saladas. Estos jabones contienen, sin embargo, más impurezas que los jabones cocidos, pues en ellos no se separan las lejías; tienen alrededor de 0,3% de álcali libre, una pequeña cantidad de grasas sin transformar y glicerina, por lo que son susceptibles a sufrir oxidación, decoloración y enranciamiento, si no se les da uso rápido. (Arroyo, 1998)

Los procesos de semiebullición representan la fabricación de jabón en su forma más sencilla, en la cual se obliga a reaccionar la grasa, con una cantidad de álcali concentrado. Estos procesos tienen la ventaja de necesitar instalaciones sencillas y mucho menos cuidado por parte del especialista. Por otra parte no permite la recuperación de glicerina que es un producto de relativo valor; las materias primas no se purifican en el mismo grado que en proceso de ebullición total; y se considera que los productos obtenidos por dichos procedimientos son algo inferiores en calidad a los jabones sedimentados. (Bailey, 1984)

Los jabones de semiebullición se pueden preparar bien en las calderas ordinarias o por tratamiento de pequeñas cantidades, en las máquinas turbo mezcladoras. En cualquier caso se calienta la carga con la cantidad de hidróxido concentrado (25 a 35 °Be). Estos procesos de semiebullición se emplean en la preparación de jabones blandos o potásicos (los cuales no son fáciles de salar) y en la de los jabones relativamente baratos y difíciles de envasar, obtenidos en instalaciones pequeñas. (Bailey, 1984)

#### **1.3.4.3. Proceso en Frío**

Reciben el nombre de jabones en frío los que se obtienen a temperaturas relativamente bajas que oscilan entre 25 y 35 °C dependientes del punto de fusión de la grasa saponificada. (Arroyo, 1998)

Se parte desde los reactivos iniciales, aceites y/o grasas y disolución de álcali-agua, en frío. Se suele hacer con hidróxido sódico y se obtienen jabones duros. El principal inconveniente de esta técnica ocurre cuando partimos de grasas sólidas (sebo). Para solventarlo se calientan y se mezclan con grasas líquidas (aceites) para conseguir una mezcla con un menor punto de fusión y por tanto líquida a temperatura ambiente. Los jabones obtenidos por este proceso se deben someter a un proceso de curado, es decir, hay que dejarlos reposar de 4 a 8 semanas para que la reacción de saponificación se complete, y el jabón vaya adquiriendo un pH menos básico. Este tiempo de curación también permite que el jabón pierda el exceso de agua que tenga y se vaya endureciendo. (Bailey, 1984)

La reacción en frío se suele usar más para la elaboración artesanal y casera de jabones (jabón a partir de los aceites usados de uso doméstico).

### **1.3.5. Fabricación industrial de jabón**

En la industria del jabón es más comúnmente utilizado el proceso en caliente. Las grasas se saponifican en una solución de hidróxido sódico en una caldera abierta, que tiene en el fondo tubos de vapor cerrados, para el calentamiento indirecto, y otros abiertos para un calentamiento directo, pasando el vapor a una velocidad adecuada para mantener la agitación y la ebullición. (Bernardini, 1981)

Cuando la reacción ha sido completada, se añade sal con lo que precipitan gruesos coágulos de jabón. La capa acuosa, que contiene glicerina, se elimina y se concentra, purificando la glicerina por destilación al vacío. El jabón crudo contiene glicerina, álcali y sal y, para separar estas impurezas, se hierve con suficiente cantidad de agua para que se forme un líquido homogéneo, volviendo a precipitar el jabón por adición de sal. Este proceso puede repetirse, para recuperar totalmente la glicerina y eliminar las impurezas. Finalmente, se hierve con agua suficiente para que se forme una mezcla blanda de la que, dejándola en reposo, se separa arriba una capa homogénea del llamado jabón de caldera (o jabón base), producto que contiene un 69-70% de jabón, 0,2-0,5% de sal y alrededor de un 30% de agua. Parte de este producto se vende como tal, y otra parte tras adicionarse perfume y colorante se destina a usos domésticos.

A los jabones para desengrasar se les añade arena, carbonato sódico o productos de carga; a los jabones medicinales, se les adiciona cresol u otros antisépticos. Los jabones transparentes se preparan disolviendo en alcohol jabón parcialmente desecado. (Bailey, 1984)

#### **1.3.5.1. Procesos de producción de jabones**

De acuerdo al tipo de jabón a producir y las cantidades a procesar, los jabones pueden elaborarse según diferentes procedimientos, entre ellos tenemos procesos discontinuos y procesos continuos.

#### **1.3.5.2. Procesos discontinuos**

Este procedimiento generalmente es empleado cuando se trabaja a pequeña y mediana escala. Pueden elaborarse mediante este proceso, jabones saponificados en ebullición, semiebullición y frío. Ambos procesos usan la saponificación directa como reacción principal, aunque cada uno presenta algunas variantes.

#### **1.3.5.3. Procesos continuos**

El clásico proceso continuo para la elaboración de jabones tiene el inconveniente de ser muy largo y de tener un alto costo de mano de obra. Con el fin de abreviarlo se han hecho numerosas modificaciones, aprovechando, por ejemplo, las lejías de una saponificación para iniciar otras o efectuando un movimiento en contracorriente entre lejía y jabón. Con estas variantes se logra acortar, inclusive de ocho a dos días el periodo necesario para obtener un jabón terminado.

En los últimos años, han surgido diversos métodos industriales, destinados a disminuir el periodo de la saponificación, sobre bases distintas a las de los procedimientos clásicos dado que son procesos de elaboración continua que operan a presión y temperatura elevadas.

### 1.3.6. Selección del método de obtención

Para seleccionar el proceso correcto se toma en cuenta varios factores que son expuestos en puntos anteriores (sección 1.3.4), definiendo los factores más importantes para la selección:

- Disponibilidad y naturaleza de materia prima
- Tipo de producto a obtener
- Cantidad de producto a obtener en función de la demanda
- Costo del proceso
- Calidad del jabón terminado

De acuerdo a las referencias bibliográficas que se tienen, se reporta que se puede realizar la obtención de jabón potásico mediante 3 métodos: proceso en ebullición total, proceso en semiebullición y proceso en frío.

Cabe señalar que, dentro del proceso, existen etapas previas a la obtención del jabón, lo que hace que la operación sea por lotes o de forma discontinua.

**Tabla I-7: Ventajas y Desventajas de los métodos**

Método	Ventajas	Desventajas
<b>Proceso ebullición total</b>	-Uso inmediato del producto -Recuperación de glicerina	-Elevado gasto energético -Mayor uso de insumos
<b>Proceso semiebullición</b>	-Se puede añadir aceites esenciales y colorantes -Tiempo de curado mínimo	-No permite la recuperación de glicerina -Requiere de una fuente de calor
<b>Proceso en frío</b>	-No necesita de calor -Instalaciones sencillas	-Se emplean lejías muy concentradas -No permite la recuperación de glicerina -Mayor cuidado en las proporciones

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

En la tabla I-8 se asigna la escala de calificaciones para la ponderación de factores en los métodos nombrados, de acuerdo a una escala de cero a diez.

**Tabla I-8: Escala de Puntuación**

Escala de puntuación	Puntuación
Excelente	9-10
Muy buena	7-8
Buena	5-6
Regular	3-4
Deficiente	1-2

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

En la tabla I-9 se determina el método más apropiado para la obtención de jabón potásico, calificando a los métodos de acuerdo a los factores establecidos, siendo el elegido aquel que tenga mayor puntaje.

**Tabla I-9: Matriz de decisión para selección de método de obtención**

Selección del método de proceso para la elaboración de jabón potásico								
Factores	Valor factores %	Fracción de Factores %	Proceso					
			Frío		Semiebullición		Ebullición total	
			Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado
Aplicable a la materia prima	30	0,3	2	0,6	8	2,4	8	2,4
Tiempo de obtención	20	0,2	3	0,6	7	1,4	8	1,6
Costo de inversión	20	0,2	8	1,6	7	1,4	3	0,6
Calidad de jabón terminado	30	0,3	5	1,5	9	2,7	10	3,0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>1</b>		<b>4,3</b>		<b>7,9</b>		<b>7,6</b>

Fuente: (Elaboración Propia, 2019)

De acuerdo a las tablas I-8 y I-9 presentadas anteriormente, se observa que el método con mayor puntaje, es el **proceso de semiebullición**. Este método ofrece flexibilidad con la materia prima, bajo costo de instalación-mantenimiento y buena calidad del producto.

Debido al punto de fusión de la grasa o sebo (mayor a 40 °C), se necesita de una fuente de calor para fusionar y cambiar su estado a líquido en la mezcla, se descarta el proceso en frío.

El proceso de ebullición total trabaja con materias primas purificadas y consta de varias etapas para su desarrollo, elevando el costo de inversión. Entre las etapas, está el salado del jabón, que busca separar la glicerina del jabón.

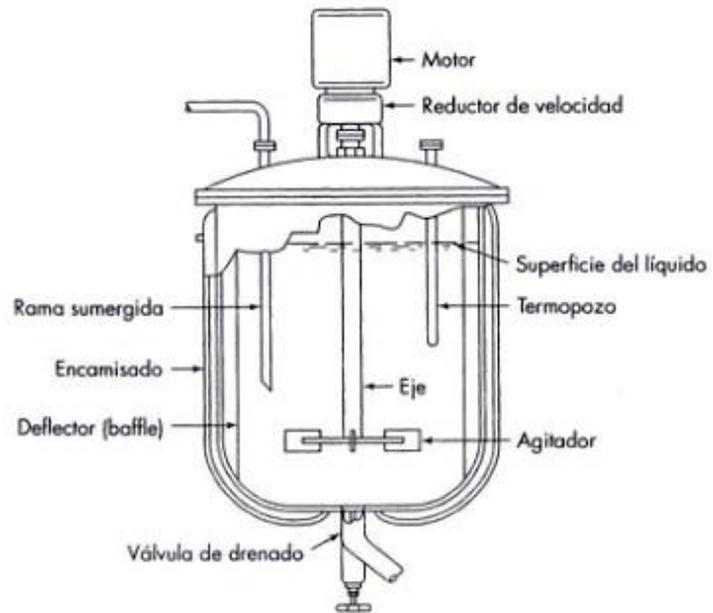
En el proceso por semiebullición, no existe separación de la glicerina, por la inestabilidad del jabón en el salado, por lo cual, no necesita de instalaciones complejas para su elaboración. En contraparte la glicerina aporta poder humectante al jabón potásico.

Por estas diferencias nombradas anteriormente, el método escogido es el proceso por semiebullición.

### **1.3.7. Elección del reactor**

La selección del reactor a utilizar para un proceso discontinuo, debe maximizar el rendimiento y alcanzar una velocidad de producción elevada. en general para producciones pequeñas, lo más adecuado es utilizar un reactor BATCH, el cual trata de un agitador y consiste en tratar una reacción química a temperatura y concentración constantes sin que exista un cambio del flujo másico de entrada o salida.

En la figura 1-10 se observa los accesorios para brindar una reacción óptima.

**Figura 1-10: Reactor BATCH**

Fuente: (prototipo, zorro, 2019)

## CAPÍTULO II

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1. Diseño experimental para la obtención de jabón potásico

El diseño factorial es una técnica para encontrar el comportamiento de una variable a partir de diferentes combinaciones de factores o variables de entrada de un proceso, que al cambiar afectan la variable respuesta.

##### 2.1.1. Planteamiento de hipótesis

El tiempo de reacción de saponificación influye en la variable respuesta.

Las diferentes temperaturas a las cuales se lleva la reacción influyen en la variable respuesta.

La concentración de la solución de hidróxido de potasio usada en la reacción de saponificación influye en la variable respuesta.

Pasos para realizar el diseño factorial

El diseño factorial comprende los siguientes pasos:

- Elección de las respuestas a medir.
- Elección de las variables objeto de estudio.
- Elección del intervalo de valores para dichas variables.
- Planificación de experimentos.
- Realización de experimentos y recolección de datos.
- Análisis de los datos experimentales.

##### 2.1.1.1. Elección de la variable respuesta a medir

La variable respuesta más conveniente a medir es el índice de saponificación, dato que define la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar un gramo de grasa o sebo.

### 2.1.1.2. Elección de las variables de operación: factores

Para la elección de las variables se toma en cuenta las condiciones de operación presentes en el libro (Bailey, 1984), además se realiza una prueba de saponificación para una mayor aproximación de variables. De acuerdo a los valores seleccionados en la tabla se plantea una alternativa con parámetros que brindan mayor rendimiento y eficiencia, sin descuidar la calidad del producto.

En la tabla II-1 se determina los intervalos de tiempo a partir de una concentración constante de 25% de hidróxido de potasio y se toma 2 temperaturas por encima del punto de fusión del sebo que es de 40-50 °C aproximadamente.

- **Temperatura de saponificación:** Es la temperatura a la cual entran al proceso tanto el sebo como el hidróxido de potasio, es primordial para determinar qué tipo de reacción se lleva a cabo y qué productos y subproductos se forma en la misma.

El límite superior es de 70°C y el límite inferior 60°C. se elige estos valores porque el proceso de semiebullición indica valores inferiores a la temperatura de ebullición (100°C) y como se trabaja con sebo (punto de fusión superior a 40°C), el valor de límite inferior es de 60 °C.

- **Concentración de hidróxido de potasio en solución:** la cantidad de potasa cáustica que reacciona con el sebo, determina la medida de alcalinidad y humedad del producto terminado.

La concentración inferior se fija en 25 % (m/m) y la concentración superior de 30% (m/m), datos obtenidos de acuerdo a bibliografía. (Bailey, 1984)

Se usa estos intervalos de concentración, porque brindan una elaboración óptima con el sebo de res; valores superiores de concentración se obtiene un jabón muy alcalino, y valores inferiores se da una reacción incompleta y exceso de tiempo.

- **Tiempo de agitación:** el tiempo de agitación a 80 r.p.m. es de suma importancia para obtener un contacto completo de la reacción entre los ácidos grasos y la solución de hidróxido de potasio.

El límite superior se fija en 90 min y el límite inferior de 60 min. Estos valores de intervalo de tiempo se seleccionan por las pruebas realizadas en laboratorio para determinar variables.

En la combinación de hidróxido de potasio y sebo, durante los primeros 60 min se observa que la mezcla aún no interacciona completamente. Luego de los 60 min de reacción la mezcla comienza a homogeneizar, presenta un cuajado que persiste unos 30 min. Hasta llegar a los 90 min donde la pasta de jabón comienza a adquirir una consistencia muy viscosa, imposibilitando que continúe la agitación.

**Tabla II-1: Estimación de la variable tiempo en el diseño experimental**

Prueba	Temperatura	Descripción	Intervalo de tiempo estudiado
1	50°C	La mezcla no era homogénea y la saponificación incompleta.	Se selecciona el tiempo inferior a 60min, cuando empieza el cuajado y el tiempo superior de 90 min porque la mezcla aún presenta consistencia para ser agitada.
2	60°C	Al cabo de 60 min, la mezcla empieza el cuajado y presenta uniformidad.	
3	80°C	Al cabo de 50 min, la mezcla llega al cuajado pero inmediatamente la consistencia es dura y no llega a mezclarse bien.	

Fuente: (Elaboración propia, 2019)

De acuerdo a la tabla II-1, se establece los intervalos de operación más beneficiosos para el proceso.

### **2.1.2. Modelo del diseño factorial**

Es necesario conocer qué variables influyen significativamente en el sistema y cómo afectan. A menudo esta información no está disponible y se lo genera experimentando.

Primero se recogen en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta. A continuación, se realizan una serie de experimentos en los cuales se fijan las variables que no interesa modificar, se anota el valor de los que no se puede controlar, y se varían las restantes.

Finalmente, se obtiene la información comparando la variación de las respuestas entre experimentos.

El elevado costo de la experimentación y las limitaciones del tiempo obligan a ejecutar solo los experimentos imprescindibles.

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son óptimas para generar la información que se busca. Estos experimentos están planeados de forma que se varían simultáneamente varios factores, pero se evita que se cambien siempre en la misma dirección.

$$N^{\circ} \text{ variables} = 3 = k$$

$$N^{\circ} \text{ niveles} = 2 = n$$

$$n^k = 2^3 = 8$$

**Tabla II-2: Niveles de variación de los factores/variables**

FACTORES	NIVEL	
	BAJO (-)	ALTO (+)
A= TEMPERATURA (°C)	60	70
B= TIEMPO (min)	60	90
C= CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN KOH % (m/m)	25	30

$$N_{\text{exp}} = (N^{\circ} \text{ Niveles FA} * \text{ Niveles FB} * \text{ Niveles FC}) * N^{\circ} \text{ réplicas}$$

$$N_{\text{exp}} = 8 * 2 \text{ réplicas} = \boxed{16 \text{ experimentos}}$$

**Tabla II-3: Resumen del diseño**

Factores:	3	Réplicas:	2
Corridas base:	8	Total de corridas:	16
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

**Tabla II-4: Matriz de diseño**

N°	Factor A Temperatura (°C)	Factor B Tiempo (min)	Factor C Concentración de solución KOH %(m/m)	Índice de saponificación (mg KOH/g grasa)
1	-1	-1	-1	R
2	-1	-1	+1	R
3	-1	+1	-1	R
4	-1	+1	+1	R
5	+1	-1	-1	R
6	+1	-1	+1	R
7	+1	+1	-1	R
8	+1	+1	+1	R

Fuente: (Elaboración propia, 2019)

**R:** variable respuesta a medir

**Tabla II-5: Plan de experimentación**

N° Pruebas	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Concentración de solución KOH % (m/m)	Índice de saponificación (mg KOH/g grasa)
1	60	60	25	R
Rep.1	60	60	25	R
2	60	60	30	R
Rep 2	60	60	30	R
3	60	90	25	R
Rep 3	60	90	25	R
4	60	90	30	R
Rep 4	60	90	30	R
5	70	60	25	R
Rep 5	70	60	25	R
6	70	60	30	R
Rep 6	70	60	30	R
7	70	90	25	R
Rep 7	70	90	25	R
8	70	90	30	R
Rep 8	70	90	30	R

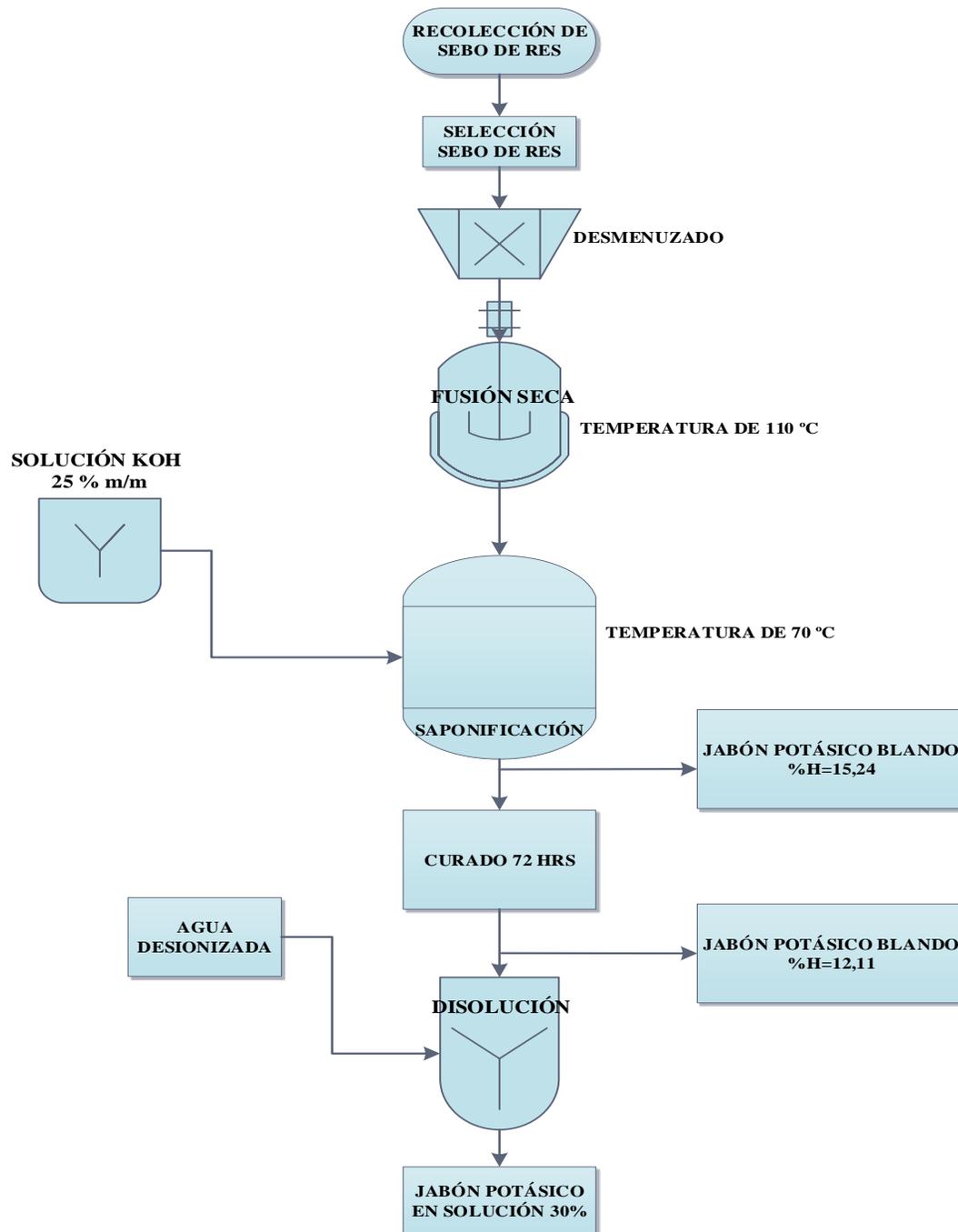
Fuente: (Elaboración propia, 2019)

**R:** variable respuesta

## 2.2. Diagrama del proceso de elaboración de jabón potásico

Se realiza el procedimiento que se describe a continuación en el diagrama de flujo:

**Figura 2-1: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de jabón potásico**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

El presente trabajo de investigación se realiza en los ambientes del laboratorio de operaciones unitarias, en el cual se obtiene datos y parámetros experimentales de la materia prima “sebo de res”, que sirven para el correcto desarrollo de obtención del jabón potásico.

### 2.2.1. Recolección de la materia prima

La materia prima utilizada en el presente estudio, es sebo proveniente de alrededor de los riñones de la res de raza criolla, procedente del valle central de Tarija, en específico, de las instalaciones del mercado campesino, sección carnes.

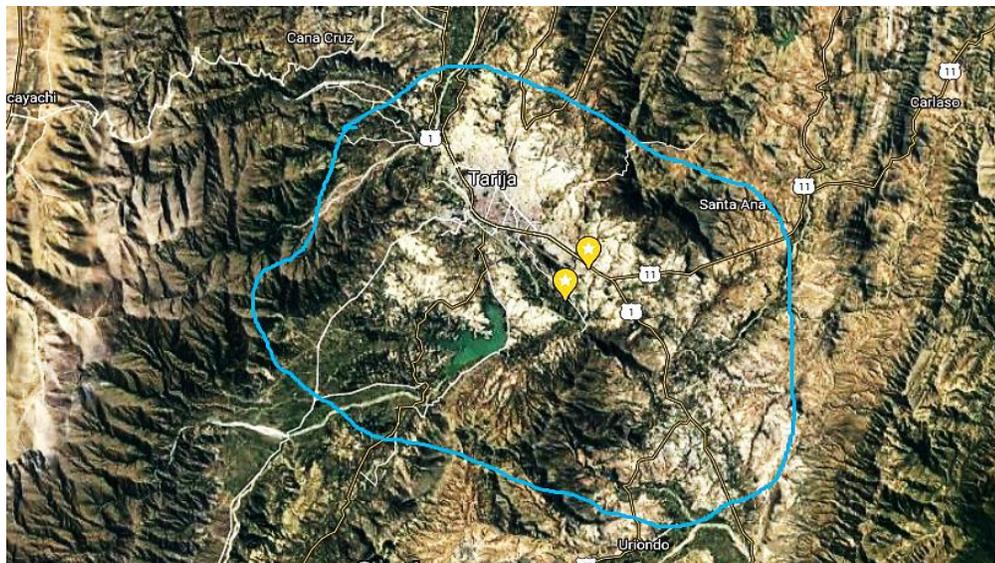
Su ubicación geográfica en coordenadas geográficas es:

Latitud: 21.560504

Longitud: 64.738198

El sebo de res obtenido luego de sacrificar al animal, aún está húmedo, contiene una humedad de 5,89 %; viene en piezas de volumen considerable de 200 a 300 cm<sup>3</sup>, es de color amarillento y tiene adherido algunos trozos de carne o piel en un porcentaje de 4,01%.

**Figura 2-2: Ubicación geográfica de la materia prima**



Fuente: (Elaboración propia, 2021)

### 2.2.2. Selección del sebo de res

La selección del sebo se realiza mediante monitoreo visual y se basa en retirar cualquier material extraño como ser huesos, tejido o carne en descomposición que pueda afectar o influir en el proceso de fusión.

Luego de limpiar el sebo de res, se encuentra que contiene aproximadamente 2% de carne, 1,2% de piel y 0,9% de tejido conjuntivo (ver sección 3.1.1).

**Figura 2-3: Sebo de res**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

### 2.2.3. Desmenuzado

La carga de sebo de res fresco se lleva a un tornillo sin fin, para su desmenuzado en trozos de 3 cm<sup>2</sup>, con el fin de aumentar el área de contacto entre el sebo y el calor generado por la caldera para poder fusionar.

**Figura 2-4: Sebo de res en trozos**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

#### **2.2.4. Fusión**

La carga de sebo de res desmenuzada pasa a la caldera durante 60 minutos, a una temperatura de 110 °C y una agitación constante evitando que el sebo se pueda adherir a la caldera y quemarse. Al finalizar la fusión, mediante un colador de acero inoxidable de 1 mm de diámetro, se separa el sebo de res refinado en estado líquido de la materia extraña que se encuentra en estado sólido.

Después de procesar el sebo de res se deja reposar 24 horas solidificándose. Debido a este reposo una cantidad mínima de partículas precipitan en el fondo, quedando en la parte superior, sebo de res limpio y listo para usarse en a la elaboración de jabón potásico.

**Figura 2-5: Sebo en fusión**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

#### **2.2.4.1. Análisis de la materia prima**

Luego de obtener el sebo de res refinado, la cantidad de impurezas o chicharrón es de 17,87% (ver sección 3.2.1), se deja reposar por 12 horas, para analizar sus características químicas.

##### **2.2.4.1.1. Determinación del índice de saponificación**

Para la determinación se procede a analizar conforme a la norma Boliviana NB 34005 (ver Anexo IV).

El procedimiento es el siguiente:

- Pesar de 2 a 3 gr de sebo de res en un Erlenmeyer de 200 ml.
- Agregar 25 ml de solución alcohólica de hidróxido de potasio.
- Calentar a ebullición en baño maría durante 30 a 60 minutos con refrigerante a reflujo.

- Luego del tiempo establecido, agregar 1 ml de fenolftaleína a la solución.
- Valorar en caliente con HCl 0,5 N hasta desaparecer la coloración rosada.
- Repetir el procedimiento para una prueba en blanco.

$$I.S = \frac{PM * (V_1 - V_2) * N}{M}$$

Donde:

I.S.= índice de saponificación (mg KOH)

PM = peso molecular del KOH

$V_1$  = volumen de HCl gastado en prueba en blanco

$V_2$  = volumen de HCl gastado

M = masa de sebo de res

N= normalidad de la solución de HCl 0,5N; f = 0,99824

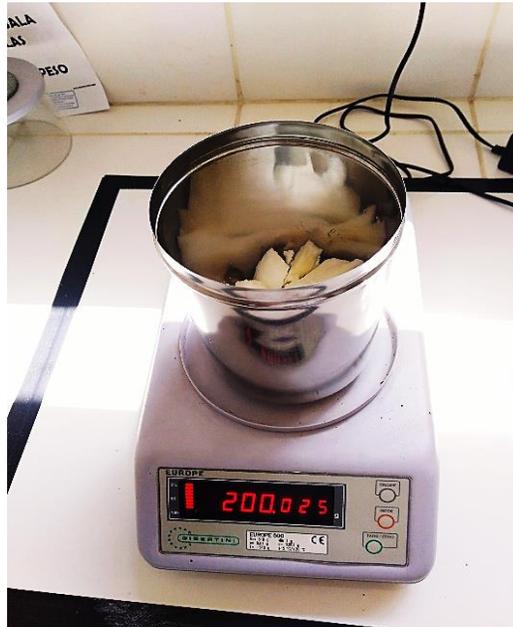
#### **2.2.4.1.2. Determinación del índice de acidez y el índice de peróxidos**

Para determinar este parámetro, se lleva una muestra representativa de 400 gr de sebo de res al centro de análisis, investigación y desarrollo "CEANID" (ver Anexo I).

#### **2.2.5. Saponificación**

Para la prueba de saponificación se adecúa un recipiente de acero inoxidable con termostato, en el cual se introduce 200 gramos de sebo de res refinado y se calienta a 50 °C para llevar a estado líquido.

**Figura 2-6: Pesaje del sebo**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

Luego se procede a verter la solución saponificante, que de acuerdo a nuestro diseño experimental según la tabla II-2, contiene 42,39 gramos de hidróxido de potasio disueltos en agua desionizada para obtener dos soluciones a concentración de 25 % m/m y 30 % m/m; la mezcla debe permanecer a una temperatura constante de 60°C y 70°C mientras trabaja a una agitación constante de 80 rpm durante los tiempos de 60 y 90 min respectivamente.

La saponificación inicia con dos líquidos inmiscibles, pero a medida que avanza, se observa que la mezcla termina por homogeneizarse y presentar una consistencia pastosa, punto en el cual termina la reacción. La pasta resultante es jabón potásico más la glicerina, seguidamente se coloca en los envases rotulados para su posterior análisis de índice de saponificación y pesado correspondiente.

**Figura 2-7: Mezcla de KOH y sebo antes de la agitación**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

En la figura 2-8 se muestra la reacción de saponificación en el reactor Batch que se adecúa para su realización.

**Figura 2-8: Agitación de la mezcla sebo y KOH**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

### 2.2.6. Curado del jabón potásico

Luego de la reacción de saponificación, el jabón potásico aún no está totalmente saponificado debido a la utilización del método de obtención por semiebullición, para lo cual se realiza un seguimiento analizando el jabón cada 24 horas, mediante valoraciones de índice de saponificación descritas en la sección (2.2.9.1).

En la figura 2-9 se aprecia el jabón luego de la saponificación en un estado semisólido.

**Figura 2-9: Jabón potásico en estado semisólido**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

### 2.2.7. Disolución del jabón semisólido en agua desionizada

El jabón potásico blando luego de ser elaborado posee una consistencia pastosa blanda, por lo cual, es diluido en agua desionizada para lograr una concentración óptima y una facilidad de medición en su aplicación.

Debido a la naturaleza y particularidad de la materia prima de ser sólido a temperatura ambiente, la solubilidad del jabón se ve afectada. Por lo tanto, se maneja intervalos de concentración 10 a 40 % m/m.

Se realiza pruebas de dilución de diferentes cantidades de jabón potásico semi sólido en agua desionizada, hasta encontrar su máxima solubilidad posible.

### 2.2.8. Almacenamiento del producto final

El producto final, es un jabón potásico líquido en disolución que se envasa en un recipiente de plástico (PET) opaco de 1 litro de volumen para su posterior aplicación.

**Figura 2-10: Jabón potásico en solución**



Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 2.2.9. Análisis del producto jabón potásico blando o semisólido

El producto obtenido, es un jabón de consistencia pastosa de color crema, al que se realiza los respectivos análisis como son, índice de saponificación, el pH y porcentaje de humedad.

#### 2.2.9.1 Determinación del índice de saponificación

Para la determinación del índice de saponificación del jabón se realiza el mismo procedimiento para con el sebo de res conforme a lo establecido en la norma Boliviana NB 34005 (ver Anexo IV).

**Figura 2-11: Análisis de índice de saponificación del jabón potásico**



Fuente: (Elaboración propia, 2019)

### **2.2.9.2. Determinación del PH**

Se procede a verter 50 ml de jabón disuelto al 30% en un vaso o recipiente, y se dispone a medir con un pH metro previamente calibrado, esperar a que el valor esté estable y se registra. (especificación técnica, ver Anexo II).

### **2.2.9.3. Determinación de la humedad del jabón blando semisólido**

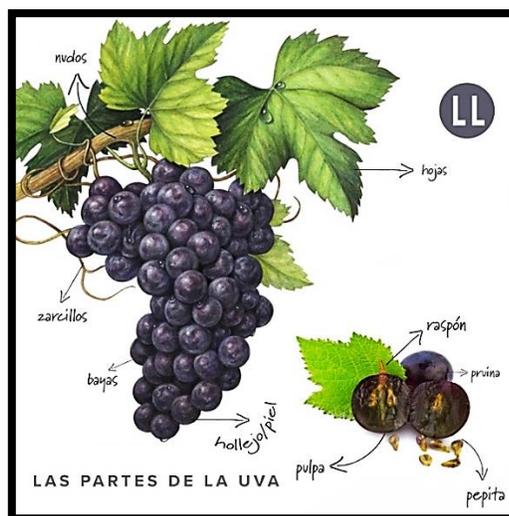
Para la determinación de la humedad, se procede a pesar 5 gramos de jabón potásico previamente desmenuzado, en un equipo de secado por infrarrojo (especificación técnica, ver Anexo II).

### 2.3. Eficacia del jabón potásico en solución al 30% aplicado a planta de Vid

#### Tipo de investigación

El ensayo tiene por objetivo, demostrar la efectividad del jabón en el control y eliminación de plagas como ser la arañuela roja y el Mildiu "plasmopora vitícola", mediante el método estadístico a diferentes dosis aplicado en el cultivo de uva de mesa en su variedad "Ribier".

**Figura 2-12: Anatomía de la uva**



Fuente: (Ploper, 2018)

#### 2.3.1. Ubicación de la zona de estudio

El experimento se realiza en la zona de Pampa la Villa Grande, una de las comunidades productoras de vid que pertenece a la provincia Uriondo que se encuentra a 25 km de la ciudad de Tarija.

#### 2.3.2. Características del terreno

El terreno cuenta con diversidad de plantas frutales como durazneros, membrilleros, y en especial, viñedos de distintas variedades ubicados en forma de hileras con el método espaldera.

- Distancia entre plantas de vid: 0,8 m
- Distancia entre Hileras de vid: 1 m

### 2.3.3. Selección de parcelas

Las plantas se seleccionan por disponibilidad y existencia de plaga. La variedad tratada “Ribier”, dentro de sus cuidados, se realiza mínimamente 10 tratamientos fitosanitarios aplicados con agroquímicos durante todo el ciclo biológico de la vid.

### 2.3.4. Diseño factorial eficacia

Los tratamientos están conformados por dos dosis de jabón potásico, un tratamiento a 2% recomendado por bibliografía y otro tratamiento al 4% para evaluar si es más efectivo, además de una planta sin aplicación denominado “control testigo”, hacen un total de 3 plantas a emplear.

**Tabla II-6: Tratamientos aplicados a la vid**

Tratamiento	Dosis
T1	2% diluido en agua
T2	4% diluido en agua
T3	Sin aplicación

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

### 2.3.5. Parámetros evaluados

La eficacia biológica del producto se evalúa mediante las variables de grado de infestación y porcentaje de severidad en arañuela roja y Mildiu.

Y1: Severidad de los síntomas en hojas y racimos

Y2: Grado de infestación en planta por acaricida

Y3: Porcentaje de eficacia de control

**Tabla II-7: Parámetros evaluados**

Acción	Tipo	Indicador	Variable respuesta
Acaricida	Arañuela roja	Grado de infestación	Eficacia
Enfermedad	Mildiu	Porcentaje de severidad en racimo	Eficacia
		Porcentaje de severidad en hoja	Eficacia

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

### 2.3.6. Procedimiento

#### a) Identificación de la plaga

Primero se realiza la observación visual de las espalderas, para determinar si existe infestación de alguna plaga en el follaje de la vid.

#### b) Preparación de dosis de jabón potásico

Posterior a la existencia de plaga, se prepara la dilución del jabón potásico en agua, a sus respectivas concentraciones. Para el tratamiento 1 es de 40ml en 2 litros de agua, para el tratamiento 2 de 80 ml en 2 litros de agua. El agua empleada proviene del río Guadalquivir.

#### c) Aplicación de jabón potásico sobre vid

Para la aplicación se hace en tempranas horas de la mañana y se usa un atomizador de bomba manual de 2 Lt de capacidad.

Se pulveriza la solución de jabón potásico sobre tallo, racimo y hoja tanto en haz como envés, de forma uniforme de arriba hacia abajo.

#### d) Frecuencia de tratamientos

La cantidad de tratamientos en el caso de arañuela, está en función a lograr la desaparición de la plaga en su totalidad y se aplica cada 10 a 14 días aproximadamente.

En el caso del mildiu se efectúa un tratamiento cada 10-14 días aproximadamente desde la floración hasta poco después del envero.

La frecuencia varía en función de la climatología, evitando aplicar en días lluviosos.

#### e) Recolección de datos

Se realiza el diagnóstico, a través de la observación visual tomando 10 hojas de cada vid y contabilizando el daño tanto en hoja como racimo de la enfermedad de Mildiu.

Para la obtención de datos se trabaja con escalas de daño como se muestra en la tabla II-8, particular de cada tipo de planta.

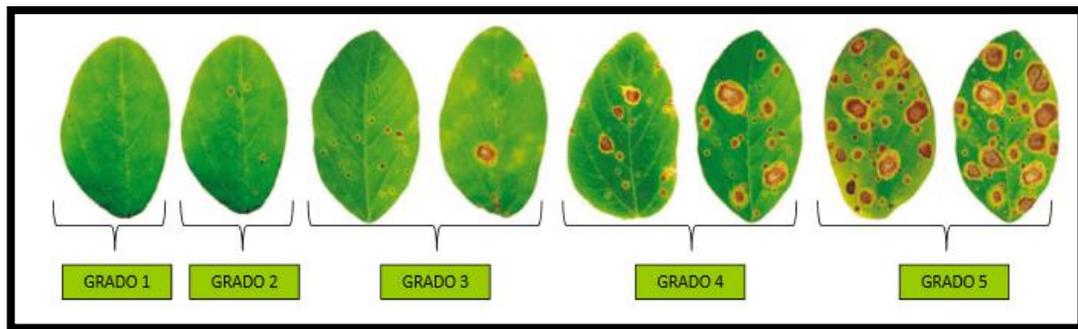
**Tabla II-8: Escala de daño en hoja de la vid**

<b>Grado-Escala de Daño</b>	
0	No existe daño
1	0-20%
2	21-40%
3	41-60%
4	61-80%
5	81-100%

Fuente: (ICA, 2006)

Para un mejor diagnóstico del daño en la hoja de vid, se califica de acuerdo a lo observado en la figura 2-13.

**Figura 2-13: Escala grado de severidad en hoja de Vid**



Fuente: (Ploper, 2018)

Para el daño de la vid en racimo se usa la tabla II-9 según la especie a tratar.

**Tabla II-9: Escala de daño en racimo**

Grado-Escala de Daño	
0	No existe daño
1	0-25%
2	26-50%
3	51-75%
4	76-100%

Fuente: (ICA, 2006)

Para la arañuela roja se toma 10 hojas de cada vid y se contabiliza la cantidad de larvas, ninfas y adultas que existen.

### **2.3.7. Porcentaje de Severidad (intensidad)**

La determinación de la severidad es través de la ecuación de Townsend-Heuberger que evalúa el efecto por escala de gravedad y es la siguiente.

$$\text{Severidad de ataque } I = \sum \left( \frac{a * b}{X * N} \right) * 100$$

Donde:

a= Número de hojas (o de frutos) afectadas en cada grado

b= Valor de la escala

X= Valor mayor de la escala.

N= Número total de hojas (o de frutos) evaluados

### **2.3.8. Porcentaje de eficacia**

Para el cálculo de la eficacia, se usa la ecuación de Henderson-Tilton ya que la infestación es heterogénea:

$$\% E = \left[ 1 - \left( \frac{C_a}{T_a} \right) * \left( \frac{T_d}{C_d} \right) \right] * 100$$

Donde:

Ta= Infestación en parcela tratada antes de aplicar el tratamiento.

Ca= Infestación en parcela testigo antes de aplicar el tratamiento.

Td= Infestación en parcela tratada después de aplicar el tratamiento.

Cd= Infestación en parcela testigo después de aplicar el tratamiento.

### **2.3.9. Datos obtenidos de infección por arañuela roja y Mildiu**

Los datos recogidos en las pruebas de campo se encuentran tabulados en el anexo III.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima: sebo de res

Se realiza el análisis de saponificación del sebo de res. Para una correcta determinación del índice de saponificación se toman 5 muestras, para una mayor precisión de los resultados.

**Tabla III-1: Índice de saponificación sebo de res**

V1 HCl blanco (ml)	V2 HCl muestra (ml)	M (sebo) (gr)	PM (KOH) (gr/mol)	I.S. (mgKOH/gr sebo)	I.S. (mgKOH/gr sebo) PROMEDIO
31,4	5,5	3,3981	56,1	213,7945	<b>211,954</b>
31,4	7,6	3,1919	56,1	209,1513	
31,4	7,9	3,1037	56,1	212,3836	
31,4	7	3,2255	56,1	212,1904	
31,4	7,7	3,1321	56,1	212,2490	

Fuente: Datos obtenidos experimentalmente en el LOU, 2018.

Según tabla III-1 el valor de 211,954 mg esta fuera de rango según bibliografía, esto debido al tipo de sebo de res, aun así, el valor es aceptable por estar cercano.

Las siguientes tablas, muestran los resultados obtenidos al llevar una muestra representativa de 400 gr al CEANID. (Ver anexo I)

**Tabla III-2: Índice de acidez en el sebo de res refinado**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultado
Acidez (ac. Oleico)	NB 34004:07	%	0,56

Fuente: CEANID, 2018

**Tabla III-3: Índice de peróxidos**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultado
Índice de peróxidos	NB/ISO 8968 1 :08	mEqO <sub>2</sub> / kg	4,87

Fuente: CEANID, (2018) (Ver anexo I)

**Tabla III-4: Rancidez**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultado
Rancidez	Ensayo de Kreis	pos/neg	negativo

Fuente: CEANID, (2018) (Ver anexo I)

Las tablas III-2, III-3 y III-4 muestran valores aceptables según bibliografía, para su uso en la obtención de jabón potásico.

#### Caracterización física de sebo de res

**Tabla III-5: Índice de refracción**

Parámetro	Técnica	Unidad	resultado
Índice de refracción	NB 34003		1,4712

Fuente: CEANID, (2018) (Ver anexo I)

A continuación se muestra el resumen de los datos obtenidos en el análisis de la materia prima:

**Tabla III-6: Datos obtenidos de la caracterización de la materia prima**

Parámetro	Unidad	Valor
Índice de saponificación	mg KOH/gr sebo	211,954
Índice de acidez	%	0,56
Índice de peróxidos	meqO <sub>2</sub> /kg	4,87
Índice de refracción		1,4712
Color	Visual	Crema

Fuente: (Elaboración propia, 2019)

### 3.1.1. Porcentaje de tejido/carne en el sebo de res

El sebo fresco adquirido tiene un peso de 5,12 Kg, es sometido a una separación manual mediante un cuchillo, donde se saca el tejido o carne que pueda tener, pues aporta un aroma al sebo que no se quiere.

$$\text{masa}_{\text{sebo inicial}} = 5120 \text{ gr}$$

$$\text{masa}_{\text{sebo final}} = 4914,28 \text{ gr}$$

$$\text{masa}_{\text{tejido/carne}} = \text{masa}_{\text{sebo inicial}} - \text{masa}_{\text{sebo final}}$$

$$\text{masa}_{\text{tejido/carne}} = (5120 - 4914,28) \text{ gr}$$

$$\text{masa}_{\text{tejido/carne}} = \mathbf{205,72 \text{ gr}}$$

El porcentaje de tejido/carne que se encuentra en el sebo de res, se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ tejido/carne} = \frac{\text{masa}_{\text{tejido/carne}}}{\text{masa}_{\text{sebo inicial}}}$$

$$\% \text{ tejido/carne} = \frac{205,72 \text{ gr}}{5120 \text{ gr}} * 100$$

$$\mathbf{\text{Tejido/carne} = 4,01 \%}$$

### 3.1.2. Composición de la materia prima: sebo de res

De acuerdo a la tabla I-1 (ver sección 1.1.2.1) los resultados porcentuales de la composición del sebo de res refinado, permite obtener el peso molecular promedio de ácido graso a través de la multiplicación de la fracción molar con el peso molecular de cada ácido graso.

En la tabla III-7 se observa los cálculos realizados para encontrar el peso molecular:

**Tabla III-7: Peso molecular de sebo de res refinado**

Compuesto	Unidad	Resultado	Fracción molar (Xi)	Peso molecular (PM)	Xi * PM
Oleico	%	42,3	0,423	282,46	119,48
Esteárico	%	21,1	0,211	284,48	60,02
Palmítico	%	24,7	0,247	256,2	63,28
Mirístico	%	0	0	228,37	0
Palmitoleico	%	1,5	0,015	254,41	3,81
Linoleico	%	2,6	0,026	280,45	7,29
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>92,2</b>	<b>1</b>		<b>253,89</b>

Fuente: (Perez, 2017)

El peso molecular de la mezcla de ácidos grasos es equivalente al 92,2 %, se calcula el peso molecular al 100 %.

$$253,89 \text{ gr/mol de ácido graso} \rightarrow 92,2 \%$$

$$X \text{ gr/mol de ácido graso} \rightarrow 100 \%$$

$$\mathbf{X = 275,38 \text{ gr/mol de ácido graso}}$$

El sebo de res consta principalmente de 3 ácidos grasos, por lo tanto, para encontrar el valor del peso molecular total del sebo, se multiplica por el peso molecular promedio de ácido graso.

### 3.2. Resultados de las principales etapas en el proceso de elaboración

Se muestran los resultados obtenidos en cada etapa de elaboración de jabón potásico.

#### 3.2.1. Resultados en la fusión

En el proceso que incluye la fusión y posterior prensado de la grasa, se obtiene los resultados que se detallan a continuación:

**Tabla III-8: Datos del sebo posterior a la fusión**

Sebo limpio (gr)	Sebo refinado (gr)	Materia extraña (gr)
4914,28	3746,14	878,18

Fuente: (Elaboración propia, 2019)

$$\% \text{ Materia Extraña} = \frac{m_{\text{mat. ext.}}}{m_{\text{sebo limpio}}} * 100$$

$$\% \text{ Materia Extraña} = \frac{878,18 \text{ gr}}{4914,28 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ Materia Extraña} = 17,87$$

En la salida de la materia extraña se va algo de sebo refinado calculado de la siguiente manera (ver sección 3.5.1.1):

$$\% \text{ Sebo Ref} = \frac{X_{2 \text{ sebo Ref}}}{C_2} * 100 = \frac{0,00953}{878,18} * 100$$

$$\% \text{ Sebo Ref} = 0,954\%$$

#### 3.2.2. Resultados en la saponificación

A continuación se detalla un resumen de las variables obtenidas en la saponificación, al salir del reactor Batch, variable respuesta, el porcentaje de humedad, la masa inicial, la masa obtenida, PH y rendimiento.

**Tabla III-9: Resumen de resultados obtenidos en la elaboración de jabón potásico**

N° Pruebas	Temp. (°C)	Tiempo (min)	Conc. KOH (% m/m)	Índ. Sap. (mg KOH/gr grasa)	Peso jabón húmedo real + glicerina (gr)	Peso jabón seco real + glicerina (gr)	Rendimiento %	Humedad %	PH
1	60	60	25	35,89	281,806	232,654	96,41	17,80	9,98
Rep.1	60	60	25	37,08	280,035	233,558	96,79	16,95	9,87
2	60	60	30	30,66	262,379	230,35	95,45	12,59	9,96
Rep. 2	60	60	30	30,74	279,799	234,032	96,99	16,71	9,89
3	60	90	25	24,61	278,495	238,235	98,74	14,82	9,91
Rep. 3	60	90	25	23,98	280,381	234,468	97,17	16,73	9,98
4	60	90	30	49,78	274,182	236,051	97,83	14,27	10,25
Rep. 4	60	90	30	48,52	273,725	237,185	98,30	13,71	10,11
5	70	60	25	35,41	269,958	234,156	97,04	13,63	10,21
Rep. 5	70	60	25	34,11	269,017	232,985	96,55	13,77	10,09
6	70	60	30	51,78	264,008	236,555	98,04	10,78	9,84
Rep. 6	70	60	30	52,26	261,507	232,959	96,54	11,30	9,95
7	70	90	25	23,93	274,023	233,275	96,67	15,24	10,11
Rep. 7	70	90	25	24,50	275,978	232,008	96,14	16,29	10,01
8	70	90	30	33,32	258,324	229,211	94,98	11,66	10,15
Rep. 8	70	90	30	33,41	263,053	231,832	96,07	12,25	10,21

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

La variable respuesta es el índice de saponificación analizado al jabón luego de la reacción, es un análisis que indica la mejor conversión de acuerdo a las variables de operación, mientras el valor tenga una tendencia a cero o cercano a él, el jabón está totalmente saponificado. Según la tabla III-9 se observa que la prueba N° 7 es el mejor jabón saponificado con un valor de 23,93 mg. Este valor también indica que algo de hidróxido de potasio queda sin reaccionar en el jabón

Respecto a los resultados determinados de pH, todas las pruebas están aceptables, por debajo del pH límite superior de 11 y cercanos al valor de PH teórico de 9,66 (ver sección 3.5.1.2.5).

Cabe aclarar que según la reacción estequiométrica, el valor de pH del jabón potásico debería ser 7, pero al existir la ionización de las diferentes sales o jabones formados de los ácidos grasos, y, algo de hidróxido de potasio sin reaccionar, ocasiona que aumente el PH del jabón potásico. Los rendimientos obtenidos son la relación entre el jabón seco experimental más la glicerina entre la masa teórica calculada (ver sección 3.5.1.5). A su vez, muestran resultados elevados debido a que el jabón experimental contiene glicerina.

### 3.2.3. Resultados en el curado

En la tabla III-10 se muestra los resultados de analizar el índice de saponificación del mejor jabón potásico obtenido para determinar cuándo está totalmente saponificado:

**Tabla III-10: Determinación del curado de jabón potásico semisólido**

N HCl	Muestra jabón (gr)	V1 HCl blanco (ml)	V2 HCl (ml)	I.S. Jabón potásico
0,5	3,047	31,4	28,8	23,935
0,5	3,004	31,4	29,4	18,675
0,5	3,012	31,4	29,6	16,763
0,5	3,179	31,4	29,5	<b>16,765</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2019)

Al cabo de 3 mediciones cada 24 horas, el índice de saponificación, disminuye hasta ser un dato constante, dando a entender que el sebo ya no está reaccionando por lo tanto se asume que la saponificación termina.

### 3.2.4. Resultados en la Disolución

En la tabla III-11, se muestra los resultados de disolver jabón potásico en diferentes cantidades conocidas de agua desionizada a temperatura ambiente:

**Tabla III-11: Disolución de jabón semisólido a diferentes porcentajes % m/m**

Nº Pruebas	Porcentaje %m/m	Resultado
1	40	no
2	35	no
3	30	si
4	25	si
5	20	si
6	15	si
7	10	si

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

Según la tabla III-11 la disolución más concentrada posible es de 30% m/m a temperatura ambiente. A una concentración superior al 30%, el jabón potásico no logra solubilizar completamente, permaneciendo en un estado semisólido.

### 3.3. Comparación de resultados del producto final

A continuación se muestra la tabla III-12 en la cual se compara el jabón potásico obtenido, con jabón Beltrán, producto certificado que se comercializa en los mercados internacionales. (ver Anexo IV).

**Tabla III-12: Comparación del jabón obtenido con el existente en el mercado**

Propiedad evaluada	Jabón Beltrán	Jabón obtenido
PH	11,5	10,11
Concentración (%)	30	30
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) 25°C	1060	1042,3
Color	Miel oscura	crema
Olor	Característico	Característico

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 3.4. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos de la combinación de las variables temperatura, tiempo y concentración, planteada en el diseño experimental, contribuye a determinar los factores más significativos en el proceso, es decir, indica qué parámetro tiene mayor incidencia en el resultado final.

La variable respuesta que se determina, es el índice de saponificación de cada muestra final de jabón potásico. Para obtener resultados más confiables se realiza dos mediciones.

#### 3.4.1. Recolección de los datos

En la tabla III-13 se resumen los experimentos que se ha tenido en cuenta, las variables y los resultados obtenidos de forma experimental de elaborar jabón potásico.

**Tabla III-13: Detalle de etapa de saponificación**

N° Pruebas	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Concentración de solución KOH % m/m	Índice de saponificación	Peso jabón obtenido inicial neto (gramos)
				(mg KOH/gr grasa)	
1	60	60	25	35,89	281,806
Rep.1	60	60	25	37,08	280,035
2	60	60	30	30,66	262,379
Rep. 2	60	60	30	30,74	279,799
3	60	90	25	24,61	278,495
Rep. 3	60	90	25	23,98	280,381
4	60	90	30	49,78	274,182
Rep. 4	60	90	30	48,52	273,725
5	70	60	25	35,41	269,958
Rep. 5	70	60	25	34,11	269,017
6	70	60	30	51,78	264,008
Rep. 6	70	60	30	52,26	261,507
7	70	90	25	23,93	274,023
Rep. 7	70	90	25	24,50	275,978
8	70	90	30	33,32	258,324
Rep. 8	70	90	30	33,41	263,053

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 3.4.2. Análisis estadístico del diseño experimental

Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utiliza el programa SPSS STATISTICS 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

### 3.4.3. Análisis de Varianza Univariante

Se realiza este estudio para determinar la influencia de los factores temperatura, tiempo y concentración, verificando si todos los factores y sus combinaciones son significativos respecto a la variable respuesta “índice de saponificación” según la tabla III- 14.

**Tabla III-14: Datos introducidos al programa SPSS para análisis de varianza**

Nº	Temperatura	Tiempo	Concentración	Índice de sap.	Tiempo * concentración
1	-1	-1	-1	35,89	1
Rep.1	-1	-1	-1	37,08	1
2	-1	-1	+1	30,66	-1
Rep. 2	-1	-1	+1	30,74	-1
3	-1	+1	-1	24,61	-1
Rep. 3	-1	+1	-1	23,98	-1
4	-1	+1	+1	49,78	1
Rep. 4	-1	+1	+1	48,52	1
5	+1	-1	-1	35,41	1
Rep. 5	+1	-1	-1	34,11	1
6	+1	-1	+1	51,78	-1
Rep. 6	+1	-1	+1	52,26	-1
7	+1	+1	-1	23,93	-1
Rep. 7	+1	+1	-1	24,50	-1
8	+1	+1	+1	33,32	1
Rep. 8	+1	+1	+1	33,41	1

Fuente: (Elaboración Propia, 2020)

Los factores inter-sujetos se muestran en la figura 3-1 con la codificación de cada nivel.

**Figura 3-1: Factores Inter-Sujetos**

**Factores inter-sujetos**

		N
Temperatura	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8
Concentración	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración propia SPSS.

La figura 3-2 muestra las pruebas inter-sujetos realizadas para determinar las variables significativas.

**Figura 3-2: Pruebas Inter-Sujeto****Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Índice de Saponificación

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1106.869 <sup>a</sup>	6	184.478	4.390	.024
Interceptación	20304.825	1	20304.825	483.166	.000
Temperatura	3.478	1	3.478	.083	.780
Tiempo	131.561	1	131.561	3.131	.111
Concentración	517.108	1	517.108	12.305	.007
Temperatura * Tiempo	314.353	1	314.353	7.480	.023
Temperatura * Concentración	13.469	1	13.469	.321	.585
Tiempo * Concentración	126.900	1	126.900	3.020	.116
Error	378.221	9	42.025		
Total	21789.915	16			
Total corregido	1485.090	15			

a. R cuadrado = .745 (R al cuadrado ajustada = .576)

Fuente: Elaboración propia SPSS.

En la tabla los datos resaltados con color, muestran los resultados de las variables temperatura, tiempo, temperatura\*concentración y tiempo\*concentración, indicando que no son significativas, por lo que serán despreciables posteriormente.

**Figura 3-3: Variables introducidas/ eliminadas****Variables introducidas / eliminadas**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	TempTiempo, Concentración	-	introducir

a. Todas las variables solicitadas ingresadas.

b. Variable dependiente: Índice de saponificación

Fuente: Elaboración propia SPSS.

**Figura 3-4: Resumen Modelo<sup>b</sup> lineal****Resumen Modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R Cuadrado ajustado	Error típico de la estimación
1	.748 <sup>a</sup>	.560	.492	7.09078

a. Predictores: (Constante), TempTiempo, Concentración

b. Variable Dependiente: Índice de saponificación

Fuente: Elaboración propia SPSS.

El análisis de varianza (Anova) en la figura 3-5 muestra un nivel de significación menor al 0,05 o 5%, demostrando que el modelo matemático escogido es el correcto.

**Figura 3-5: ANOVA<sup>b</sup>****ANOVA<sup>b</sup>**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	831.461	2	415.730	8.268	.005 <sup>a</sup>
Residual	653.629	13	50.279		
Total	1485.090	15			

a. Predictores: (Constante), TempTiempo, Concentración

b. Variable Dependiente: Índice de saponificación

Fuente: Elaboración propia SPSS.

**3.4.4. Determinación del modelo matemático**

En la figura 3-6 se muestran los coeficientes para el modelo matemático

**Figura 3-6: Coeficientes del Modelo Matemático****Coeficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficiente estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	35.624	1.773		20.096	.000	31.794	39.453
Concentración	5.685	1.773	.590	3.207	.007	1.855	9.515
Temp * Tiempo	-4.432	1.773	-.460	-2.500	.027	-8.262	-.603

a. Variable Dependiente: Índice de saponificación

Fuente: Elaboración propia SPSS.

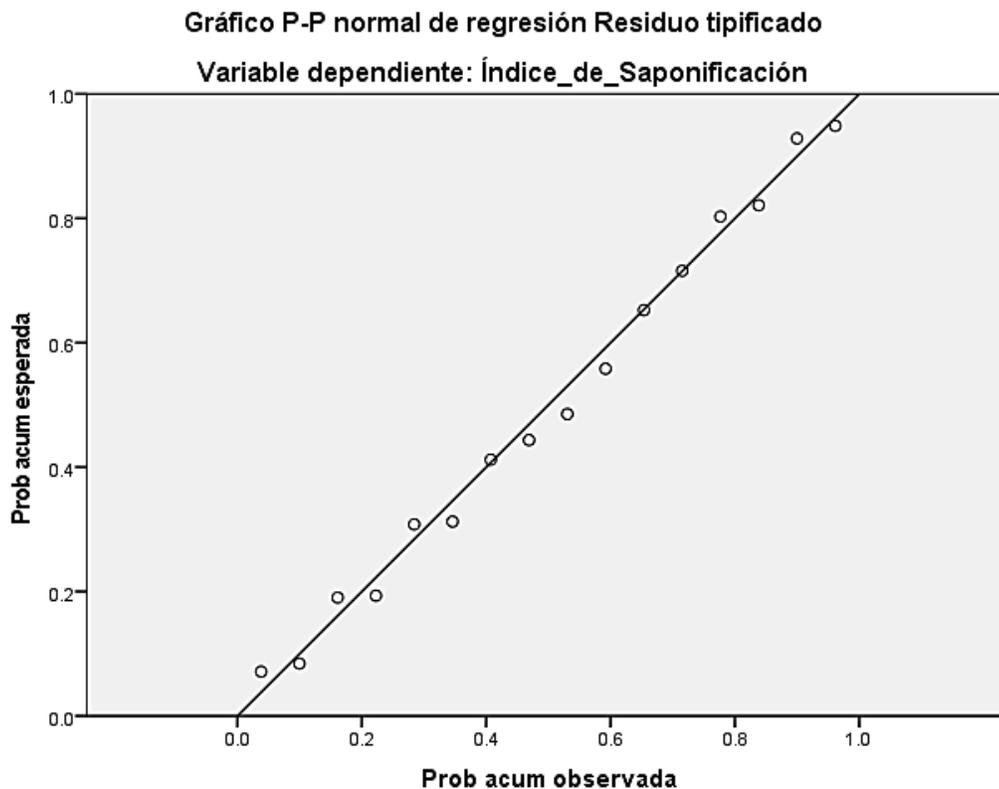
Según los coeficientes indicados en la figura 3-6, el modelo matemático para la elaboración de jabón potásico es la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Sap} = 35,624 + 5,685 \text{ Conc} - 4,432 \text{ Temp} * \text{Conc}$$

### Modelo lineal

En la figura 3-7 se puede apreciar el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al propuesto, algunos puntos no se ajustan al modelo, sin embargo, según el análisis Anova no muestra gran significancia el desajuste, por lo tanto el modelo escogido es el correcto.

**Figura 3-7: Modelo lineal**



Fuente: Elaboración propia SPSS.

### 3.5. Balance de materia y energía

#### 3.5.1. Balance de materia

El balance de materia proporciona datos sobre flujos, pérdidas o acumulaciones en el proceso, ya sea el mismo por filtración, reacción química, tamizado.

**Tabla III-15: Datos del balance de materia obtención de jabón potásico**

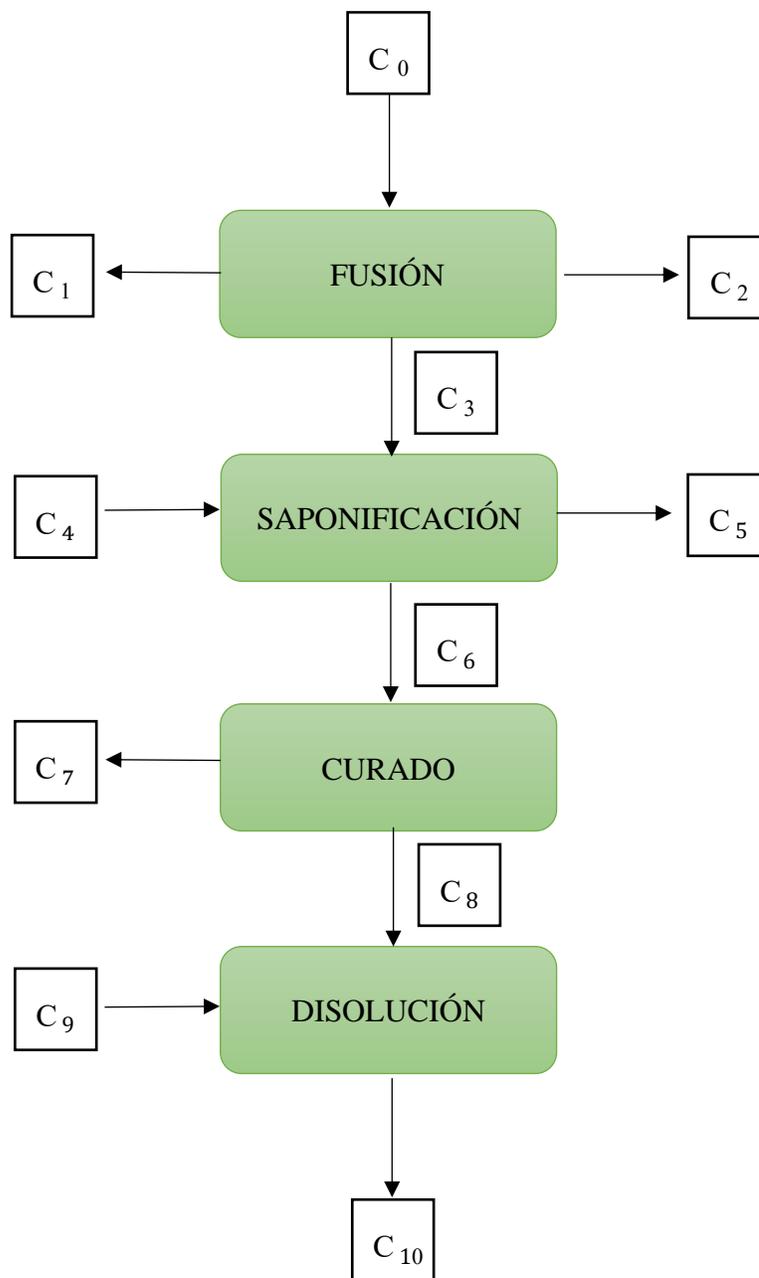
Balance de Materia	
Densidad relativa del sebo de res a 40°C	0,899 gr/ml
Densidad del agua	1 gr/ml
Densidad del hidróxido de potasio	2,04 gr/ml
Masa de sebo inicial	200 gr
Índice de saponificación	211,954 mg KOH/gr grasa (exp)

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

**Tabla III-16: Corrientes de proceso**

Corriente	Especificación	Corriente	Especificación
C <sub>0</sub>	Sebo fresco	C <sub>6</sub>	Jabón blando
C <sub>1</sub>	Agua evaporada 1	C <sub>7</sub>	Agua evaporada 3
C <sub>2</sub>	Materia extraña	C <sub>8</sub>	Jabón blando curado
C <sub>3</sub>	Sebo refinado	C <sub>9</sub>	Agua desionizada
C <sub>4</sub>	Solución KOH	C <sub>10</sub>	Jabón potásico en solución
C <sub>5</sub>	Agua evaporada 2	-	-

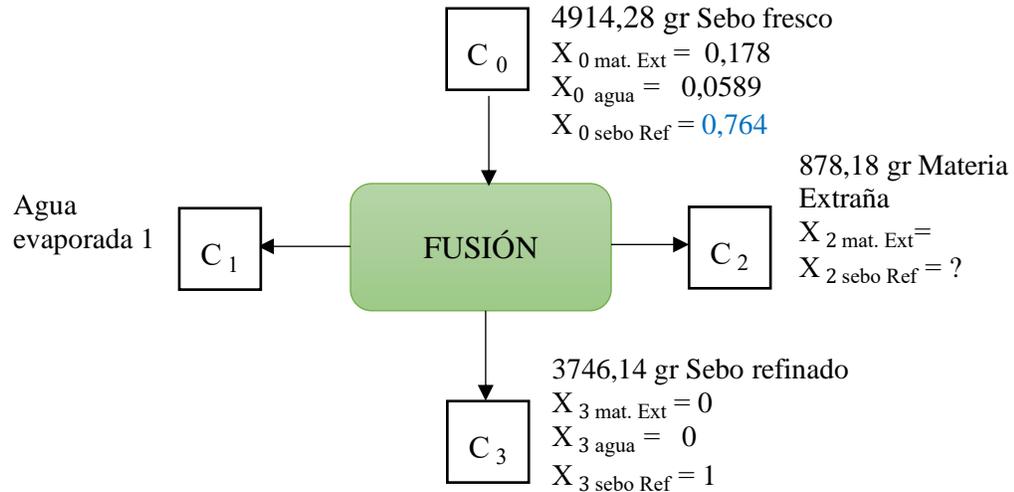
Fuente: (Elaboración propia, 2020)

**Figura 3-8: Diagrama de bloques del proceso**

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 3.5.1.1. Balance de materia en la etapa de Fusión

En el proceso de fusión, el sebo fresco que ingresa, sufre una evaporación total del agua contenida, además existe una refinación por la separación de la materia extraña.



Balance global: Entrada = Salida

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 \quad \text{Ec. 3.1}$$

El balance para la cantidad de agua evaporada 1 “C<sub>1</sub>”, se determina:

$$C_1 = C_0 - C_2 - C_3$$

$$C_1 = (4914,28 - 878,18 - 3746,14) \text{ gr} =$$

$$C_1 = 289,96 \text{ gr}$$

Balance para encontrar la fracción de sebo refinado que se va en la corriente C<sub>2</sub>:

$$X_{0 \text{ sebo Ref}} * C_0 = X_{2 \text{ sebo Ref}} * C_2 + X_{3 \text{ sebo Ref}} * C_3$$

$$X_{2 \text{ sebo Ref}} * C_2 = X_{0 \text{ sebo Ref}} * C_0 - X_{3 \text{ sebo Ref}} * C_3$$

$$X_{2 \text{ sebo Ref}} = \frac{X_{0 \text{ sebo Ref}} * C_0 - X_{3 \text{ sebo Ref}} * C_3}{C_2} = \frac{(0,764 * 4914,28) - (1 * 3746,14)}{878,18}$$

$$X_{2 \text{ sebo Ref}} = 0,00953$$

$$\% \text{ Sebo Ref} = (X_{2 \text{ sebo Ref}} / C_2) * 100 = (0,00953 / 878,18) * 100$$

$$\% \text{ Sebo Ref} = 0,954\%$$

### Cálculo porcentaje de la humedad en el sebo fresco antes de entrar a la fusión

Una vez que se encuentra la cantidad de agua evaporada 1, se relaciona con la masa de sebo fresco a la entrada para encontrar su humedad.

$$\%H = \frac{289,96 \text{ gr}}{4914,28 \text{ gr}} * 100$$

$$\%H = 5,89$$

### Cálculo de las impurezas en la Fusión seca

En el proceso que incluye la fusión y posterior separación de las impurezas como materia extraña, se obtiene los resultados que se detallan a continuación:

**Tabla III-17: Datos del sebo posterior a la fusión**

Sebo limpio (gr)	Sebo refinado (gr)	Materia extraña (gr)
4914,28	3746,14	878,18

Fuente: (Elaboración propia, 2019)

Donde:

$m_{\text{mat. ext.}}$  = materia no saponificable que queda luego de la fusión

$m_{\text{sebo limpio}}$  = es el sebo limpio inicial antes de entrar a la fusión.

Para obtener la materia extraña de la etapa se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia Extraña} = \frac{m_{\text{mat. ext.}}}{m_{\text{sebo limpio}}} * 100 \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$\% \text{ Materia Extraña} = \frac{878,18 \text{ gr}}{4914,28 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ Materia Extraña} = 17,87$$

### 3.5.1.2. Balance de materia en la etapa de Saponificación

Esta etapa es primordial, pues es donde la materia prima se transforma en producto; a continuación se detalla las cantidades usadas como también los datos obtenidos en las pruebas y su respectiva replica, peso inicial, peso final, glicerina y su rendimiento.

#### 3.5.1.2.1. Alimentación de materia a saponificar

Sebo de res: 200 gr

#### 3.5.1.2.2. Hidróxido de potasio

Según pruebas realizadas al sebo de res (ver sección 3.1), el índice de saponificación es de 211,954 mg de KOH para saponificar 1 gramo de sebo.

Con este valor de índice de saponificación y 200 gramos de sebo de res, se obtiene la cantidad necesaria de hidróxido de potasio necesaria para cada reacción, usando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de saponificación} * \text{gr de materia prima} = \text{gramos de KOH} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Reemplazando datos y realizando conversión de unidades.

$$211,954 \frac{\text{mg KOH}}{\text{gr de sebo}} * 200 \text{ gr de sebo} = 42390,8 \text{ mg KOH}$$

$$\text{Cantidad requerida: } 42390,8 \text{ mg KOH} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} =$$

$$\mathbf{m_{KOH} = 42,39 \text{ gr KOH}}$$

No se trabaja con exceso de hidróxido de potasio debido a que no se separa la glicerina evitando el lavado del jabón.

### 3.5.1.2.3. Agua desionizada

Según bibliografía de (Bailey, 1984), la concentración de solución saponificante de hidróxido de potasio es 25% m/m, para lo cual se realiza los siguientes cálculos:

Donde:

$$\text{masa}_{\text{soluta}} = \text{KOH en gramos}$$

$$\text{masa}_{\text{disolvente}} = \text{cantidad de agua desionizada en gramos}$$

$$\text{masa}_{\text{solución}} = \text{masa}_{\text{soluta}} + \text{masa}_{\text{disolvente}}$$

Para obtener la cantidad de agua desionizada se realiza el cálculo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Solución al 25\% m} = \frac{\text{masa}_{\text{soluta}} \text{ KOH (gr)}}{\text{masa}_{\text{solución}} \text{ (gr)}} * 100\% \quad \text{Ec.3.4}$$

$$25\% = \frac{\text{masa}_{\text{soluta}}}{\text{masa}_{\text{soluta}} + \text{masa}_{\text{disolvente}}} * 100\%$$

$$\text{masa}_{\text{disolvente}} = \frac{\text{masa}_{\text{soluta}} * 100\%}{25\%} - \text{masa}_{\text{soluta}}$$

$$\text{masa}_{\text{disolvente}} = \frac{42,39 \text{ gr} * 100\%}{25\%} - 42,39 \text{ gr}$$

$$\text{masa}_{\text{disolvente}} = 127,17 \text{ gr}$$

La masa de solución de hidróxido de potasio es:

$$\text{masa}_{\text{solución}} = \text{masa}_{\text{soluta}} + \text{masa}_{\text{disolvente}}$$

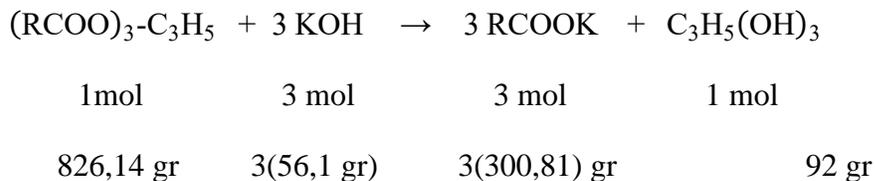
$$\text{masa}_{\text{solución}} = (42,39 + 127,17) \text{ gr}$$

$$\text{masa}_{\text{solución}} = 169,56 \text{ gr}$$

### 3.5.1.2.4. Jabón formado

Para la obtención de jabón formado en la saponificación, el mismo estará en función de la cantidad de sebo y peso molecular calculado (ver sección 3.2.1) del sebo de res.

La reacción transcurre de forma estequiométrica, no se trabaja con exceso de álcali:



De la relación estequiométrica se determina el jabón formado:

$$m_{\text{jabón}} = 200 \text{ gr sebo} * \frac{1 \text{ mol de sebo}}{826,14 \text{ gr de sebo}} * \frac{3 \text{ mol de jabón}}{1 \text{ mol de sebo}} * \frac{300,81 \text{ gr de jabón}}{1 \text{ mol de jabón}}$$

$$\mathbf{m_{\text{jabón}} = 218,469 \text{ gr}}$$

También de la relación estequiométrica se obtiene la cantidad de Glicerina formada:

$$m_{\text{glicerina}} = 200 \text{ gr sebo} * \frac{1 \text{ mol de sebo}}{826,14 \text{ gr de sebo}} * \frac{1 \text{ mol de glicerina}}{1 \text{ mol de sebo}} * \frac{92 \text{ gr de glicerina}}{1 \text{ mol de glicerina}}$$

$$\mathbf{m_{\text{glicerina}} = 22.272 \text{ gr}}$$

Para obtener la masa total de jabón obtenido:

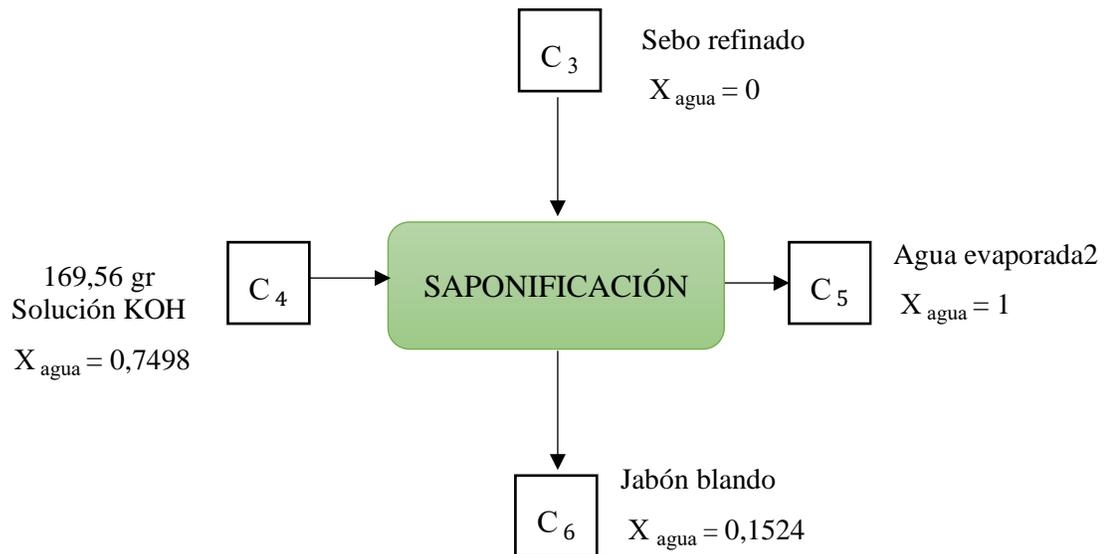
$$\text{Masa total}_{\text{jabón obtenido}} = m_{\text{jabón}} + m_{\text{glicerina}}$$

$$\text{Masa total}_{\text{jabón obtenido}} = (218,469 + 22.272) \text{ gr}$$

$$\mathbf{\text{Masa total}_{\text{jabón obtenido}} = 240,741 \text{ gr}}$$

## SAPONIFICACIÓN

Del sebo refinado que sale de la fusión, se toma una cantidad de 200 gramos que es la base de cálculo para la saponificación:



Balance global: entrada – salida = 0

$$C_3 + C_4 = C_5 + C_6 \quad \text{Ec. 3.5}$$

Balance para el agua que se evapora en la etapa:

$$C_5 = C_3 + C_4 - C_6 \quad (1)$$

$$C_6 = C_3 + C_4 - C_5$$

En la corriente  $C_3$  no existe agua por lo tanto:

$$C_6 = C_4 - C_5 \quad (2)$$

El balance para el agua evaporada 2 a partir de (1) queda:

$$C_5 * X_5 = (C_4 * X_4) - (C_6 * X_6) \quad (3)$$

Reemplazar (2) en (3):

$$C_5 * X_5 = (C_4 * X_4) - (C_4 - C_5) * X_6$$

$$C_5 X_5 = (C_4 * X_4) - C_4 * X_6 + C_5 * X_6$$

$$C_5 (X_5 - X_6) = C_4 (X_4 - X_6)$$

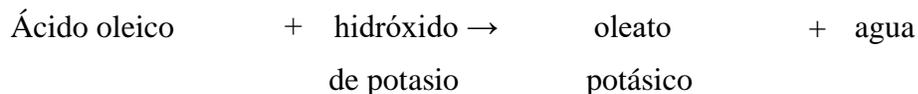
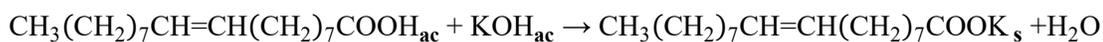
$$C_5 = C_4 \frac{X_4 - X_6}{X_5 - X_6} = 169,56 \frac{0,7498 - 0,1524}{1 - 0,1524}$$

$$C_5 = 119,508 \text{ gr de agua evaporada 2}$$

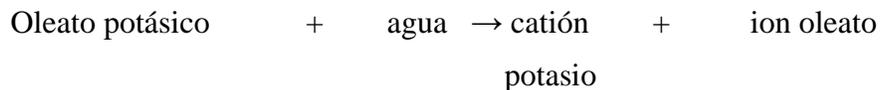
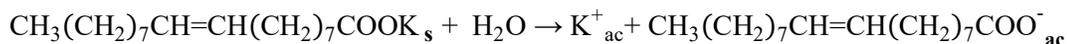
### 3.5.1.2.5. Evaluación de la concentración molar en la saponificación

Para calcular los moles que no reaccionan en la experimentación de obtención de jabón potásico, se trabaja la reacción de saponificación como una reacción de neutralización ácido-base, a partir del ácido oleico, que es el ácido graso que está en mayor proporción en el sebo.

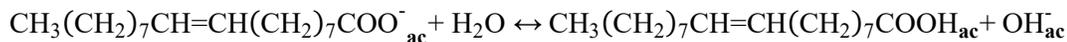
#### Reacción de saponificación: Neutralización ácido-base para ácido oleico



Ionización de la sal



Hidrólisis de la sal



Datos:

$$\rho_{\text{oleico}} = 0,895 \text{ gr/ml (ver anexo III)}$$

$$m_{\text{oleico}} = 200 \text{ gr}$$

$$pK_a = 5,02 \text{ (ver Anexo III)}$$

$$m_{\text{disolución KOH}} = 169,56 \text{ gr (ver sección 3.5.1.2.3)}$$

$$\rho_{\text{disolución KOH}} = 1,229 \text{ gr/ml (ver anexo III)}$$

$$m_{\text{KOH}} = 42,39 \text{ gr}$$

Cálculo de la constante de acidez del ácido oleico:

$$pK_a = -\log 10 K_a$$

$$5,02 = -\log 10 K_a$$

$$10^{-5,02} = K_a$$

$$K_a = 9,55 \times 10^{-6}$$

Cálculo de la molaridad del hidróxido de potasio:

$$\rho_{\text{dis}} = \frac{m_{\text{dis}}}{V_{\text{dis}}} \rightarrow V_{\text{dis}} = \frac{m_{\text{dis}}}{\rho_{\text{dis}}} = \frac{169,56 \text{ gr}}{1,229 \text{ gr/ml}} = 137,965 \text{ ml}$$

$$M_{\text{KOH}} = \frac{m_{\text{KOH}} / PM}{V_{\text{dis}}} = \frac{\frac{42,39 \text{ gr}}{56,1} \text{ gr/mol}}{137,965 \times 10^{-3} \text{ L}} =$$

$$M_{\text{KOH}} = 5,47 \text{ M}$$

Molaridad para el ácido oleico a partir de la concentración del hidróxido de potasio:

$$\rho_{\text{oleico}} = \frac{m_{\text{oleico}}}{V_{\text{oleico}}} \rightarrow V_{\text{oleico}} = \frac{m_{\text{oleico}}}{\rho_{\text{oleico}}} = \frac{200 \text{ gr}}{0,895 \text{ gr/ml}} = 223,463 \text{ ml}$$

$$M_a V_a = M_b V_b$$

$$M_{\text{oleico}} = \frac{M_{\text{KOH}} V_{\text{dis}}}{V_{\text{oleico}}} = \frac{5,47 \text{ M} * 137,965 \text{ ml}}{223,463 \text{ ml}}$$

$$M_{\text{oleico}} = 3,37 \text{ M}$$

Se calcula la concentración del ion oleato en la mezcla:

$$[\text{RCOO}^-] = \frac{223,463 \text{ ml} * 3,37 \text{ M}}{(223,463 + 137,965) \text{ ml}} = 2,08 \text{ M}$$

	$\text{RCOO}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{RCOOH} + \text{OH}_{\text{ac}}^-$		
Inicial	3,37	0	0
Equilibrio	2,08 - X	X	X

$$K_h = \frac{X * X}{2,08 - X} \rightarrow K_h = \frac{X^2}{2,08}$$

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{9,55 \times 10^{-6}} = 1,047 \times 10^{-9}$$

$$\frac{X^2}{2,08} = 1,047 \times 10^{-9}$$

$$X = \sqrt{1,047 \times 10^{-9} * 2,08}$$

$$X = [\text{OH}^-] = \log 4,675 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \rightarrow \text{P}^{\text{OH}} = -\log 4,675 \times 10^{-5}$$

$$\text{P}^{\text{OH}} = 4,33$$

$$\text{P}^{\text{OH}} + \text{P}^{\text{H}} = 14 \rightarrow \text{P}^{\text{H}} = 14 - 4,33$$

$$\text{P}^{\text{H}} = 9,66 = \text{P}^{\text{H}}_{\text{teórico}}$$

Para encontrar los moles que no reaccionan se resta los moles teóricos y moles experimentales a partir de sus valores de PH encontrados. El mejor jabón potásico en la experimentación, es la prueba N° 7 con un pH experimental de 10,11 (ver tabla III-9)

Concentración experimental a partir de pH

$$P^{OH} + P^H = 14 \rightarrow P^{OH} = 14 - 10,11$$

$$P^{OH} = 3,89$$

$$P^{OH} = -\log [OH^-] \rightarrow [OH^-] = 10^{-3,89}$$

Concentración experimental =  $[OH^-]_{exp} = 1,29 \times 10^{-4}$  mol/L

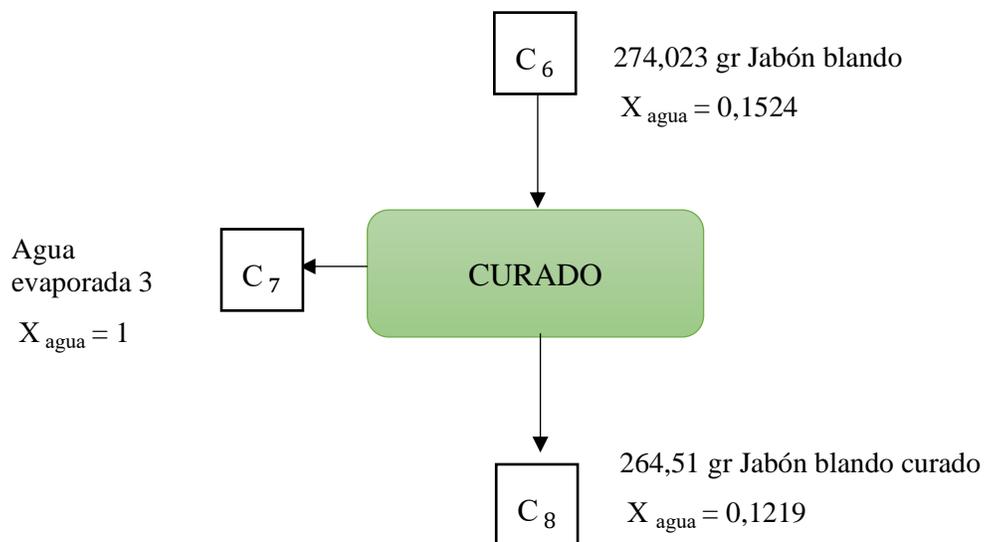
Moles en exceso que no reaccionan:  $[OH^-]_{exc} = [OH^-]_{exp} - [OH^-]_{teórica}$

$$[OH^-]_{exc} = (1,29 \times 10^{-4} - 4,675 \times 10^{-5}) \text{ mol/L}$$

$$[OH^-]_{exc} = 8,225 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

### 3.5.1.3. Balance de materia en la etapa de Curado

En el curado existe una evaporación de agua que se calcula a continuación:



Balance global:

$$C_6 = C_7 + C_8 \quad \text{Ec. 3.6}$$

Se despeja la C<sub>7</sub>:

$$C_7 = C_6 - C_8$$

$$C_7 * X_7 = (C_6 * X_6) - (C_8 * X_8)$$

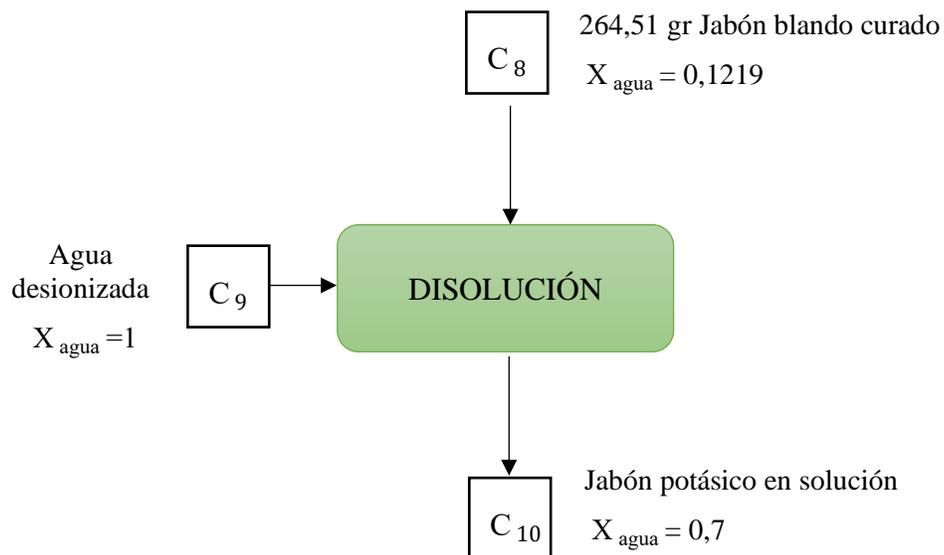
$$C_7 = \frac{(C_6 * X_6) - (C_8 * X_8)}{X_7} = \frac{(274,023 * 0,1524) - (264,51 * 0,1219)}{1}$$

$$C_7 = 9,51 \text{ gr de agua evaporada 3}$$

Se encuentra que el jabón experimental luego de la saponificación, pierde una cantidad de agua de 9,51 gramos equivalente a 3,05 % durante 72 horas.

#### 3.5.1.4. Balance de materia en la etapa de Disolución

Se calcula la cantidad de agua requerida para la disolución final y obtención de jabón potásico en solución al 30%:



Balance global:

$$C_8 + C_9 = C_{10} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Balance para el agua desionizada:

$$C_9 = C_{10} - C_8 \quad (1)$$

$$C_9 * X_9 = C_{10} * X_{10} - C_8 * X_8 \quad (2)$$

La corriente  $C_{10}$  es el producto terminado “jabón potásico en solución al 30 %” que debe contener un porcentaje de agua de 70% y densidad de 1060 gr/L, los datos sacados de bibliografía (ver anexo IV).

Reemplazando Ec. 3.7 en (3)

$$C_9 * X_9 = (C_8 + C_9) * X_{10} - C_8 * X_8$$

$$C_9 * X_9 = C_8 * X_{10} + C_9 * X_{10} - C_8 * X_8$$

$$C_9 * (X_9 - X_{10}) = C_8 * (X_{10} - X_8)$$

$$C_9 = C_{10} \frac{X_{10} - X_8}{X_9 - X_{10}} = 264,51 \text{ gr} \frac{(0,7 - 0,1219)}{(1 - 0,7)}$$

$$\mathbf{C_9 = 509,72 \text{ gr de agua desionizada}}$$

La masa total de jabón potásico en solución al 30% es:

$$\text{masa}_{\text{disolución}} = (509,72 + 264,51) \text{ gr}$$

$$\mathbf{\text{masa}_{\text{disolución}} = 774,22 \text{ gr} = C_{10}}$$

Con la masa de disolución se calcula el volumen de jabón potásico en solución al 30%, a partir de 200 gramos de sebo de res y 42,39 gr de hidróxido de potasio:

$$\text{volumen}_{\text{jabón en solución}} = \frac{\text{masa}_{\text{solución}}}{\text{densidad}_{\text{jabón solución}}} \quad \mathbf{\text{Ec. 3.8}}$$

$$\text{volumen}_{\text{jabón en solución}} = \frac{774,22 \text{ gr}}{1060 \text{ gr/L}}$$

$$\mathbf{\text{volumen}_{\text{jabón en solución}} = 0,73 \text{ L}}$$

### Rendimiento del proceso tecnológico

Es la conversión de materia prima en producto a partir de 200 gramos de sebo de res.

Datos:

$$\text{masa}_{\text{jabón seco}} + \text{masa}_{\text{glicerina}} = 233,275 \text{ gr} = \mathbf{\text{masa}_{\text{experimental}}}$$

$$\text{masa}_{\text{jabón seco}} = 240,741 \text{ gr} = \mathbf{\text{masa}_{\text{teórica}}} \text{ (ver sección 3.5.1.5)}$$

$$\% \eta = \frac{\text{masa}_{\text{experimental}}}{\text{masa}_{\text{teórica}}} * 100 \quad \mathbf{\text{Ec. 3.9}}$$

$$\frac{233,275 \text{ gr}}{240,741 \text{ gr}} * 100$$

$$\mathbf{\% \eta = 96,89}$$

El rendimiento resulta elevado, debido a que contiene la glicerina que no se separa del jabón, ya que la glicerina es útil por poseer propiedades humectantes.

### 3.5.2. Balance de energía

#### 3.5.2.1. Determinación experimental del Calor Especifico “Cp” del jabón

Se determina el calor específico del jabón potásico a través de un instrumento llamado calorímetro. Este dispositivo no permite la transferencia de energía con el medio ambiente, por lo tanto el calor liberado dentro del calorímetro debe ser absorbido por él.

Se introduce una mezcla de una porción de jabón potásico a temperatura ambiente con una masa de agua caliente para así determinar la temperatura de equilibrio del sistema. Previo a la toma de datos, se realiza la determinación de la capacidad calorífica del calorímetro usando agua caliente y agua fría.

Mediante la ecuación se determina el Cp:

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

$$Q = m_{cal} * C_{p_{cal}} * \Delta T$$

- Colocar el calorímetro en una balanza, realizar la tara y proceder a pesar una cantidad de 100 gramos de agua caliente.
- Proceder a medir la temperatura del sistema “calorímetro-agua caliente” hasta que esté estable.
- Medir la temperatura del jabón potásico.
- Nuevamente se coloca el calorímetro en la balanza, previamente tarada, y se procede a pesar una cierta cantidad de jabón potásico.
- Se tapa y procede a mezclar durante unos segundos hasta llegar a una temperatura estable/ constante, que es la temperatura de equilibrio.
- Tomar los datos y reemplazar en la siguiente ecuación

$$Q_{ganado} = Q_{cedido}$$

$$Q_{\text{jabón}} = Q_{\text{calorímetro}} + Q_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{jabón}} C_p_{\text{jabón}} \Delta T = m_{\text{cal}} C_{p_{\text{cal}}} \Delta T + m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} \Delta T$$

$$C_p_{\text{jabón}} = \frac{m_{\text{cal}} C_{p_{\text{cal}}} (T_2 - T_{\text{eq}}) + m_{\text{agua}} C_{p_{\text{agua}}} (T_2 - T_{\text{eq}})}{m_{\text{jabón}} (T_{\text{eq}} - T_1)}$$

En la tabla III-18 se observa los datos encontrados y evaluados para encontrar el Cp del jabón blando a partir de 5 mediciones.

**Tabla III-18: Determinación del Cp del jabón potásico blando**

masa calorímetro (gr)	Cp calorímetro (cal/gr °C)	masa agua caliente (gr)	Cp agua (cal/gr °C)	T2 (°C)	masa jabón (gr)	T1 (°C)	T equilibrio (°C)	Cp jabón (cal/gr °C)
56	0,357	100	1	66	12,5	25	60	1,646
56	0,357	130	1	67	9,5	25	63	1,662
56	0,357	100,5	1	73	16	25	64	1,738
56	0,357	100	1	69	11	25	63	1,722
56	0,357	110	1	60	7	25	57	1,741
<b>Cp promedio</b>								<b>1,702</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

El calor específico del jabón potásico es de 1,702 cal/gr °C.

En la figura 3-9 se observa el calorímetro usado en las determinaciones:

**Figura 3-9: Calorímetro**

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

### 3.5.2.2. Balance de energía en la Fusión

Para encontrar la cantidad requerida de calor en la fusión del sebo y baño maría en la saponificación, se realiza los siguientes cálculos:

**Tabla III-19: Datos en el balance de energía**

Balance de Energía	
Cp acero inoxidable	0.1218 kcal/kg °C (ver Anexo II)
Cp del sebo de res	0,382 kcal/kg °C (ver Anexo II)
Cp del agua	1 kcal/kg °C (ver Anexo II)
Cp del jabón potásico	1,702 kcal/kg °C (det. exp.)
Cp del hidróxido de potasio	0,740 kcal/kg °C (ver Anexo II)

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

Balance de energía en la fusión del sebo:

$$Q_{\text{fusión}} = Q_{\text{acero inox}} + Q_{\text{sebo}}$$

Donde:

$Q_{\text{fusión}}$  = calor entregado al sistema

$$m_{\text{acero inox}} = 0,228 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{sebo crudo}} = 0,2 \text{ kg}$$

Temperatura inicial: 25°C

Temperatura final: 110 °C

$$Q_{\text{fusión}} = Q_{\text{acero inox}} + Q_{\text{sebo}}$$

$$Q_{\text{fusión}} = m_{\text{acero inox}} C_{p_{\text{acero inox}}} \Delta T + m_{\text{sebo}} C_{p_{\text{sebo}}} \Delta T$$

$$Q_{\text{fusión}} = 110-25 \text{ °C} * (0,228 \text{ kg} * 0,1218 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} + 0,2 \text{ kg} * 0.382 \text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{\text{fusión}} = \mathbf{8,854 \text{ kcal}}$$

### 3.5.2.3. Balance de energía en la saponificación

Temperatura de alimentación = 25°C

Temperatura de saponificación = 70 °C

$$\Delta T = 45 \text{ °C}$$

Datos de masa:

$$m_{\text{sebo}} = 200 \text{ gr}$$

$$m_{\text{agua}} = 127,17 \text{ gr}$$

$$m_{\text{KOH}} = 42,39 \text{ gr}$$

$$m_{\text{jabón}} = 218,469 \text{ gr}$$

$$\text{Total} = 588,029 \text{ gr}$$

La capacidad calorífica media es:

$$\bar{C}_p = \sum C_{p_i} * x_i$$

$$\bar{C}_p = C_{p_{\text{sebo}}} * x_{\text{sebo}} + C_{p_{\text{agua}}} * x_{\text{agua}} + C_{p_{\text{KOH}}} * x_{\text{KOH}} + C_{p_{\text{jabón}}} * x_{\text{jabón}}$$

$$\bar{C}_p = 0,382 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{°C} * \frac{0,2 \text{ kg}}{0,588029 \text{ kg}} + 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{°C} * \frac{0,12717 \text{ kg}}{0,588029 \text{ kg}} + 0,740 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{°C} *$$

$$\frac{0,04239 \text{ kg}}{0,588029 \text{ kg}} + 1,702 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{°C} * \frac{0,218469 \text{ kg}}{0,588029 \text{ kg}}$$

$$\bar{C}_p = 1,03 \text{ kcal/kg °C}$$

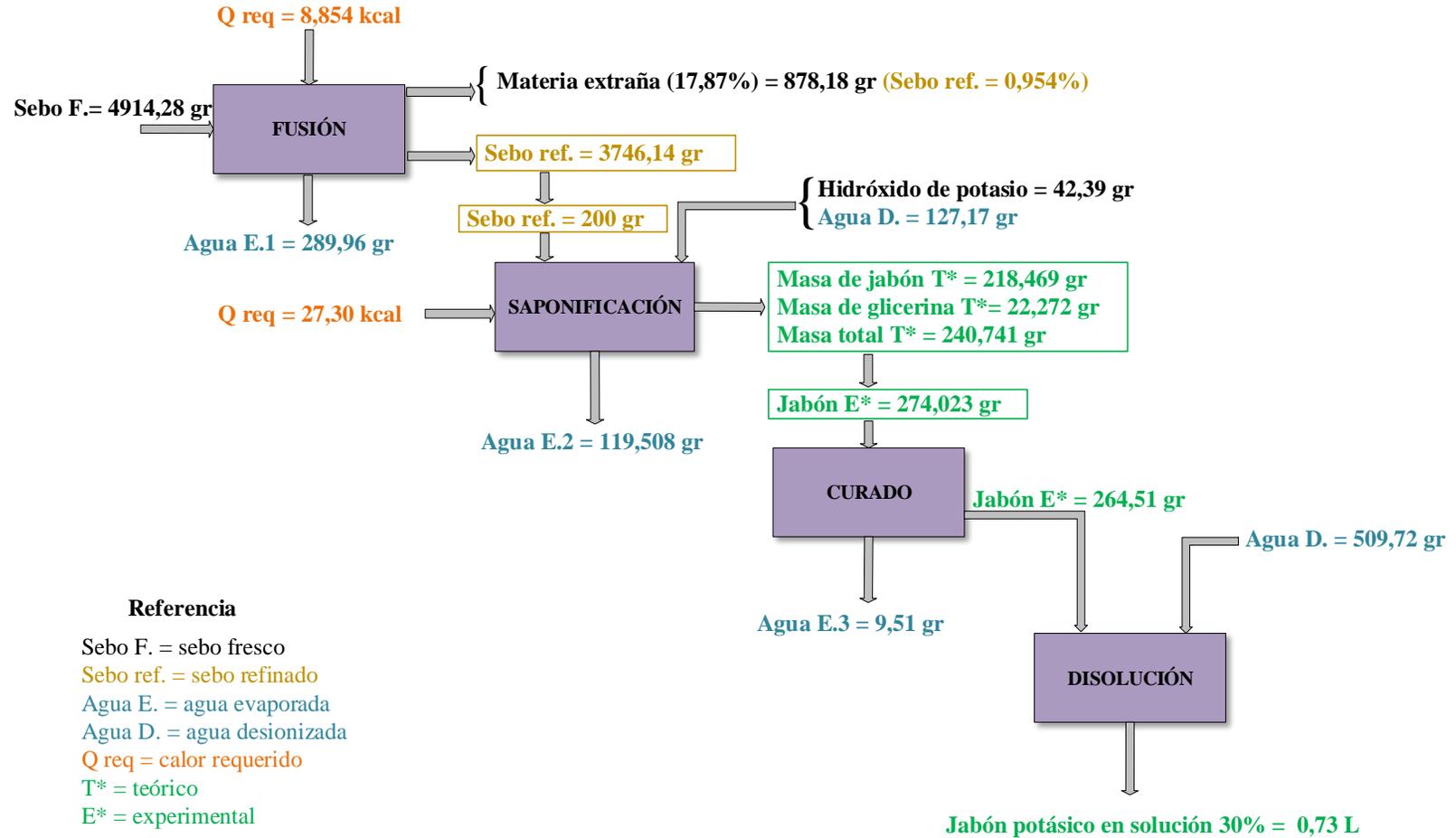
Cantidad de calor requerido en la saponificación

$$Q_{\text{sap}} = m_{\text{total}} * \bar{C}_p * \Delta T$$

$$Q_{\text{sap}} = 0,588029 \text{ kg} * 1,03 \text{ kcal/kg °C} * (70 - 25) \text{ °C}$$

$$Q_{\text{sap}} = 27,30 \text{ kcal}$$

Figura 3-10: Resumen de balance de materia y energía



Fuente: (Elaboración propia, 2021)

### 3.6. Análisis de costos del proyecto

#### 3.6.1. Estimación del costo del Estudio

Para determinar el presupuesto de investigación se realiza la estimación de los costos directos tales como mano de obra, análisis, y servicios indirectos, durante la elaboración de todo el proyecto. Las siguientes tablas muestran los detalles de los principales costos.

**Tabla III-20: Detalle de materia prima y reactivos químicos**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario Bs	Costo total (Bs)
1	Sebo de res	kg	5,12	1,5	7,68
2	Hidróxido de potasio (99%)	kg	2	16	32
3	Agua desionizada	Lt	5	6	30
4	Alcohol etílico 96%	Lt	4	17	68
5	HCl (33%)	Lt	0.08	350	28
6	Fenolftaleína (s)	kg	0,001	800	0,8
Total (Bs)					166,48

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

**Tabla III-21: Detalle de servicios directos**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Índice de peróxido	Análisis	1	90	90
2	Índice de refracción	Análisis	1	20	20
3	Acidez (como ac. Oleico)	Análisis	1	50	50
4	Rancidez	Análisis	1	40	40
5	Análisis de PH	Análisis	16	8	128
6	Índice de saponificación	Análisis	21	28,5	598,5
7	Análisis de humedad	Análisis	16	40	640
8	Mano de obra	Día	90	150	13500
9	Alquiler de equipos	Día	90	55	4950
Total (Bs)					20016,5

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

**Tabla III-22: Detalle de servicios indirectos**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Investigación en internet	Horas	165	2,5	412,5
2	Transporte	día	90	2	180
3	Anillado	pieza	3	5	15
4	Papel	resma	2	30	60
5	Empastado	pieza	3	50	150
6	Tinta impresora	ml	300	1	300
7	Marcadores	pieza	2	5	10
Total (Bs)					1127,5

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

**Tabla III-23: Detalle de materiales**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Envases plásticos	Pieza	16	0,3	4,8
2	Gafas de protección	Pieza	1	22	22
3	Guantes de nitrilo	Pieza	1	60	60
4	Barbijos	Pieza	5	2	10
5	Vaso acero inoxidable 1,8 L	Pieza	1	55	55
6	Papel film	Pieza	1	23	23
Total (Bs)					174,8

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

**Tabla III-24: Costo Total**

Ítem	Descripción	Costo total (Bs)
1	Detalle de materia prima y reactivos químicos	166,48
2	Detalle de servicios directos	20016,5
3	Detalle de servicios indirectos	1127,5
4	Detalle de materiales	174,8
Total (Bs)		21485,28

Fuente: (Elaboración propia, 2021)

### 3.6.2. Costo unitario de fabricación

A partir de los balances de materia y energía se estima el costo de producción para obtención de jabón potásico.

Los costos son: energía eléctrica 0,6Bs/KWh.

Para la elaboración de jabón se usa tres equipos eléctricos, una cocina eléctrica para la fusión de sebo, un agitador para la mezcla y un rota vapor adaptado para baño maría.

Las siguientes tablas estiman el costo de unitario de fabricación:

**Tabla III-25: Costo de funcionamiento de equipos**

Proceso	Requerimiento energético				
	Potencia (kw)	Tiempo (hr)	Energía (kwh)	Costo unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Fusión	1	1	1	0,6	0,6
Agitación	0,16	1,5	0,24	0,6	0,144
Saponificación	1,3	1,5	1,95	0,6	1,17
<b>Total (Bs)</b>					<b>1,914</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2021)

El costo energético para elaborar jabón potásico es de 1,914 Bs.

En la tabla III-26 se observa el cálculo del costo unitario que se realiza a partir de 200 gramos de sebo refinado teniendo en cuenta el proceso desde que empieza la recolección del sebo de res hasta su disolución del jabón.

Tabla III-26: Costo unitario jabón potásico

Servicios	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Índice de saponificación	Análisis	1	28,5	28,5
<b>Solventes y materia prima</b>				
Sebo de res	Kg	0,2	1,5	0,3
Hidróxido de potasio (99%)	Kg	0.04239	16	0,67
Agua Desionizada	Litro	0,63	6	3,78
Agua Baño María rota vapor	Litro	3	0,07	0,21
<b>Gastos indirectos</b>				
Mano de obra	Hr	4	18,75	75
Envase de plástico 1L	Pieza	1	5,5	5,5
Envase de plástico	Pieza	1	0,1	0,1
Gasto energético				1,914
<b>Costo Total (Bs)</b>				<b>115,97</b>

Fuente: (Elaboración propia, 2021)

Según la tabla III-26 el costo aproximado es de 115,97 Bs para la producción de un volumen de 0,73 litros de jabón potásico en solución al 30 % (ver sección 3.5.1.4.), partiendo de 200 gramos de sebo fresco. Para la estimación se toma en cuenta la mano de obra, gastos indirectos y servicios, para obtener una completa reacción en la saponificación.

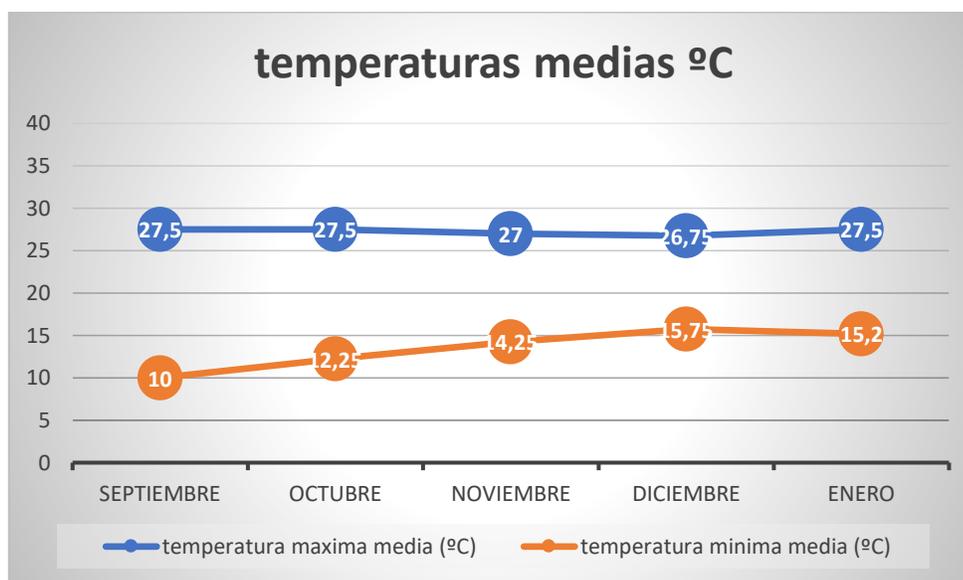
### 3.7. Resultados de la prueba de eficacia del jabón potásico en plantas de vid

A continuación se muestra los resultados de eficacia del jabón potásico en solución al 30 % aplicado en plagas de la vid.

#### 3.7.1. Características climatológicas

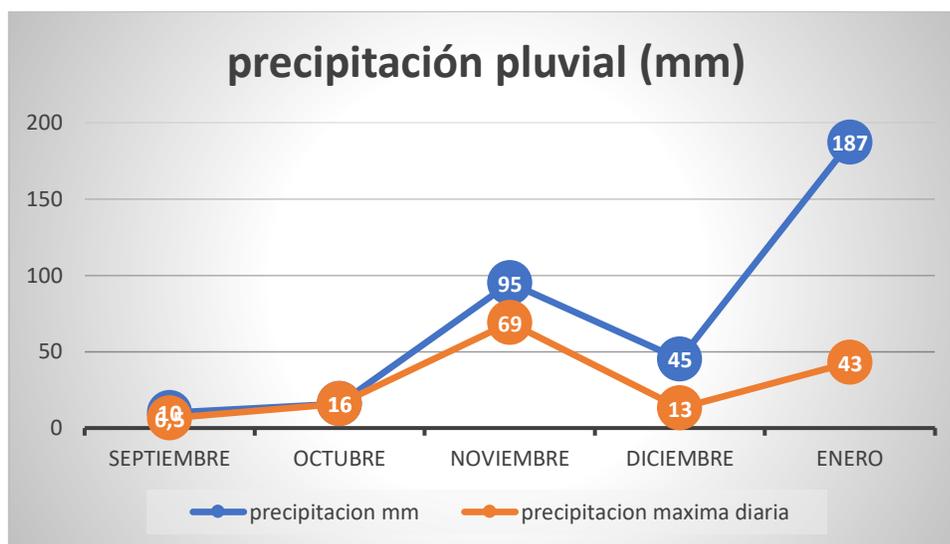
Las condiciones climatológicas influyen en el cultivo de la vid, pues a ciertas temperaturas y humedad relativa, las plagas y enfermedades proliferan con mayor rapidez siendo dificultoso eliminarlas.

**Figura 3-11: Temperaturas medias**



Fuente: (Elaboración propia, 2022)

Según la figura 3-11 las temperaturas fueron estables a lo largo del ciclo de la vid, registrando temperaturas más elevadas en el mes de enero.

**Figura 3-12: Precipitación pluvial (mm)**

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

La temporada de cultivo de vid según la figura 3-12, tuvo bastantes precipitaciones pluviales en los meses de noviembre y enero, haciendo que las plagas proliferen en gran magnitud como así también, entorpeciendo en la frecuencia de aplicación de los tratamientos.

### 3.7.2. Porcentaje de severidad en hojas y racimos

En la tabla III-27 se muestra los resultados de comparar los tratamientos T1, T2, y T3, donde se observa un mayor grado de severidad en el tratamiento T3 tanto en hoja como en racimo, con respecto a los tratamientos T1 y T2 que presentan valores menores.

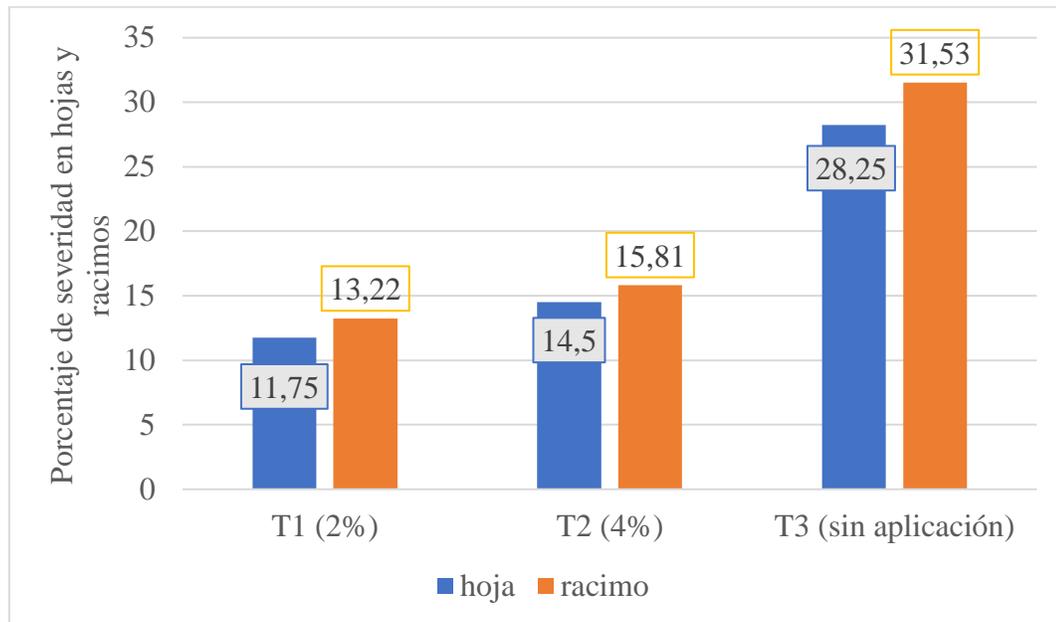
**Tabla III-27: Comparación de tratamientos de severidad en hoja y racimos**

Tratamiento	Hoja	Racimo
T1 (2%)	11,75	13,22
T2 (4%)	14,5	15,81
T3 (sin aplicación)	28,25	31,53

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

En la figura 3-13 se aprecia con mayor claridad los porcentajes de severidad en hojas y racimo. El grado de severidad disminuye en los tratamientos T1 y T2 al aplicar las dosis de 2% y 4% de jabón potásico en solución.

**Figura 3-13: Porcentaje de severidad en hojas y racimos**



Fuente: (Elaboración propia, 2022)

### 3.7.3. Eficacia en hojas y racimo por mildiu

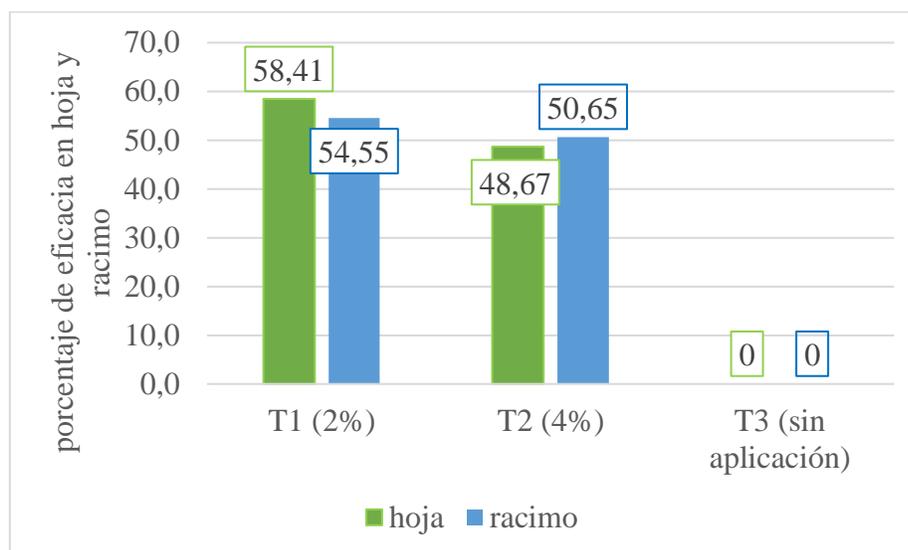
En la tabla III-28 se muestra el porcentaje de eficacia, donde se observa una mayor eficacia en el tratamiento T1 con respecto al tratamiento T2. En el tratamiento T3 no se aplica el jabón potásico.

**Tabla III-28: Eficacia en hojas y racimo por Mildiu**

Tratamiento	Hoja	Racimo
<b>T1 (2%)</b>	58,41	54,55
<b>T2 (4%)</b>	48,67	50,65
<b>T3 (sin aplicación)</b>	0	0

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

En la figura 3-14 se observa una eficacia tanto en hoja como racimo al aplicar el jabón potásico en solución. El tratamiento T1 con una dosis de 2% de jabón potásico en solución, muestra mayor eficacia.

**Figura 3-14: Porcentaje de eficacia en hoja y racimo por Mildiu**

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

#### 3.7.4. Eficacia en arañuela roja

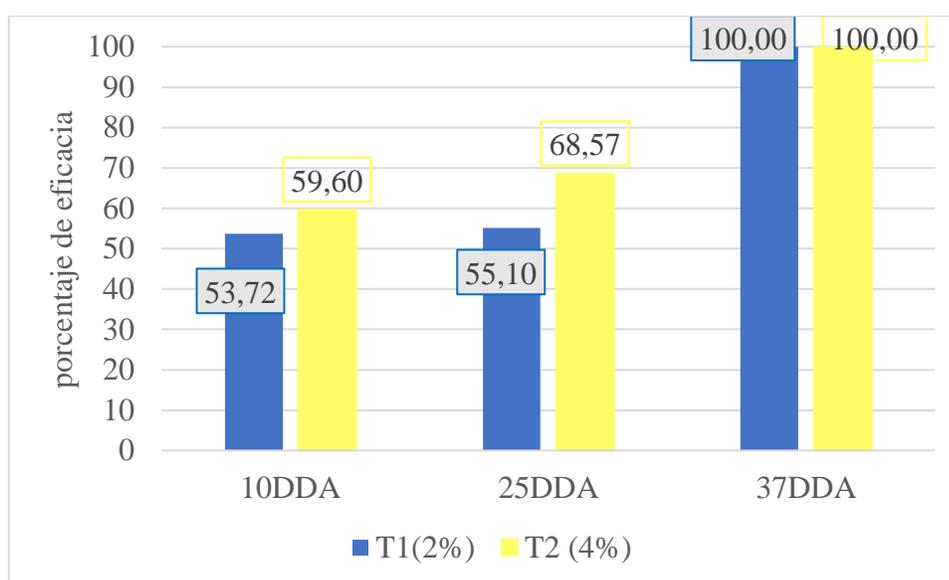
En la tabla III-29 se observa la comparación en los tratamientos efectuados en dos dosis, donde se obtiene una efectividad del 100% en ambas plantas al cabo de 3 aplicaciones en 37 días.

**Tabla III-29: Comparación de los tratamientos efectuados en arañuela roja**

Tratamiento	10DDA	25DDA	37DDA
<b>T1 (2%)</b>	53,72	55,10	100
<b>T2 (4%)</b>	59,60	68,57	100
<b>T3 (sin aplicación)</b>	0	0	0

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

En la figura 3-15 se observa que ambas dosis son efectivas contra la arañuela roja al cabo de 3 aplicaciones.

**Figura 3-15: Porcentaje de eficacia en arañuela roja**

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

- a) La caracterización del sebo de res es:

<b>Parámetros físicos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Índice de refracción		1,4712
Color	visual	crema
Humedad	%	5,89
<b>Parámetros químicos</b>		
Índice de saponificación	mg KOH/gr sebo	211,954
Índice de acidez	%	0,56
Índice de peróxidos	meqO <sub>2</sub> /kg	4,87

Las características señaladas en la tabla anterior, indica que el sebo de res del departamento de Tarija, cumple con las especificaciones técnicas para considerarlo como materia prima en la elaboración de jabón potásico.

- b) El proceso escogido para la elaboración de jabón potásico es el proceso en semi ebullición por lo consiguiente:
- Al cabo de 72 horas se puede usar el producto.
  - Mantiene la glicerina en su composición, coadyuvante en la humectación en la aplicación sobre la planta.
- c) El proceso escogido es el “discontinuo” por ofrecer flexibilidad en su operación y un producto de buena calidad.
- d) Las cantidades calculadas a partir del índice de saponificación fue correcta, pues se logra la saponificación de los triglicéridos presentes en el sebo de res.

- e) Concluida la parte experimental y según la mejor variable de respuesta, se determina las condiciones más óptimas para la elaboración de jabón potásico, dando lo siguientes resultados:
- Temperatura: 70 °C
  - Tiempo: 90 min
  - Concentración: 25% m/m
- f) Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utiliza el programa SPSS STATISTICS dando como resultado una significancia en el rango de concentraciones trabajado (25% y 30 %), por lo que se concluye que el mencionado rango de trabajo existe una variación significativa respecto a la obtención de jabón potásico. La concentración de hidróxido de potasio más conveniente es al 25%.
- g) La comparación que se realiza al jabón obtenido con otros jabones comercializados en el mercado, es cercana en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas (PH y concentración en solución). Presenta una buena solubilidad en agua y crea bastante espuma.

<b>Jabón Potásico en solución 30%</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
PH	10,11
Forma	Líquida
Concentración jabón potásico (%)	30
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) a 25°C	1042,3
Color	crema
Olor	Característico
Índice de saponificación mg KOH	23,93

- h) El costo unitario de producción aproximado es de 115,97 Bs para la producción de un volumen de 0,73 litros de jabón potásico en solución al 30%, partiendo de 200 gramos de sebo de res. El costo es un poco elevado debido a que toma en cuenta la mano de obra, gastos indirectos y servicios.
- i) La eficacia del jabón potásico en solución al 30% aplicado a arañuela roja, muestra una completa eliminación de 100% en sus dos dosis. En el tratamiento contra la enfermedad Mildiu, la eficacia en hojas del tratamiento 1 muestra un valor de 58,41%, en el tratamiento 2 muestra una eficacia de 48,67%. En cuanto a la eficacia en racimo el tratamiento 1 tiene un valor de 54,55% y en tratamiento 2 la eficacia es de 50,65%.

#### **4.2. Recomendaciones**

- a) Evaluar la agregación de aceite vegetal en diferentes porcentajes al sebo de res para mejorar la solubilidad en la dilución del jabón potásico.
- b) Tener un minucioso control de operación en la fusión del sebo de res, pues de no ser así, puede causar premura en su enranciamiento al modificar su estructura.
- c) Aprovechar el chicharrón separado del proceso de fusión, para elaboración de alimento balanceado.
- d) Se recomienda en futuras investigaciones tomar en cuenta, rangos de temperatura diferentes a los realizados (60 y 70°C), en busca de resultados con mayor significancia.
- e) Se recomienda realizar un profundo análisis fisicoquímico al producto final, determinar su composición y características, para así, establecer una comparativa con las normas de calidad NB 195 “agentes tensoactivos vigentes”.
- f) Realizar el estudio de prefactibilidad para determinar la rentabilidad a escala industrial.
- g) Impulsar políticas de incentivo a la producción orgánica para minimizar daño ambiental y riesgos a la salud humana.