

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



OBTENCIÓN DE LANOLINA CRUDA DE LANA DE OVEJA

(Corriedale), EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Por:

VICTORIA ALDANA GALLARDO

Proyecto de Grado, modalidad (Investigación Aplicada) presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Septiembre de 2020

Tarija - Bolivia

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la sabiduría y el coraje para hacer lo correcto, por la enseñanza de día a día, por guiar mi camino y siempre bendecir mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre y me inculcaron los valores para poder triunfar en la vida.

PENSAMIENTO

La educación es el arma más poderosa
que puedes usar para cambiar el mundo.

Nelson Mandela

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 Generalidades.....	1
1.1.2 Conceptualización de la idea del Proyecto de Grado, Obtención de Lanolina Cruda.....	1
1.1.3 Caracterización / Descripción de Lanolina Cruda	2
1.1.4 Aplicaciones y usos de la Lanolina.....	2
1.1.5 Beneficios de la Lanolina.....	5
1.1.6 Mercado consumidor de la Lanolina.....	5
1.1.7 Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina en Bolivia	6
1.1.8 Mercado competidor de la Lanolina	9
1.1.9 Procesos Tecnológicos empleados en la Obtención de Lanolina Cruda.....	10
1.1.10 Lana de Oveja	12
1.1.11 Problema de desarrollo.....	14
1.1.12 Planteamiento técnico propuesto	15
1.2 OBJETIVOS	15

1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.3.1 Justificación Económica.....	16
1.3.2 Justificación Tecnológica.....	16
1.3.3 Justificación Social.....	16
1.3.4 Justificación Ambiental.....	17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 LÍPIDOS	18
2.1.1 Ácidos Grasos Saponificables.....	19
2.2 CERAS	19
2.2.1 Clasificación de las ceras	19
2.2.2 Cera animal	20
2.3 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA CERA.....	21
2.4 LANOLINA	22
2.4.1 Composición Química de la Lanolina.....	23
2.5 LANA DE OVEJA.....	26
2.5.1 Propiedades Físicas de la Lana de Oveja	27
2.5.2 Propiedades Químicas de la Lana de Oveja.....	27
2.5.3 Propiedades Biológicas de la Lana de Oveja	28
2.5.4 Tipos de lana	28
2.6 PROCESO PRODUCTIVO DE LA LANA	29

2.6.1 Tratamiento del efluente y recuperación de la “grasa” ovina	31
2.7 PROCESOS INDUSTRIALES DE OBTENCIÓN DE LANOLINA	32
2.7.1 Extracción de Lanolina mediante separación física por centrifugación.....	32
2.7.1.1 Sistema WRONZ	32
2.7.1.2 Proceso Lo-Flo	34
2.7.1.3 Extracción mediante Filtros Cerámicos	36
2.7.2 Extracción de Lanolina con solventes.....	36
2.7.2.1 Teoría de la Extracción Sólido-Líquido.....	37
2.7.2.1.1 Factores que influyen en la velocidad de extracción	39
2.7.2.2 Proceso de Lavado de Lana en Seco.....	40
2.8 PROCESOS O MÉTODOS EXPERIMENTALES DE OBTENCIÓN DE LANOLINA	42
2.8.1 Extracción Soxhlet	42
2.8.2 Extracción asistida con microondas	44
2.8.3 Extracción Supercrítica	44

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA	47
3.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	48
3.2.1 Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de Lanolina Cruda .	48
3.2.2 Selección del solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda.....	52
3.3 DISEÑO FACTORIAL.....	55
3.3.1 Diseño Factorial 3 ^k	55

3.4 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS	57
3.4.1 Reactivo empleado	58
3.4.2 Materiales utilizados	59
3.4.3 Equipos utilizados en la extracción de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja	60
3.4.4 Descripción del Proceso Tecnológico de Obtención de Lanolina Cruda.....	65
3.4.4.1 Recolección de la Materia Prima	66
3.4.4.2 Limpieza.....	66
3.4.4.3 Almacenamiento de la materia prima	67
3.4.4.4 Extracción Soxhlet	68
3.4.4.5 Destilación.....	69
3.4.4.6 Desolventización del producto	69
3.4.4.7 Desolventización de la lana.....	70
3.4.4.8 Espolvoreado de la lana	71
3.4.4.9 Almacenamiento del producto	72
3.4.5 Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja	73
3.4.6 Balance de energía del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja	80
3.4.6 Estimación de costos del consumo de energía en el proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja	85
3.4.7 Análisis estadístico del diseño experimental.....	87
3.4.7.1 Cálculo del Análisis de Varianza	88

3.4.7.2. Análisis de Varianza para Regresión Lineal	91
3.5 ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO	100
3.5.1 Resultados de los análisis del producto final	101
3.6 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO	101

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA LANA DE OVEJA	103
4.2 COMPARACIÓN DE LA LANOLINA CRUDA DE LANA DE OVEJA	103
4.3 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO	106
4.3.1 Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción.....	106

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	109
5.2 RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla I-1 Aplicaciones y usos de la Lanolina	3
Tabla I-2 Principales Países Importadores de Productos Derivados de la Lanolina.....	5
Tabla I-3 Valor de las Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina en Bolivia	6
Tabla I-4 Proyección del Valor de las Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina en Bolivia	8
Tabla I-5 Principales Países Exportadores de Productos Derivados de la Lanolina.....	9
Tabla I-6 Principales Países Exportadores de Productos Derivados de la Lanolina en Latinoamérica.....	10
Tabla II-1 Comparación de las características de Ceras de Origen Animal	21
Tabla II-2 Contenido de la fracción ácida de la cera de la lana	23
Tabla II-3 Contenido de la fracción alcohólica de la cera de la lana	24
Tabla II-4 Especificaciones de la Lanolina Cruda	25
Tabla II-5 Composición química promedio de la lana de oveja	26
Tabla II-6 Tipos de lana	28
Tabla II-7 Grado de contaminación en lanas Cruzas Neozelandesas	31
Tabla III-1 Composición Fisicoquímica de la Lana de Oveja.....	47
Tabla III-2 Escala de calificación de Likert.....	48
Tabla III-3 Matriz de desición para el solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda	54
Tabla III-4 Codificación de variables	56
Tabla III-5 Matriz de Experimentos.....	57
Tabla III-6 Materiales	59

Tabla III-7 Datos experimentales del proceso de obtención de Lanolina Cruda	88
Tabla III-8 Análisis de Varianza (ANOVA).....	90
Tabla III-9 ANOVA PARA REGRESIÓN.....	92
Tabla III-10 Datos para el cálculo del análisis de varianza	93
Tabla III-11 Factores Inter-sujetos.....	94
Tabla III-12 Pruebas de los efectos inter-sujetos	94
Tabla III-13 Variables introducidas/eliminadas.....	95
Tabla III-14 Ajustes de datos para el modelo lineal general.....	96
Tabla III-15 ANOVA (a)	96
Tabla III-16 Coeficientes (a).....	96
Tabla III-17 Resultados del rendimiento observado y obtenido con el modelo matemático	97
Tabla III-18 Estadísticos sobre los residuos (a)	99
Tabla III-19 Características Fisicoquímicas de la Lanolina cruda obtenida de Lana de Oveja	101
Tabla III-20 Perfil Cromatográfico de Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja	102
Tabla IV-1 Composición Fisicoquímica de la materia prima.....	103
Tabla IV-2 Comparación de la Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja	104
Tabla IV-3 Resultado del Perfil Cromatográfico de la Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja Corriedale.....	105
Tabla IV-4 Datos experimentales del proceso de obtención de Lanolina Cruda.....	106
Tabla IV-5 Datos experimentales del proceso de obtención de Lanolina Cruda utilizando la relación soluto/solvente C	107
Tabla IV-6 Condiciones de operación recomendada para el proceso de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1 Lana de Oveja Corriedale.....	13
Figura 2-1 Clasificación de los Lípidos.....	18
Figura 2-2 Ceras Animales.....	20
Figura 2-3 Diagrama de Bloques del Proceso Productivo de lana.....	30
Figura 2-4 Sistema WRONZ.....	33
Figura 2-5 Diagrama de Bloques del Proceso Lo-Flo.....	35
Figura 2-6 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de Lanolina mediante Filtros Cerámicos	36
Figura 2-7 Proceso de Difusión Molecular	38
Figura 2-8 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de Lanolina mediante Lavado de Lana en Seco	40
Figura 2-9 Extractor Soxhlet.....	43
Figura 2-10 Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Lanolina mediante Extracción Supercrítica	45
Figura 3-1 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Lanolina Cruda.....	65
Figura 3-2 Diagrama de bloques del proceso tecnológico experimental	73
Figura 3-3 Rendimiento observado vs obtenido con el modelo matemático	99

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 3-1 Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de Lanolina Cruda.....	49
Cuadro 3-2 Matriz de decisión para el método (proceso tecnológico) de Obtención de Lanolina Cruda.....	51
Cuadro 3-3 Selección del solvente para el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda.....	52
Cuadro 3-4 Ficha de Seguridad del reactivo	58
Cuadro 3-5 Descripción de las corrientes principales del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina cruda	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico I-1 Evolución del Valor de las Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina por año en Bolivia.....	7
Gráfico I-2 Número de cabezas de ganado ovino en Bolivia.....	13
Gráfico I-3 Número de cabezas de ganado ovino en Tarija.....	14
Gráfico IV-1 Rendimiento de Lanolina Cruda de lana de oveja utilizando la relación soluto/solvente C.....	107

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 3-1 Extractor Soxhlet.....	61
Fotografía 3-2 Calentador eléctrico	62
Fotografía 3-3 Balanza electrónica	62
Fotografía 3-4 Balanza analítica	63
Fotografía 3-5 Estufa.....	64
Fotografía 3-6 Recolección materia prima.....	66
Fotografía 3-7 Limpieza.....	67
Fotografía 3-8 Almacenamiento de la materia prima	67
Fotografía 3-9 Extracción Soxhlet	68
Fotografía 3-10 Destilación.....	69
Fotografía 3-11 Desolventización del producto	70
Fotografía 3-12 Desolventización de la lana.....	70
Fotografía 3-13 Espolvoreado de la lana	71
Fotografía 3-14 Lana espolvoreada y desengrasada y Polvo de lana.....	71
Fotografía 3-15 Almacenamiento del producto	72
Fotografía 3-16 Lanolina cruda obtenida en los distintos tiempos de extracción.....	72

RESUMEN

Este proyecto de investigación, tiene como propósito recuperar la cera animal contenida en la lana de oveja denominada Lanolina, otorgando así, valor agregado a este recurso del cual dispone el departamento de Tarija. Mediante su procesamiento, se obtiene un producto natural muy barato y de fácil acceso.

Se utiliza ampliamente en el cuidado personal con productos cosméticos y sectores de la salud. Además de beneficiar a industrias textiles con el ahorro de altos costes de inversión en complejos tratamientos de depuración de las aguas residuales, generadas en grandes cantidades durante el proceso de lavado acuoso de la lana.

Para obtener la Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja, se aplicó el método Soxhlet de extracción sólido-líquido con Etanol al 96 % como solvente, fijando las condiciones de operación de la región; iniciando el proceso por el esquilado de la lana, seguido por un adecuado almacenamiento en condiciones que eviten su deterioro. Previa a una etapa de limpieza, se pasa al equipo de extracción, donde con ayuda del solvente se busca agotar en lo posible el contenido de materia grasa en la lana. Después de haber disuelto la totalidad de las grasas contenidas en la materia prima, se recupera el etanol por destilación. Se empleó un diseño factorial 3k y los factores seleccionados fueron relación soluto/solvente y tiempo de extracción cada uno con tres niveles, y la variable respuesta fue el rendimiento de Lanolina obtenida.

Referente a resultados del diseño factorial aplicado en la extracción, se obtuvo un mayor rendimiento de Lanolina (5.1376 %), para una relación s/S de 0.017 g/ml (60/3500), un tiempo de extracción de 4 h y una temperatura de extracción de 73.5 °C.

La calidad de la Lanolina obtenida se estableció en base a los análisis fisicoquímicos, como ser punto de fusión (46 °C), densidad (1.02 g/ml), humedad (8.64 %), índice de saponificación (96 mg KOH/g), índice de acidez (11.40 %), índice de yodo (40 mg I₂/kg) y materia insaponificable (22.40 %). Otro análisis realizado al producto fue el perfil cromatográfico cuyos resultados generales fueron; ácidos saturados totales (72.67 %) y ácidos insaturados totales (27.34 %). Dichos parámetros se consideran aceptables

después de ser comparados con los datos bibliográficos establecidos para la Lanolina Cruda.

Gracias al trabajo de investigación efectuado, se evidencia la factibilidad técnica de obtener Lanolina Cruda durante el procesado de la lana, recomendando continuar con los estudios para conocer el contenido de Lanolina en Lana de Oveja de otras razas existentes en la región.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Generalidades

La lana antes de quedar en condiciones tales que pueda ser utilizada para hilado y posteriormente en la fabricación de tejidos, sufre una serie de tratamientos físicos y químicos entre los que pueden mencionarse: el limpiado, lavado, desengrasado, remojado, blanqueado, cardado, peinado, hilado, teñido y tejido.

Para la conversión de la lana bruta en hilaza y tejido, el primer paso es tratar de eliminar la Lanolina, el curre, la humedad, detritos e impurezas alimenticias que varían según el ambiente en que vive el animal, por medio de un lavado con detergente y soda cáustica.

De las aguas de lavado, puede obtenerse dos tipos de Lanolina: una de alta calidad y libre de contaminantes que es la calidad cosmética y farmacéutica, y otra recuperada como paso en un proceso destinado a convertir los líquidos acuosos de la limpieza de la lana en un efluente higienizado que pueda pasar a la alcantarilla. Este segundo tipo de Lanolina es un producto bruto que contiene muchas impurezas.

Culturalmente la Lanolina es conocida desde hace muchos años por sus beneficios dentro del área dermatológica y cosmetológica, fabricándose diversos productos de belleza para uso personal como ser cremas hidratantes, jabones, shampoos, etc.; cuyo componente principal es la Lanolina.

1.1.2 Conceptualización de la idea del Proyecto de Grado, Obtención de Lanolina Cruda

Realizar un estudio experimental (escala laboratorio) para la extracción de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) en el departamento de Tarija, con la finalidad de obtener un producto que es apreciado por el mercado a nivel mundial, por poseer propiedades beneficiosas en el sector cosmetológico.

Tomando en cuenta que la Lanolina es un producto de mucha demanda a nivel internacional y existe mercado en nuestro país, nació la idea de satisfacer a la población consumidora de este producto considerando además que Tarija posee la materia prima fundamental (lana de oveja).

1.1.3 Caracterización / Descripción de Lanolina Cruda

La grasa de lana de oveja es un conjunto de lípidos que se encuentran en la superficie de las fibras de lana, se ha descubierto que contiene también ceramidas naturales en proporciones relativamente bajas y que, a partir de la Lanolina, se pueden obtener fracciones enriquecidas en dichas ceramidas naturales que muestran una importante actividad protectora e hidratante de la piel, lo que permite su utilización en la preparación de composiciones cosméticas y dermatológicas.

Este tipo de grasa es un producto natural muy barato y de fácil acceso, permite sustituir con ventaja a las ceramidas sintéticas y a los extractos naturales hasta ahora conocidos (Tratado de Cooperación en Materia de Patentes, 2002 TCP).

1.1.4 Aplicaciones y usos de la Lanolina

Las aplicaciones industriales de las grasas de origen animal comprenden la producción de jabones, lubricantes, uso cosmetológico.

La gama de utilización de la Lanolina es muy amplia, y va desde su aplicación sobre objetos metálicos para preservarlos del óxido hasta como lubricante en las juntas de aparatos sensibles y de fabricación artesanal, como instrumentos musicales de madera (flautas, gaitas, etc.).

La Lanolina y sus derivados se utilizan ampliamente tanto en el cuidado personal (por ejemplo, cosméticos de alto valor, cosméticos faciales, productos labiales) y sectores de la salud. Se usa con frecuencia en el tratamiento protector de la piel del bebé y como tratamiento para los pezones adoloridos en madres lactantes (La lanolina CAS 8020-84-6, s.f.)

La Lanolina forma parte de los siguientes productos:

- Aceite para bebés
- Productos para el cuidado de los ojos
- Productos para dermatitis del pañal
- Medicamentos para las hemorroides
- Lociones y cremas para la piel
- Shampoos medicados
- Productos de maquillaje (labiales, polvos, base para maquillaje)
- Removedores de maquillaje
- Cremas para afeitar
- Cosméticos y productos de higiene personal: cremas, polvos, autobronceadores, desmaquillantes, maquillaje de ojos, lápices labiales, limpiadores de esmalte de uñas, cremas barreras, lociones para el cabello, shampoos, desodorantes, toallitas húmedas, cremas de afeitado, lociones para después del afeitado.
- Medicamentos tópicos: cremas, lociones, ungüentos, preparados antihemorroidales
- Productos veterinarios
- Ceras de calzado
- Pulimento de muebles, limpieza de tapicerías
- Otros: Aceites de corte, preventivos de corrosión metálica, papel carbón, recubrimiento de botas de goma, lavavajillas, tintas de impresión (reductores y diluyentes), preservativos, cuero repelente al agua, acabados textiles y de peletería, cera para esquís, aislamiento de cables, acabado de metales, emulsión para pinturas, espráis repelentes de insecto.

Tabla I-1 Aplicaciones y usos de la Lanolina

Producto	Descripciones y Usos	Origen	Envases
LANOLINA ANHIDRA U.S.P. (Desodorizada sin	Calidad muy pura, color amarillo claro, de acuerdo a especificaciones de Farmacopea	Únicamente grasa de lana centrifugada de alta calidad, es usada en la	Latas de hierro con lacado interior de 18 Kg.

pesticidas, bajo peróxido)	F.N.A. VI, B.P. 1998 y U.S.P. XXIII, usada en toda clase de preparaciones Farmacéuticas y Cosméticas.	elaboración de esta LANOLINA; donde la selección del color y la textura de la grasa juegan un importante papel en la obtención de la calidad final.	Tambores de Hierro con Lacado interior de 190 Kg.
LANOLINA de USO GENERAL	Grasa de lana doblemente refinada y blanqueada, hasta color Gardner 10, con un paso de desodorización de uso recomendado en preparaciones veterinarias y en el proceso de curtido de cueros y pieles finas.	Solamente grasa de Lana de buena calidad centrifugada es utilizada en la elaboración de esta Lanolina.	Tambores de Hierro de 190 Kg.
LANOLINA INDUSTRIAL	Grasa de lana doblemente refinada sin blanquear, de color marrón, de uso preferente en la industria (tintas, soluciones humectantes, nutrientes, etc.)	Solamente grasa de Lana de buena calidad centrifugada es utilizada en la elaboración de esta Lanolina.	Tambores de Hierro de 190 Kg.

Fuente: QuimiNet, 2019.

1.1.5 Beneficios de la Lanolina

La Lanolina es un producto que se considera un potente hidratante y emoliente, es pura, hipoalergénica y bacteriostática, es aplicable sobre pieles secas, ásperas y agrietadas, se utiliza como base o excipiente de pomadas, ungüentos, cosméticos, lubricantes e ingredientes de jabones "súper grasientos".

Como eficiente repelente de la humedad, resulta muy útil como grasa lubricante donde, sin ella, la corrosión habría representado un problema, también se usa la Lanolina como materia prima para la producción de vitamina D₃.

En la medicina popular de algunos lugares, se trata con pequeñas cantidades de Lanolina el interior de la nariz para combatir los catarros nasales.

1.1.6 Mercado consumidor de la Lanolina

En cuanto al mercado consumidor, la Lanolina posee una variedad de usos en diferentes ámbitos y es exclusiva para la parte cosmetológica y medicinal, lo que genera una importante demanda de la misma en la elaboración de una amplia gama de productos. Así, en la Tabla I-2, se muestra la lista de los cinco principales países importadores de productos derivados de la Lanolina a nivel mundial:

Tabla I-2 Principales Países Importadores de Productos Derivados de la Lanolina

País	Monto (\$us Millones)
Alemania	32.70
Estados Unidos	24.40
Reino Unido	22.00
Japón	16.50
Países Bajos	10.10

Fuente: Observatory of Economic Complexity, 2017.

Según los montos de dinero indicados para cada país, los cuales representan el valor de las importaciones, en el año 2017, Alemania fue el mayor importador de productos derivados de la Lanolina.

1.1.7 Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina en Bolivia

En la Tabla I-3 se presenta el valor de las importaciones de productos derivados de la Lanolina por año en Bolivia.

Tabla I-3 Valor de las Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina en Bolivia

Años	Monto (\$us Miles)
2008	142.00
2009	67.90
2010	118.00
2011	120.00
2012	196.00
2013	261.00
2014	156.00
2015	190.00
2016	157.00
2017	265.00

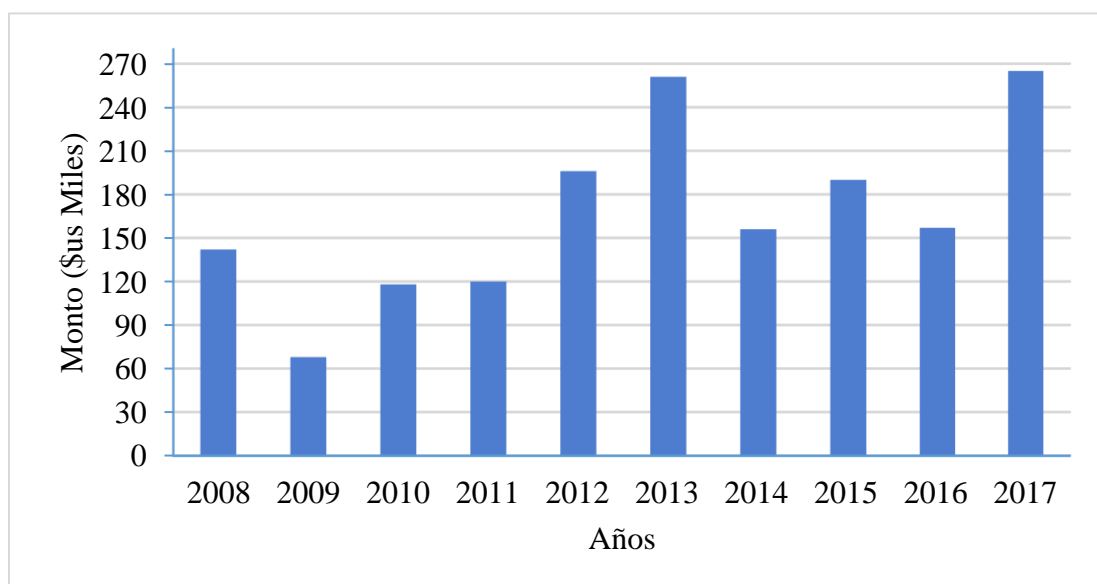
Fuente: Observatory of Economic Complexity, 2017.

De los datos presentados, en 2017, Bolivia tiene un monto de \$us 265 000 como valor de las importaciones de productos derivados de la Lanolina, siendo este el mayor monto pero bastante similar al del año 2013, lo cual puede atribuirse a que en los últimos años,

los productos naturales han cobrado importancia renovada por los beneficios que ofrecen sus diversas propiedades en la salud. Asimismo, se observan valores relativamente constantes para los demás años, con excepción del bajo monto en el año 2009, debido a la crisis económica que atravesó Bolivia ese año.

Para mayor comprensión de la información antes presentada, a continuación en el Gráfico I-1, se muestra la evolución del valor de las importaciones de productos derivados de la Lanolina por año en Bolivia.

Gráfico I-1 Evolución del Valor de las Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina por año en Bolivia



Fuente: Observatory of Economic Complexity, 2017.

A partir de los datos arriba presentados, se realizó una proyección del valor de las importaciones de productos derivados de la Lanolina por año en Bolivia para los siguientes ocho años, mediante el Método de Proyección de la Tasa Promedio, aplicando la siguiente relación:

$$M_n = M_o(1 + i)^n$$

Donde:

M_n = Monto del año proyectado

M_o = Monto inicial

i = Variación porcentual [6.35] (obtenido de la suma algebraica de las variaciones porcentuales dividido entre los años de variación).

n = Años para la proyección

Por ejemplo, cálculo para la proyección del año 2018:

$$M_{2018} = M_{2017} (1 + 0.0635)^1$$

$$M_{2018} = 265\ 000 (1 + 0.0635)^1 = \mathbf{281\ 836\ \$us}$$

Así sucesivamente se puede calcular la proyección para los años siguientes, obteniéndose la siguiente Tabla I-4.

Tabla I-4 Proyección del Valor de las Importaciones de Productos Derivados de la Lanolina en Bolivia

Años	Monto (\$us Miles)
2018	281.84
2019	318.79
2020	383.49
2021	490.63
2022	667.59
2023	966.09
2024	1 486.88
2025	2 433.81

Fuente: Elaboración propia.

Los montos mostrados suponiendo una tasa de crecimiento constante para todo el período proyectado, indican que Bolivia, en 2025, tendría aproximadamente un valor

de importaciones de productos derivados de la Lanolina de \$us 2 433.81; lo que significa un aumento en la demanda de los mismos.

1.1.8 Mercado competidor de la Lanolina

En lo que respecta al mercado competidor de la Lanolina, en la Tabla I-5, se muestra la lista de los cinco principales países exportadores de productos derivados de la Lanolina a nivel mundial:

Tabla I-5 Principales Países Exportadores de Productos Derivados de la Lanolina

País	Monto (\$us Millones)
China	66.60
Reino Unido	48.20
Japón	31.30
Bélgica-Luxemburgo	23.60
Singapur	16.50

Fuente: Observatory of Economic Complexity, 2017.

De los montos de dinero indicados para cada país, mismos que representan el valor de las exportaciones, en el año 2017, China fue el mayor exportador de productos derivados de la Lanolina.

No se registran datos de exportación a nivel nacional, porque, Bolivia carece de una industria que se dedique a la obtención de Lanolina, pero en Latinoamérica sí existe mercado que exporta a nivel mundial. Por ejemplo:

- Industria Química de Centro – IQC, Industria Chile
- Inquimec – Lanolinas y Ceras, Industria Argentina

A continuación, en la Tabla I-6, se presenta la lista de los cinco principales países exportadores de productos derivados de la Lanolina en Latinoamérica.

Tabla I-6 Principales Países Exportadores de Productos Derivados de la Lanolina en Latinoamérica

País	Monto (\$us Millones)
Uruguay	10.200
Brasil	5.170
Argentina	3.350
Chile	0.941
Colombia	0.137

Fuente: Observatory of Economic Complexity, 2017.

Los montos de dinero presentados, los cuales se refieren al valor de las exportaciones, en el año 2017, indican que Uruguay fue el mayor exportador de productos derivados de la Lanolina en Latinoamérica.

1.1.9 Procesos Tecnológicos empleados en la Obtención de Lanolina Cruda

El proceso de extracción de Lanolina es conocido desde hace tiempo. Por tanto, existen diversas formas de realizar la separación de la grasa de la lana de la propia fibra, algunas de ellas de una eficiencia extraordinaria. Estos métodos o sistemas de extracción de Lanolina pueden ser agrupados de la siguiente manera (Sánchez, A., 2016):

Industriales

- Sistema WRONZ; proceso de separación por centrífuga
- Proceso Lo-Flo; proceso por flotación similar al WRONZ, pero incluye un craqueo térmico en el licor que se deriva del lavadero, antes de la entrada en la centrífuga
- Extracción mediante filtros cerámicos
- Proceso de Lavado de Lana en seco

Experimentales

- Extracción supercrítica; empleando dióxido de carbono (CO₂) en condiciones por debajo del punto crítico del CO₂ en presencia de un solvente apropiado
- Extracción por el método Soxhlet
- Extracción con microondas

Como información de referencia, algunos resultados de experiencias sobre extracción de Lanolina a partir de lana de oveja, son descritos a continuación.

❖ En la Universidad de Salamanca, se realizó un proyecto con el objetivo de mejorar el proceso industrial de extracción de Lanolina del efluente procedente del lavado de la lana en base a un tratamiento fisicoquímico. Este Trabajo tomó como base las instalaciones tradicionales para extracción de Lanolina, método que utiliza máquinas separadoras centrífugas, aunque introduce algunas innovaciones. La más importante de ellas consiste en el tratamiento de la totalidad del efluente generado, a diferencia de los sistemas conocidos, en que la extracción de Lanolina solamente se realiza sobre una fracción del efluente del lavado. La experimentación fue realizada en una instalación industrial, en la que se determinaron los valores de las variables que optimizan el proceso de extracción, entre ellos el pH del efluente y la presión del aire de entrada en el equipo de flotación de aire disuelto (DAF), incorporado a la planta. Una de las conclusiones más relevantes de este trabajo fue, que el rendimiento o eficiencia de la extracción de la Lanolina depende en su mayor parte de un parámetro que ha sido denominado Índice de Efluente, y cuyo valor es función del tipo de lana que se está procesando en cada momento. Así, los resultados esperados para el rendimiento de la extracción fueron cuantificados en función de este parámetro.

El rendimiento de extracción de Lanolina fue alrededor de 7% (7 kg de Lanolina extraída por cada 100 kg de lana sucia de entrada al lavadero), trabajando con lanas merinas de origen australiano. Este matiz es importante, porque con las lanas merinas de origen español no se consigue extraer más de un 3% (Sánchez, A., 2016).

❖ En la Universidad de Barcelona se realizó un trabajo de investigación, con el fin de comparar los métodos alternativos existentes para la extracción de la cera de lana

contenida en efluentes residuales generados tras lavados industriales de lana. Para determinar la cantidad de grasa (cera de lana) presente en los residuos generados durante el lavado de la lana, uno de los métodos que se emplearon, fue la extracción Soxhlet con disolvente orgánico. Por ser la técnica más ampliamente utilizada en laboratorios de todo el mundo, ya que proporciona una alta recuperación de grasa. Se empleó un sistema Soxhlet clásica con cartuchos de extracción de celulosa, 5 g de lodos o crema fase se mezclaron con sulfato de sodio anhidro para eliminar el contenido de agua, y se colocó en el cartucho con 125 ml de diclorometano. La extracción se llevó a cabo durante 4 horas, el disolvente se evaporó y el porcentaje de cera extraída se calculó por peso. Los extractos obtenidos se secaron en una estufa a 60 °C hasta peso constante. El resultado para la muestra de lodo extraída por el método Soxhlet tradicional, fue de 42.5 % de cera de lana (p/p de muestra seca), (López, M., et. al., 2007).

1.1.10 Lana de Oveja

La lana es una materia renovable, fibra natural que se obtiene de las ovejas y otros animales mediante un proceso denominado esquila, pues la oveja se esquila todos los años, en primavera o a comienzos del verano. Se obtiene cada vez un vellón que puede llegar a pesar hasta 4 kg en los casos más favorables, se utiliza en la industria textil y de la misma se puede obtener una cera llamada Lanolina (Martín, P., 2017).

Según el periódico La Patria, en Oruro – Bolivia, actualmente cinco razas son las existentes: *Corriedale*, es una raza de origen neozelandés, con una aptitud balanceada en lana y carne. Se introdujo al altiplano en 1955 por la Estación Experimental Patacamaya (IBTA - Bolivia). Es la raza que más contribuyó al mejoramiento del ganado criollo boliviano, denominada como "raza naturalizada".

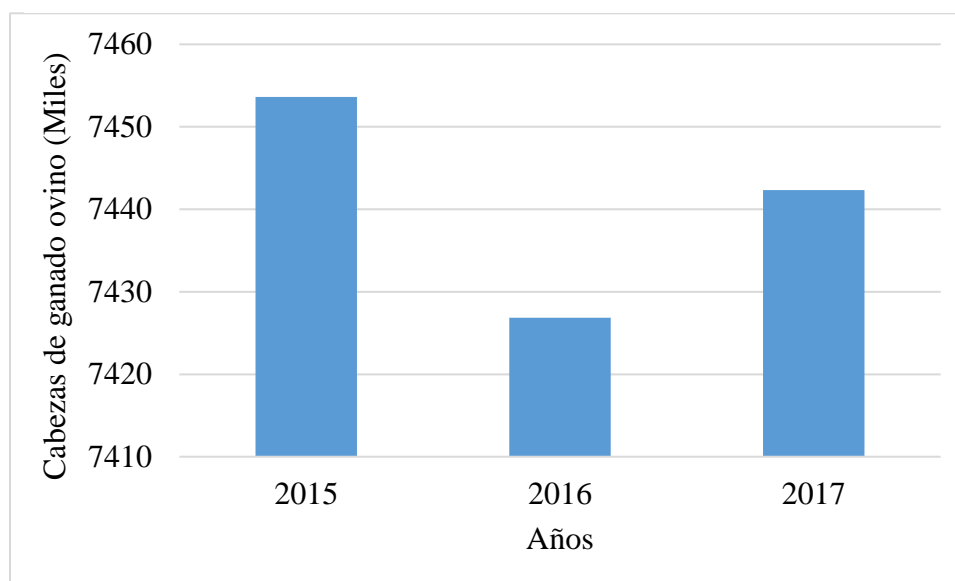
Figura 1-1 Lana de Oveja *Corriedale*



Fuente: <https://www.inforural.com.mx/la-lana-otra-cara-del-ovino/>

De acuerdo a los datos recabados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en Bolivia, el número total de cabezas de ganado ovino en los años 2015, 2016 y 2017 fueron los siguientes:

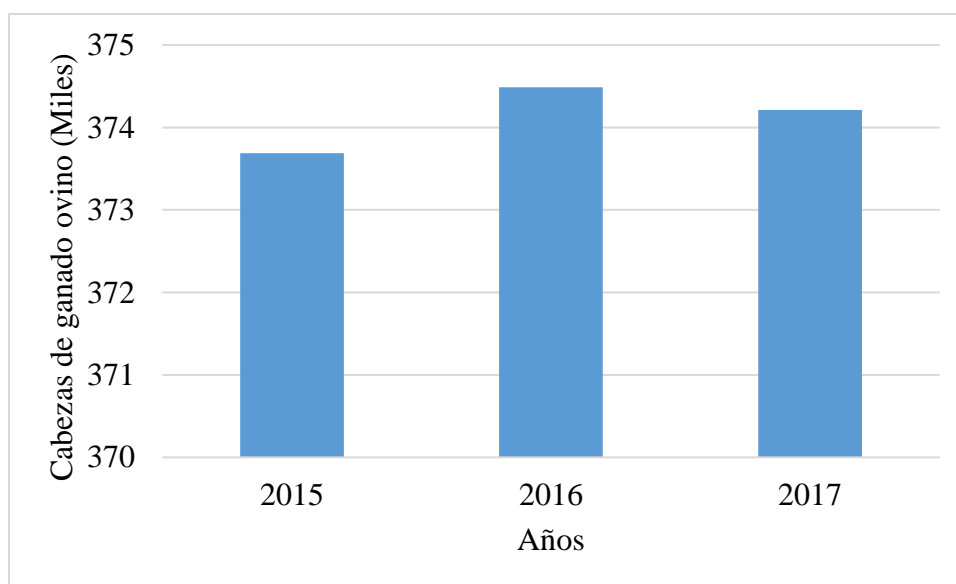
Gráfico I-2 Número de cabezas de ganado ovino en Bolivia



Fuente: INE, 2018.

En el departamento de Tarija existen importantes recursos animales como la lana de ovino para la extracción de sustancias naturales. Sin embargo, en la actualidad el país no cuenta con industrias de extracción de grasas animales, menos empresas que fabriquen y comercialicen productos derivados del mismo. En Tarija los municipios donde existe más cabezas de ganado ovino son: el Valle, Yunchará, El Puente, Iscayachi y Padcaya. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en Tarija, el número total de cabezas de ganado ovino en los años 2015, 2016 y 2017 fueron los siguientes:

Gráfico I-3 Número de cabezas de ganado ovino en Tarija



Fuente: INE, 2018.

1.1.11 Problema de desarrollo

La extracción de Lanolina en Bolivia aún es una práctica no investigada ni desarrollada, no existe un método estandarizado para su extracción y el producto aún es poco conocido. Por lo tanto, la población boliviana no está consciente de las propiedades químicas que la caracterizan y hacen que sea un producto de alto valor agregado.

En la actualidad en nuestro país existen industrias textiles de procesado de lana de oveja (ej. Tajzara - Tarija), pero no se hace la extracción de Lanolina en las etapas de lavado,

lo cual implica una pérdida de la obtención de un producto base para una amplia gama de productos con alta demanda y considerable valor económico.

1.1.12 Planteamiento técnico propuesto

Realizar un estudio experimental, obteniendo a escala laboratorio Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) mediante extracción por solvente, en el departamento de Tarija. Analizando las variables que afectan la velocidad de extracción y caracterizando el producto para conocer la calidad del mismo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Obtener experimentalmente Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) mediante extracción por solvente, en el departamento de Tarija.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades Físicas y Químicas (*Humedad, Materia Grasa, Fibra, Cenizas,*) de la materia prima: Lana de Oveja (*Corriedale*) criadas en el departamento de Tarija, para el proceso de obtención de Lanolina Cruda.
- Determinar las variables de operación (*relación soluto/solvente, tiempo de extracción y rendimiento de materia grasa*) del proceso de obtención de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*).
- Diseñar y ejecutar la fase experimental del proceso de obtención de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) mediante extracción por solvente.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas (*Punto de Fusión, Índice de Acidez, Índice de Yodo, Índice de Saponificación, Humedad, Materia Insaponificable, Densidad, Cromatografía*) y los parámetros de calidad del producto obtenido: Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) mediante extracción por solvente.
- Calcular el rendimiento del proceso experimental de obtención de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) realizado mediante extracción por solvente.

- Presentar y discutir los resultados del proceso de obtención de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) mediante extracción por solvente realizado en el departamento de Tarija.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación Económica

Debido a que el valor de las exportaciones de los productos derivados de la Lanolina a nivel mundial, han aumentado \$us 125.9 Millones desde 2000 a 2017 (Observatory of Economic Complexity, 2017 OEC) y que Bolivia importa dicho producto, es decir, existe demanda del mismo. Incorporarlo en el mercado nacional, puede beneficiar económicamente a industrias textiles al producir un producto que otorga valor agregado a la lana (precio de Lanolina Pura \$us 1.50 - \$us 5.90/kg). Además de ahorrarse altos costes de inversión en complejos tratamientos de depuración de las aguas residuales, generadas en grandes cantidades durante el proceso de lavado acuoso de la lana. Un problema que la mayoría de las industrias no pueden afrontar.

1.3.2 Justificación Tecnológica

La obtención de Lanolina de lana de oveja, mediante extracción con solvente, se centra en demostrar la viabilidad de una nueva tecnología para lavar la lana, que permita la recuperación total de los subproductos utilizando solvente con el objetivo de mejorar radicalmente el proceso convencional de lavado acuoso. Así, la presente investigación sirve para obtener datos referenciales de este proceso, generando información técnica acerca del método, para ayudar en el desarrollo de proyectos o futuros estudios que se realicen.

1.3.3 Justificación Social

Los grandes beneficios sociales se derivan de:

- Obtención de Lanolina en el país, que una vez purificada es usada en varios sectores como el cosmético, con alto valor añadido.

- Los trabajadores de las industrias textiles de lana se benefician de trabajar en un entorno más seguro con menos olores.
- El sector agrícola se beneficia del acceso a un suministro de fertilizante orgánico (Polvo de Lana).

1.3.4 Justificación Ambiental

A través del proceso de obtención de Lanolina cruda de lana de oveja, mediante extracción con solvente, se disminuye en lo posible el impacto ambiental generado por el tipo de solvente utilizado, mediante un proceso de recuperación del mismo, contenido en el producto principal “cera”.

Además de ser una alternativa para evitar en lo posible los impactos ambientales que generan los procesos convencionales de lavados de lana acuoso en el desengrasado de la misma, como ser: reducción del consumo de agua, productos químicos, energía y reducción de efluentes de aguas residuales, y su carga contaminante.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

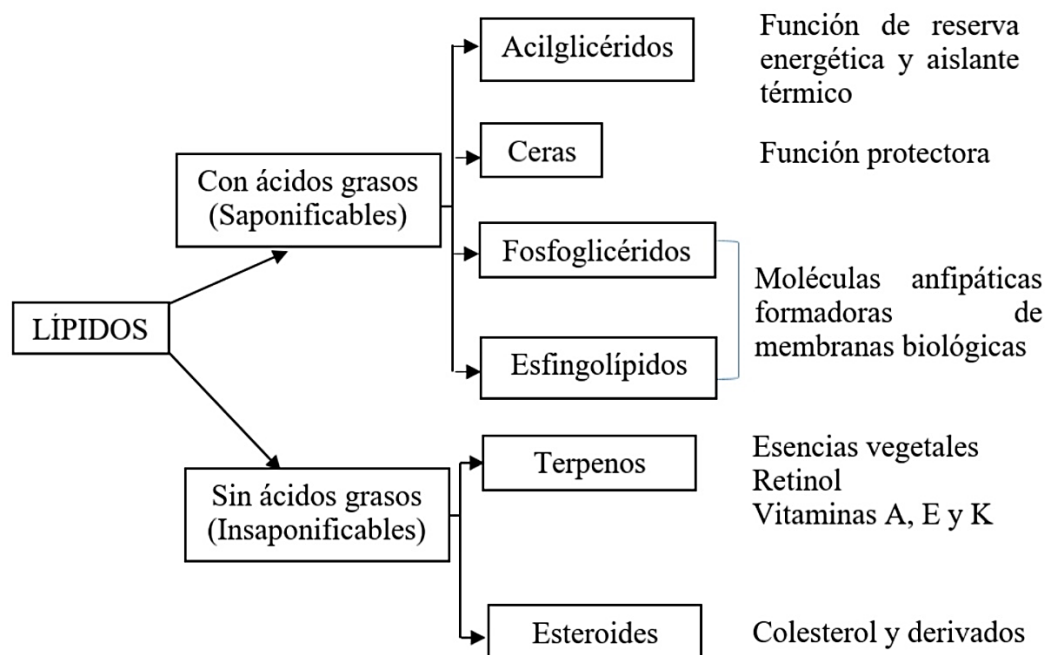
MARCO TEÓRICO

2.1 LÍPIDOS

Los lípidos son el principal constituyente de las membranas celulares, son las biomoléculas más hidrofóbicas y con mayor poder energético a nivel celular. Son un grupo químicamente diverso y, por tanto, desempeñan funciones biológicas muy variadas. Al agrupar un conjunto muy heterogéneo de moléculas orgánicas cuya particularidad es que son insolubles o muy poco solubles en agua, pero muy solubles en compuestos orgánicos no polares, pueden ser extraídos a partir de los materiales naturales en que se encuentran (tejidos vegetales o animales), por medio de solventes orgánicos, por ejemplo, éter, hexano, éter de petróleo, etanol, etc. (Velasco I., 2019).

Dependiendo de la presencia o no de ácidos grasos (unidos por enlaces éster) en su estructura, los lípidos se pueden clasificar de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 2-1 Clasificación de los Lípidos



Fuente: Lípidos, 2016.

2.1.1 Ácidos Grasos Saponificables

Son aquellos que por hidrólisis dan ácidos grasos y por tanto pueden realizar la reacción de saponificación en presencia de álcalis o bases, dando lugar a una sal de ácido graso llamada jabón.

2.2 CERAS

Las ceras o céridos son ésteres de ácidos grasos y alcoholes mono-hidroxílicos de cadena larga. Los dos extremos de la molécula son hidrófobos y por lo tanto insolubles en agua, lo que explica sus funciones protectoras y de revestimiento. Cera es todo producto natural o sintético que presenta las siguientes propiedades:

- A 20 °C deben ser de aspecto amorfo a finamente cristalino, de transparente a opaco, de blanda a dura y de plástica a quebradiza.
- Funde a temperaturas superiores a 40 °C sin descomposición.
- Son pulimentables bajo una ligera presión.
- Presentan baja viscosidad a temperatura ligeramente por encima de su punto de fusión. La viscosidad decrece paulatinamente al aumentar la temperatura.
- Su consistencia y solubilidad, dependen directamente de la temperatura.
- Generalmente arden con una llama fuliginosa, después de la ignición.
- Pueden formar pastas o geles.
- Presentan baja conductividad térmica y eléctrica.

2.2.1 Clasificación de las ceras

Las ceras pueden ser clasificadas según varios criterios como ser: por su origen, por sus propiedades físicas y químicas y por sus aplicaciones.

- ❖ Ceras Naturales: Ceras animales (Ceras de abeja, de insectos, de lana, etc.) y vegetales.
- ❖ Ceras Minerales: Ceras de petróleo y de lignito.
- ❖ Ceras Sintéticas: Ceras Fisher-Tropsch, de poliofelina y otras.

2.2.2 Cera animal

Es aquella que procede de la segregación de ciertos insectos o animales propiamente dichos. Los dos grupos principales de insectos productores de cera son, el *Apidae* del que la abeja melífera es el miembro principal y el *Coccidae* al que pertenece el *Coccus ceriferus* que es la fuente de la cera China de insectos. Dentro de las ceras animales, pueden diferenciarse dos tipos; aquellas que se obtienen de animales terrestres o bien las que se obtienen de animales marinos; para el primer caso una de las ceras más importantes es la cera de la lana, conocida comúnmente con el nombre de “Lanolina”. De la misma forma para el segundo caso la más conocida es el *Spermaceti* (esperma de ballena) obtenida de la cabeza del nombrado animal, hoy día especie protegida y por lo tanto prohibida su caza y la comercialización del *Spermaceti* (Herrera, D., s.f.).

Figura 2-2 Ceras Animales



Fuente: Elaboración propia a partir de Herrera, D., 2019.

Ceras Animales

- 1 – Cera de Abeja
- 2 – Cera China de Insectos
- 3 – Spermaceti
- 4 – Lanolina

Existen muchos tipos de ceras animales, pero de todas ellas, las que tienen una gran importancia técnica e industrial son la cera de abeja y la Lanolina. Por esta razón, a continuación, en la Tabla II-1, se compara las características de ambas ceras.

Tabla II-1 Comparación de las características de Ceras de Origen Animal

Tipo de Cera Animal	Parámetro	Valor	Unidad
Cera de Lana (Lanolina)	Densidad (20 °C)	0.92 – 0.96	g/cm ³
	Punto de Fusión	42 - 50	°C
	Índice de Yodo	15 - 30	g I ₂ /100g
	Índice de Saponificación	95 - 120	mg KOH/g
	Índice de Ésteres	90 - 95	%
Cera de Abeja	Densidad (20 °C)	0.95 – 0.96	g/cm ³
	Punto de Fusión	61 - 65	°C
	Índice de Yodo	8 - 12	gI ₂ /100g
	Índice de Saponificación	87 - 102	mgKOH/g
	Índice de Ésteres	70 - 80	%

Fuente: Sánchez, A., 2016, Gustav Heess, 2014 y Herrera, D., s.f.

De los datos indicados, se puede observar que ambas ceras poseen densidades similares, pero la Lanolina contiene mayor porcentaje de ésteres, índice de saponificación e índice de yodo. Al contrario, de lo que sucede con el punto de fusión.

2.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA CERA

Entre los análisis fisicoquímicos más importantes que se deben realizar a una cera cruda de origen animal, se encuentran los siguientes:

- Punto de fusión: Se define como la temperatura en la cual una cera se encuentra completamente fundida. Es una propiedad intrínseca de las sustancias, la cual es utilizada, junto a otros ensayos, para la confirmación de identidad de la misma; así como indicador de pureza. Suele ser muy estable, en torno a los 40 °C.
- Humedad: Representa la cantidad de agua presente en la cera. Su valor se encuentra por debajo del 9 %.
- Índice de acidez en grasas: Expresa los miligramos de Hidróxido Potásico necesarios para neutralizar la acidez libre de un gramo de sustancia grasa. La importancia de su conocimiento radica en que en base a su valor es posible estimar el contenido en determinados componentes, especialmente los ácidos grasos libres, que incorpora la Lanolina. De esta forma, se puede conocer si la muestra es válida para algunas aplicaciones concretas.
- Índice de Saponificación: Se define como la cantidad de hidróxido de potasio expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de aceite o grasa. Esta técnica es aplicable a grasas y aceites vegetales y animales, permite determinar la cantidad total de ácidos grasos libres y combinados en una cera.
- Índice de Yodo: Es una medida del número total de dobles enlaces presentes en grasas y aceites, se define como la cantidad en gramos de yodo capaz de ser fijado, bajo las condiciones indicadas por 100 gramos de muestra. Constituye una medida del grado de insaturación de una grasa.
- Materia Insaponificable: En aceites o grasas se refiere aquellas sustancias que no son saponificables por hidróxidos alcalinos, pero son solubles en los solventes grasos comunes y a productos de saponificación que son solubles en dichos solventes.
- Densidad: Es la relación entre el peso y el volumen que ocupa una cera, y en este caso es afectada por la temperatura (Leocadia Pérez, 2008).

2.4 LANOLINA

La palabra Lanolina proviene del latín *lana* + *oleum* + *in* lo cual significa literalmente “sustancia de aceite de lana”. La palabra fue establecida en 1885 por el físico alemán

Mathias Eugenius Oscar Liebreich (1838 - 1908). La Lanolina es una cera natural producida por las glándulas sebáceas de algunos mamíferos, generalmente abunda en la lana del ganado ovino, pero suele obtenerse de la lana del cordero del género y especie *Ovis aries* (L). Esta cera recubre como una fina película la fibra de la lana. Su función principal es la protección de la fibra y del animal del agua. Cuando está en crudo, también se denomina Grasa Lanar que proviene del latín *Adeps Lanae*.

La Lanolina es una ceramida existente en la lana sin lavar y es la responsable de contribuir con la mayor parte de la carga contaminante al efluente del lavado de la lana. Por esta razón, su eliminación se puede considerar como parte del proceso de depuración o tratamiento de las aguas. Por otra parte, la Lanolina tiene aplicaciones comerciales derivadas de sus propiedades lubricantes en sectores productivos tan singulares como la industria cosmética.

2.4.1 Composición Química de la Lanolina

Químicamente la Lanolina, es una mezcla compleja compuesta por ésteres y poliésteres de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes de alto peso molecular. El **90 – 95 %** de su composición corresponde a **ésteres**, entre el **5 – 10 %** a **alcoholes libres** y además contiene **pequeñas cantidades de ácidos grasos libres e hidrocarburos**. Posee una distribución de pesos moleculares de 100 a 2 000 Da, habiéndose reportado más de 170 tipos distintos de ácidos grasos y más de 70 alcoholes de alto peso molecular (Empresa LANCO, 2019).

A continuación, se muestra el contenido aproximado tanto de la fracción ácida como de la fracción alcohólica de la cera de la lana o Lanolina.

Tabla II-2 Contenido de la fracción ácida de la cera de la lana

Fracción ácida	Contenido aproximado (% sobre el total de ácidos)
n-ácido	7
iso-ácido	22

anteiso-ácido	29
α -Hidroxi-n-ácidos	25
α -Hidroxi-iso-ácidos	3
Resto (Generalmente en su mayoría ácidos saturados)	14

Fuente: Sánchez, A., 2016.

Además de los ésteres, se encuentran presentes ácidos grasos libres junto con otras impurezas tales como jabones (sales metálicas de ácidos grasos).

Tabla II-3 Contenido de la fracción alcohólica de la cera de la lana

Fracción alcohólica alifática	Contenido aproximado (% del total de alcoholes)
n-alcohol	4
iso-alcohol	6
anteiso-alcohol	7
n-Alcano-1,2-diol	0.5
iso-Alcano-1,2-diol	25
iso-Alcano-1,2-diol	3
esteroles	28
iso-colesterol	27
Hidrocarburos	1
Residuo no identificado	22

Fuente: Sánchez, A., 2016.

La mayor parte de la fracción de alcohol consiste en esteroides. El más importante es el colesterol (25 %), seguido por el lanosterol (10 %), hidrocolesterol (5 %), cerebrosterol (1 %) y otros (Di Prisco, s.f.).

Además de la Lanolina, la otra impureza de tipo natural presente en la lana es la Suintina, que procede del sudor de las ovejas, y es una mezcla compleja de sales solubles en agua (Sánchez, A., 2016).

Las características generales y las propiedades fisicoquímicas de la Lanolina Cruda, se presentan en la Tabla II-4.

Tabla II-4 Especificaciones de la Lanolina Cruda

Características Generales		
Nº CAS	68424-43-1	
Aspecto	Sustancia untuosa	
Color	Amarillo oscuro o marrón	
Olor	Suave, característico	
Características Fisicoquímicas		
Propiedad	Valor aprox.	Unidad
Densidad (20 °C)	0.92 – 0.96	g/cm ³
Humedad	< 9	%
Punto de Fusión	42 - 50	°C
Índice de Acidez	< 30	%
	< 60	mg KOH/g
Índice de Yodo (Método Wijs)	15 - 30	g I ₂ /100g
Índice de Saponificación	95 - 120	mg KOH/g

Contenido ácido libre	4 - 10	%
-----------------------	--------	---

Fuente: Sánchez, A., 2016 y Gustav Heess, 2014.

2.5 LANA DE OVEJA

La lana de oveja es el resultado de un proceso de queratización o endurecimiento de la materia viva y blanda que, al fluir hacia la superficie de la piel del animal, hace que el tejido vivo se transforme en fibroso. Como cualquier otra estructura biológica, las fibras de la lana no tienen una estructura química constante y varía de acuerdo a la raza, edad, etc. (Sánchez, A., 2016).

En la Tabla II-5, se detalla la composición química promedio de la lana de oveja:

Tabla II-5 Composición química promedio de la lana de oveja

Elemento	Valor (%)
Carbono	50
Hidrógeno	7
Nitrógeno	16 – 17
Oxígeno	22 – 25
Azufre	3 – 4

Fuente: Rosas, A., 2016.

Toda la lana de oveja que al esquilarla sale junta, se denomina **vellón**, y su proteína es la queratina, con 18 aminoácidos principalmente azufrados (aminoácido esencial “Cistina”). El subproducto del vellón es la Lanolina (Tron, J., 2013).

Las características más importantes en la lana de oveja son la finura, longitud, regularidad en el grado de ensortijado, uniformidad, resistencia y alargamiento, elasticidad, flexibilidad, color, brillo y rendimiento (Rosas, A., 2016).

En cuanto a sus propiedades, estas son determinantes de su calidad, de su rendimiento en la industria y por tanto del precio que percibe por ella el ovinocultor.

2.5.1 Propiedades Físicas de la Lana de Oveja

Diámetro, determina los usos finales de la lana y aumenta con la edad. Entre los factores que afectan al diámetro están: la raza, la nutrición y la región del cuerpo del animal.

Longitud, es el largo de la fibra en un año de crecimiento y está correlacionado negativamente con el diámetro. Disminuye con la edad del animal y también es variable según la región corporal (larga en las regiones del tercio posterior y más corta en el tronco y cuello).

Resistencia, capacidad de este tejido de estirarse en gran proporción antes de que se rompa. Esto es muy importante ya que, durante el tratado de la lana, las fibras se someten a altas tensiones.

Elasticidad, esta propiedad permite estirar la lana y ésta vuelve a su largo natural. Siempre teniendo en cuenta, que si se estira mucho puede romperse o no volver a su largo natural debido a la estructura helicoidal de sus moléculas.

Higroscopicidad, indica el grado de absorción que tiene la Lana de absorber vapor de agua en una atmósfera húmeda y lo pierde en una seca.

Flexibilidad, las fibras de la lana permiten doblar los productos sin que éstos se rompan. Es muy importante en la industria, para realizar el hilado y así lograr tejidos resistentes (Vizuite, G., 2016).

2.5.2 Propiedades Químicas de la Lana de Oveja

Efecto de los álcalis, la proteína de la lana que recibe el nombre de queratina, es particularmente susceptible al daño de álcalis.

Efecto de los ácidos, la lana de oveja es resistente a la acción de los ácidos suaves o diluidos, no sucede igual con los ácidos minerales concentrados.

Efecto de los solventes orgánicos, la mayoría de los solventes orgánicos usados de manera habitual, son seguros ya que éstos no dañan el tejido (Vizuet, G., 2016).

2.5.3 Propiedades Biológicas de la Lana de Oveja

Microorganismos, la lana presenta resistencia ante las bacterias y hongos. Éstos pueden atacar a las manchas que aparecen en la lana si ésta es almacenada en un ambiente húmedo. Debido a que los hongos que aparecen, pueden destruir la fibra de la lana si está durante mucho tiempo en un ambiente húmedo y con polvo.

Insectos, la lana al estar compuesta de una proteína representa una fuente de alimento para distintos tipos de insectos. Las polillas de la ropa y los escarabajos de las alfombras son los depredadores más comunes de la lana. Se estima que estos insectos dañan varios millones de kilos de tejido de lana cada año (Vizuet, G., 2016).

2.5.4 Tipos de lana

La lana de oveja se puede clasificar en función de diferentes aspectos, se puede diferenciar la lana en base a la raza de la oveja, o las condiciones en las que ésta se haya criado. En la siguiente tabla se puede diferenciar los tipos de lana según la raza de la oveja.

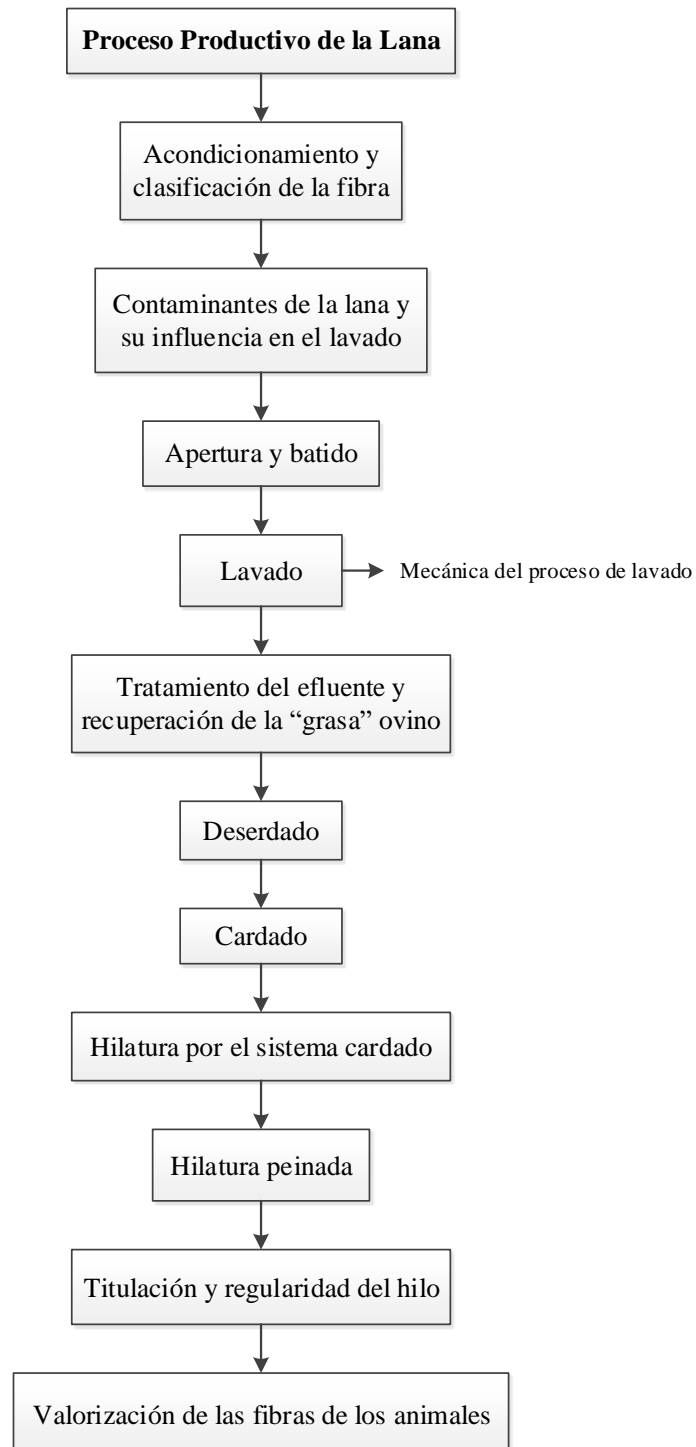
Tabla II-6 Tipos de lana

Tipo	Raza	Longitud (mm)	Diámetro (µm)
Fina	Merino	40 - 100	10 - 30
Media	Cheviot, Suffolk	50 - 100	20 - 40
Larga	Cotswold, Leicester	120 - 350	25 - 50
Rizada	Corriedale	70 - 150	20 - 40

Fuente: Sánchez, A., 2016.

2.6 PROCESO PRODUCTIVO DE LA LANA

Se considera importante mencionar el proceso productivo de la lana, por tratarse la presente investigación acerca de la obtención de la Lanolina, ya que industrialmente se busca separar o extraer la “grasa” ovina de los efluentes generados en la etapa de lavado de la lana de oveja. Es así, que existen dos maneras de elaborar la lana, ya sea de forma industrial o de forma artesanal. La industrial se lleva a cabo mediante la utilización de ciertas maquinarias que aseguran una producción rápida y eficaz, y siguiendo una serie de etapas como se muestra en la Figura 2-3.

Figura 2-3 Diagrama de Bloques del Proceso Productivo de lana

Fuente: Adot, O., 2010.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, la presente investigación solo se centra en profundizar el tratamiento del efluente proveniente de la etapa de lavado en el proceso productivo de la lana, a través de la separación de la “grasa” (cera) ovina del mismo. La cual es uno de los tres tipos de contaminantes (además de la suintina y la suciedad), existentes en la lana de oveja.

Tabla II-7 Grado de contaminación en lanas Cruzas Neozelandesas

Contaminantes	% de la lana sucia		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Grasa	8.5	1.6	5.2
Suintina	12.1	2.2	8.0
Suciedad + humedad	-	-	7.9

Fuente: Adot, O., 2010.

2.6.1 Tratamiento del efluente y recuperación de la “grasa” ovina

La primera etapa del manejo del efluente consiste en la optimización del sistema de recuperado de “grasa” y suciedad en el lavado, de manera de generar un concentrado con la mayor cantidad de contaminantes en el menor volumen posible. Esto reduce el costo de tratamiento del efluente. Los procesos existentes para el tratamiento de efluentes son (Adot, O., 2010):

- **Tratamiento primario:** Dirigido a reducir el volumen y la variabilidad de la descarga al remover los sólidos precipitables y la fibra, recobrando, al mismo tiempo, la mayor cantidad de “grasa” y calor posible: a) tanques de sedimentación; b) centrifugas; c) filtros; y d) intercambiadores de calor.
- **Tratamiento secundario:** El efluente del tratamiento primario todavía contiene los tres mayores contaminantes “grasa”, suciedad y suintina, con los primeros dos, en la mayor parte de los casos reducidos en volumen. El objetivo del tratamiento secundario es la eliminación integral de la “grasa” y suciedad,

y la producción de una solución de suintina para su posterior tratamiento: a) desestabilización o floculación seguida por separación de las fases por decantación, filtración o centrifugación; b) procesos biológicos; c) ultra filtración; d) centrifugación- evaporación; y e) evaporación.

- **Tratamiento terciario:** Es mayormente aplicado a efluentes donde el DBO y los sólidos en suspensión no alcanzan los 300 mg/l, por lo que el tratamiento biológico es la elección natural en la mayoría de los casos: a) incineración del barro; y b) extracción con solvente de la “grasa” y agua del barro.
- **Tratamiento total:** Este encabezamiento puede conducir a error, ya que cualquiera sea el proceso seleccionado algún desperdicio genera, aunque solo sea cenizas o polución atmosférica: a) evaporación-incineración; b) evaporación; c) incineración; y d) irrigación de suelos.

2.7 PROCESOS INDUSTRIALES DE OBTENCIÓN DE LANOLINA

Los dos procesos comerciales implantados de extracción de Lanolina que cumplen los requisitos de aplicabilidad industrial son la separación física por centrifugación y la extracción con solventes.

2.7.1 Extracción de Lanolina mediante separación física por centrifugación

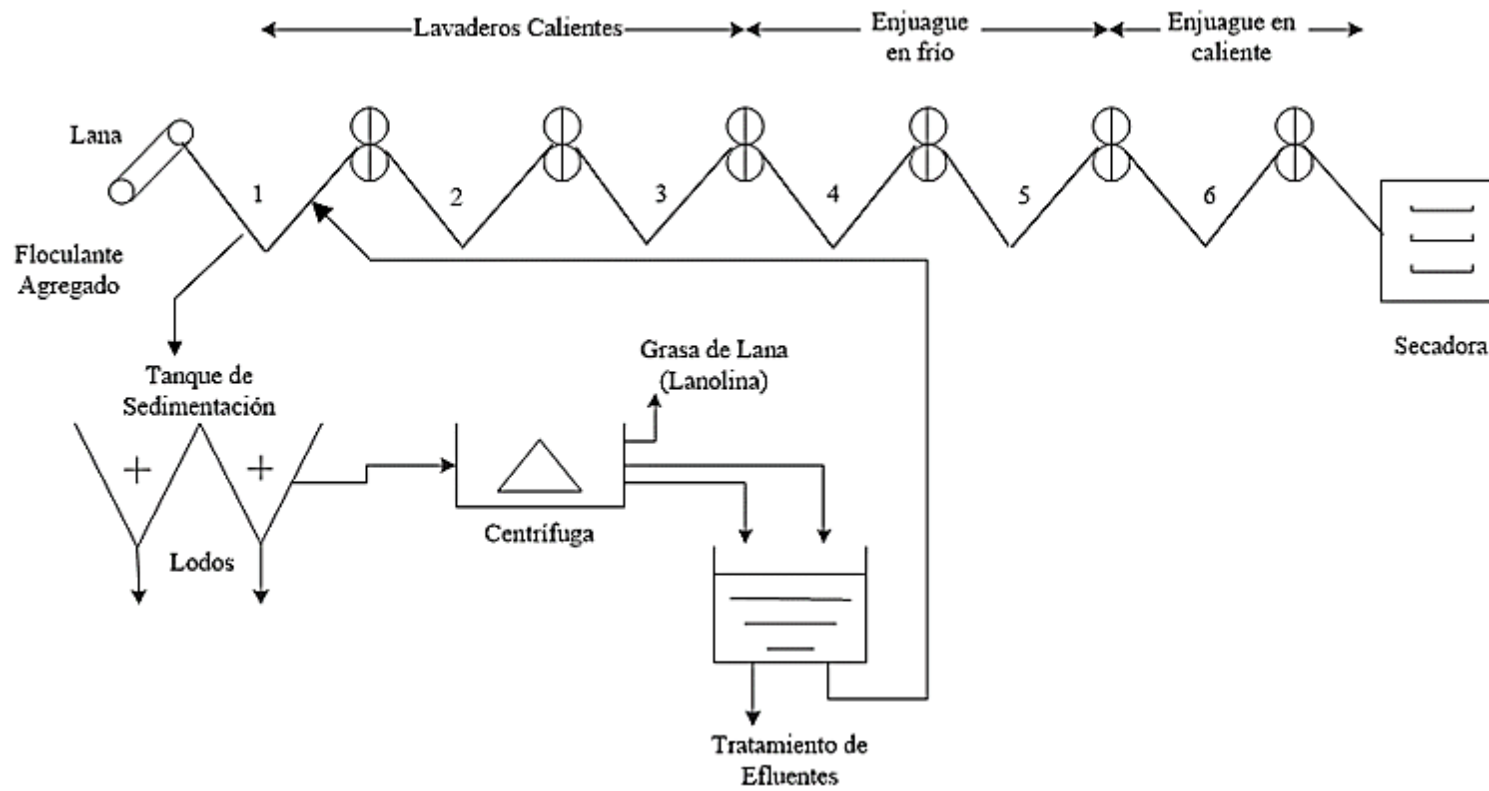
Estos métodos o procesos, trabajan a partir del tratamiento de una pequeña fracción del agua del proceso de lavado de la lana.

2.7.1.1 Sistema WRONZ

Este proceso o método de obtención de la grasa de la lana (Lanolina), utilizado habitualmente en la industria textil, es conocido como Sistema WRONZ porque fue desarrollado por la *Wool Research Organization of New Zealand* a partir de los trabajos de algunos investigadores en las últimas décadas del Siglo XX.

Se trata de un sistema en continuo, que desvía una parte del efluente originado en una de las barcas del lavado de la lana, según un esquema como el de la figura siguiente

Figura 2-4 Sistema WRONZ



Fuente: Sánchez A., 2016.

Consiste en derivar una cantidad de efluente procedente de la primera barca para ser tratado en el exterior del lavadero, aunque también se han evidenciado instalaciones que la extraen de la segunda barca.

Se extrae del proceso una parte del efluente, que es conducida a un depósito o tanque regulador, que a su vez hace labores de decantación de sólidos, para posteriormente pasar a través de unas centrífugas y realizar en ellas la separación de la Lanolina del resto del efluente.

Tal como se observa en la figura anterior, este sistema devuelve parte del agua de rechazo de la centrífuga de nuevo a la barca del lavadero, lo que supone una ventaja en ahorro de energía para el calentamiento de agua.

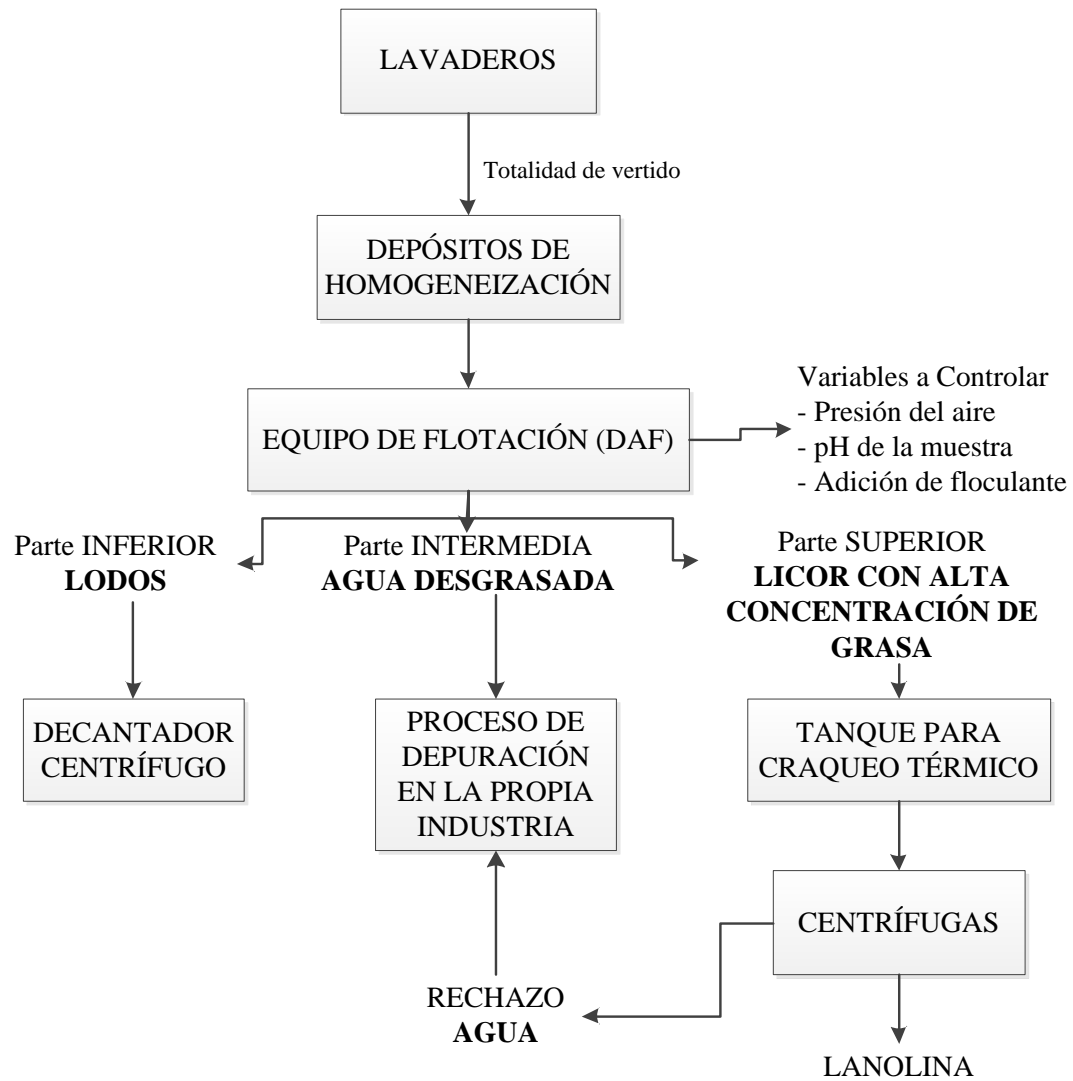
Según se ha indicado, la parte del caudal que se desvía fuera del proceso de lavado se hace pasar seguidamente por una o varias centrífugas, dependiendo del número de etapas de que conste el proceso. Debido a su bajo peso específico, la grasa de lana se recupera comúnmente al pasar por estas máquinas centrifugadoras de discos apilados.

La mayor desventaja que plantea este sistema, además de que no trata la totalidad del efluente (y, por ello, la Lanolina de esta parte del efluente no se llegará a extraer), es que debido a la extrema disparidad entre las características físicas de la grasa de lana y de los sólidos pesados, se hace muy difícil optimizar en conjunto para la eliminación de ambos componentes.

2.7.1.2 Proceso Lo-Flo

En el año 1979, la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO, Australia) desarrolló otro sistema para la extracción de Lanolina que denominó Proceso Lo-Flo, similar al WRONZ, pero incluyendo un craqueo térmico en el licor que se deriva del lavadero, antes de la entrada en la centrífuga. El craqueo térmico es un incremento de temperatura del efluente para favorecer el fenómeno de separación o desestabilización de sus componentes. Pero la diferencia fundamental, es la incorporación de un equipo flotador por aire disuelto (DAF), con el fin de favorecer aún más la separación o desestabilización de los componentes del efluente.

Figura 2-5 Diagrama de Bloques del Proceso Lo-Flo

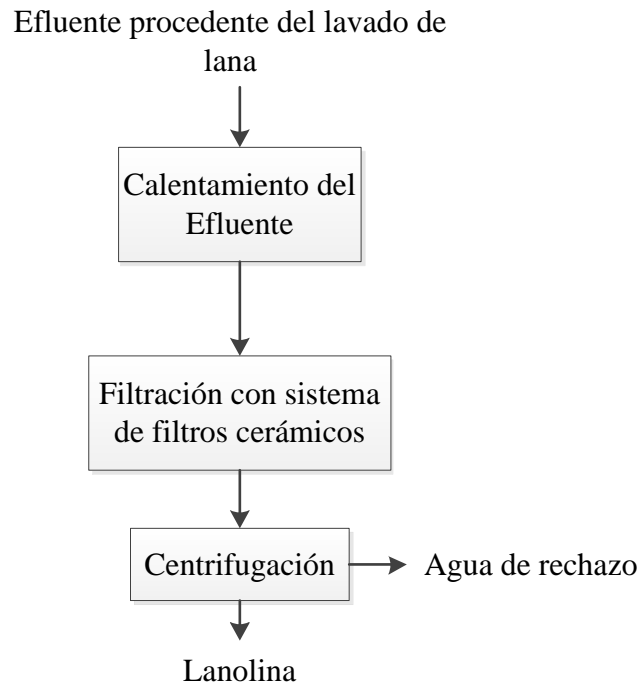


Fuente: Sánchez, A., 2016.

2.7.1.3 Extracción mediante Filtros Cerámicos

Este método consiste de las siguientes etapas:

Figura 2-6 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de Lanolina mediante Filtros Cerámicos



Fuente: Sánchez, A., 2016.

El mecanismo de operación de un filtro cerámico se debe al desplazamiento del filtrado por aire en la “torta”. El filtro cerámico está formado por un conjunto de capilares. Un líquido que moja a un sólido forma un mecanismo en un tubo capilar y sufre una fuerza de atracción denominada, fuerza capilar en la interfase sólido-líquido-aire (Martínez, D., 2001).

2.7.2 Extracción de Lanolina con solventes

La extracción de Lanolina con solventes, generalmente conocida como extracción sólido-líquido o lixiviación, es un método muy utilizado en la separación de lípidos a partir de un material sólido (en este caso de origen animal). Mismo que, requiere la

extracción con solventes convencionales y la posterior eliminación de estos para obtener un extracto concentrado (Grasa Cruda o Extracto Etéreo). Los solventes más habituales son etanol, metanol, hexano, éter etílico, acetona, cloroformo; no se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud (García, D., et. al., 2017).

Un aspecto importante a tomar en cuenta en la extracción de lípidos con solvente es, que, los lípidos no pueden ser extraídos con efectividad de muestras húmedas ya que el solvente no puede penetrar fácilmente a los tejidos húmedos. Por tanto, el material a extraer debe contener un porcentaje de humedad no mayor a 12 %, y el solvente a usar debe ser anhidro para impedir que la presencia de agua posibilite la extracción de material hidrosoluble que sería determinado junto con la grasa (Verdini, R., 2017).

2.7.2.1 Teoría de la Extracción Sólido-Líquido

La extracción sólido-líquido es una operación unitaria mediante la cual se separan uno o varios constituyentes solubles contenidos en un sólido inerte mediante la utilización de un disolvente adecuado. Las operaciones implicadas en este proceso son (Avegno, I., 2007):

- Cambio de fase del soluto: esta etapa se considera prácticamente instantánea.
- Difusión del soluto a través del disolvente contenido en los poros del sólido inerte.
- Transferencia del soluto desde las inmediaciones de la interface sólido-líquido hasta el seno de la masa principal del disolvente.

El desplazamiento de uno o varios de los componentes de una mezcla fluida respecto a la masa global de la misma debido a la acción de una fuerza impulsora (diferencia de concentraciones del componente que se desplaza), se conoce como **transferencia de materia**. Si esta se produce entre fases, puede aprovecharse el fenómeno para obtener la separación de los componentes de una mezcla. El objetivo de esta operación, es la separación de los componentes de una mezcla originalmente homogénea, haciendo posible el paso de uno de ellos a una segunda fase. El **mecanismo** de transferencia de materia, depende de la dinámica del sistema en que se lleva a cabo. Existen dos tipos de mecanismos:

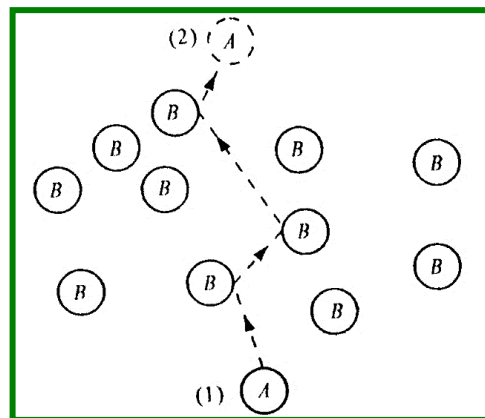
❖ Molecular

En la difusión molecular, la materia se transfiere de una región de alta concentración a una región de una baja concentración durante el movimiento al azar de las moléculas de la sustancia. El proceso de transferencia de materia se caracteriza por la siguiente ecuación general:

$$\text{Velocidad de un proceso de transferencia} = \frac{\text{Fuerza impulsora}}{\text{Resistencia}}$$

La ecuación describe la velocidad de transferencia de materia, la cual depende de una fuerza impulsora que en este caso sería la diferencia de concentración, sobre una resistencia, lo cual produce una dificultad para transferirse en el medio. Esta resistencia se la denomina **difusividad de masa**, ya que es una constante de proporcionalidad entre la velocidad de transferencia y la diferencia de concentraciones. Por tanto, la difusión se define como el proceso por el cual la materia es transportada desde una parte de un sistema a otro como resultado de un movimiento molecular. En la Figura 2-7 se expone esquemáticamente el proceso de difusión molecular (Avegno, I., 2007).

Figura 2-7 Proceso de Difusión Molecular



Fuente: Avegno, I., 2007.

En la Figura 2-7, se observa que se produce una trayectoria desordenada que la molécula A puede seguir al difundirse del punto (1) al punto (2) a través de las moléculas de B. Si hay un número mayor de moléculas de A cerca del punto (1) con respecto al punto (2), entonces, y puesto que las moléculas se difunden de manera

desordenada en ambas direcciones, habrá más moléculas de A difundándose de (1) a (2), que, de (2) a (1). La difusión neta de A va de una región de alta concentración a otra de baja concentración.

❖ **Convectiva**

La transferencia de materia por convección es la transferencia entre un fluido en movimiento y una superficie o entre fluidos y depende tanto de las características dinámicas del fluido como de las propiedades del transporte (Avegno, I., 2007).

2.7.2.1.1 Factores que influyen en la velocidad de extracción

- ❖ **Tiempo de extracción:** Es un factor muy importante porque influye directamente sobre la cantidad de grasa extraída de la lana. Por lo tanto, debe ser el suficiente para extraer los compuestos de interés (Velasco, I., 2019).
- ❖ **Temperatura de extracción:** Un aumento de la temperatura favorece la solubilidad (disminuye viscosidad del líquido) y aumenta los coeficientes de transferencia de materia. El límite superior se fija atendiendo a criterios de calidad del producto, criterios económicos y de seguridad con respecto al solvente (Coulson, J.M., 2018).
- ❖ **Tipo de solvente:** Debe ser selectivo y su viscosidad lo suficientemente baja para circular libremente a través del material. Generalmente al principio de la operación se usa un solvente relativamente puro, pero a medida que progresa la extracción, la concentración de soluto aumenta y la velocidad de extracción disminuye progresivamente, debido en primer lugar, a que disminuye el gradiente de concentración y, por otra parte, a que la solución se hace más viscosa (Coulson, J.M., 2018).
- ❖ **Relación soluto/solvente:** La composición del soluto en la alimentación tiene una influencia directa en el gradiente de concentración. Si la cantidad de soluto es alta, el gradiente de concentración también es alto y el proceso de extracción es rápido, mientras que, si la cantidad de soluto en la muestra es baja, el gradiente es bajo y la extracción es lenta. A partir de cierta relación el rendimiento de extracción aumenta muy poco por efectos de la saturación. Para que la solución se sature

depende de las propiedades, de la cantidad de sólido o solvente que se ponga (Andrade, G., 2015).

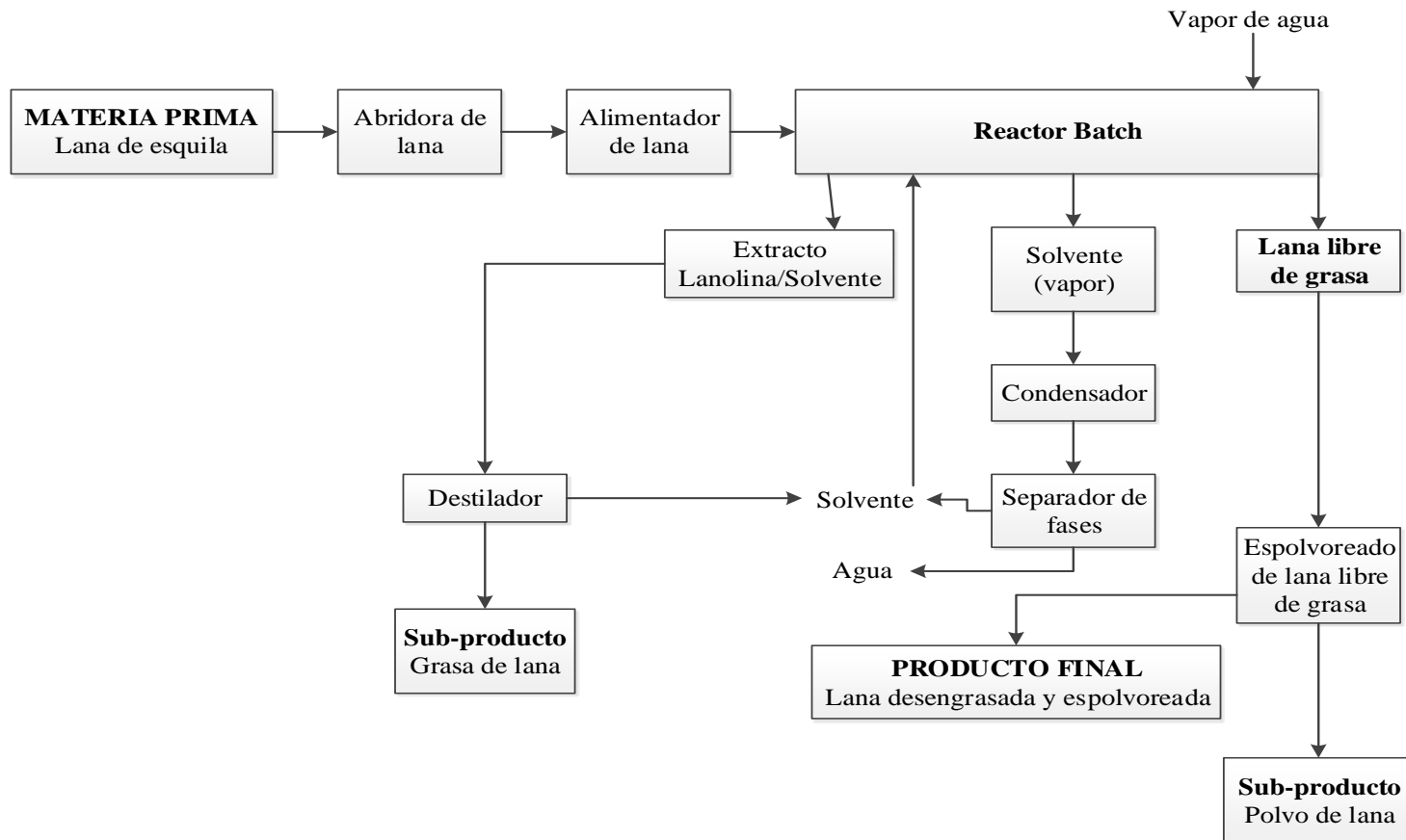
La cantidad de solvente debe asegurar una correcta operación, y la no existencia de explosión al quedar seco el balón (García, D., et. al., 2017).

- ❑ **Agitación del fluido:** Este parámetro aumenta el coeficiente de transferencia de materia en la interface sólido-líquido, favoreciendo la extracción. La agitación permite tener mayor eficiencia en el proceso de extracción porque disminuye la resistencia a la difusión, eliminando la película de fluido que cubre la superficie del sólido en reposo (Andrade, G., 2015).

2.7.2.2 Proceso de Lavado de Lana en Seco

El proceso de lavado de lana en seco *Wool Dry Scouring* (WDS), surge con el fin de reemplazar el lavado de lana convencional con un proceso técnico y económicamente viable, para mejorar los procesos y los productos del sector lanero. Utilizando nueva tecnología para el lavado de la lana en ciclo cerrado con total recuperación de los subproductos. Su principal objetivo es maximizar la eficiencia de recuperación de los diferentes componentes de la lana: la propia fibra, la grasa (Lanolina) y el polvo de lana. Las etapas del proceso WDS se detallan en el esquema siguiente (Layman, 2015).

Figura 2-8 Diagrama de Bloques del Proceso de Extracción de Lanolina mediante Lavado de Lana en Seco



Fuente: <http://www.life.wds.eu>

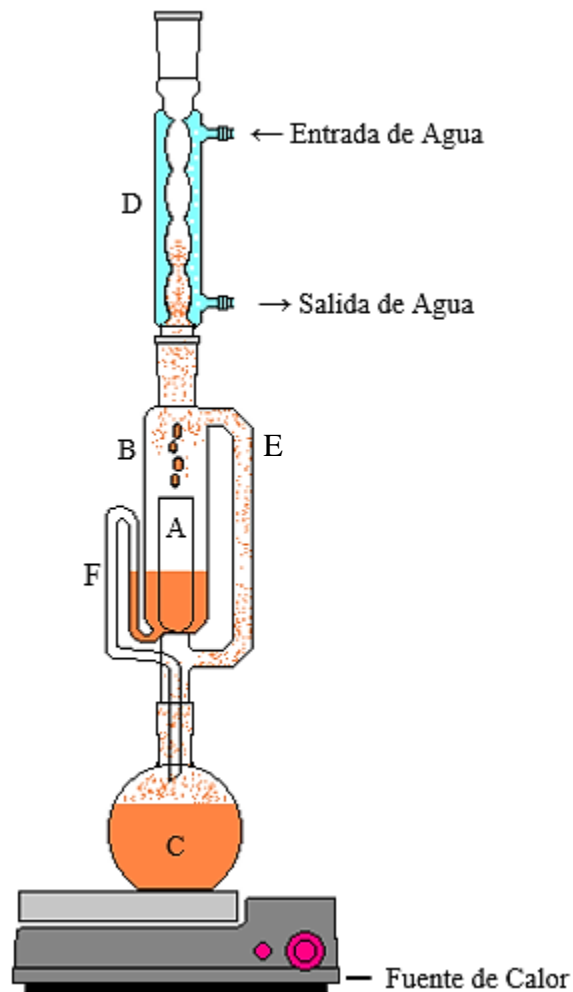
2.8 PROCESOS O MÉTODOS EXPERIMENTALES DE OBTENCIÓN DE LANOLINA

A nivel analítico se emplean diversas técnicas, siendo la más usada tradicionalmente la extracción en Soxhlet. Técnicamente, es una operación de transferencia de masa, donde un solvente o mezcla de éstos, extrae selectivamente uno o varios solutos que se hallan dentro de una matriz sólida. Actualmente hay un incremento en la demanda de nuevas técnicas de extracción con tiempos cortos, reduciendo el consumo de solventes orgánicos y la contaminación, como ser: extracción asistida por microondas y la extracción con fluidos supercríticos (García, D., et. al., 2017).

2.8.1 Extracción Soxhlet

Las fibras de lana, tras obtenerlas de las ovejas y antes de ser procesadas industrialmente, han de ser lavadas. Este proceso genera residuos altamente contaminantes que pueden obtenerse en dos formas diferentes, una fase líquida y una fase sólida. Ambas fases contienen, entre otros, una gran cantidad de la grasa generada por las ovejas y que se puede recuperar y purificar para obtener Lanolina. Para evaluar la cantidad de grasa contenida en dichos efluentes, la técnica más extendida en los laboratorios es la extracción por Soxhlet, la cual consume tiempo y disolventes orgánicos, pero obteniendo altos porcentajes de recuperación.

El equipo Soxhlet tiene como función recircular los vapores condensados con ayuda de un sifón a la fuente del disolvente que se encuentra en evaporación continua, arrastrando consigo los principios activos de la materia prima contenido en los cartuchos desechables (Caldas, A., 2012).

Figura 2-9 Extractor Soxhlet

Fuente: Caldas, A., 2012.

La sustancia sólida se introduce en un cartucho poroso (generalmente hecho con papel de filtro, que permite al solvente entrar y salir reteniendo al sólido) que se coloca dentro del recipiente (B). Se adosa un balón (C) a dicho recipiente donde se coloca el volumen de solvente que se utilizará en la extracción. Por el extremo superior del recipiente (B), se coloca un condensador (D). El solvente se calienta, los vapores ascienden por el tubo (E), condensan en el refrigerante (D) y caen dentro del recipiente (B) impregnando al sólido que se encuentra en el cartucho (A). El recipiente (B) se va llenando lentamente de líquido hasta que llega al tope del tubo (F) y se descarga dentro del balón (C) repite

automáticamente hasta que la extracción se completa. El solvente de extracción se evapora, recuperando así a la sustancia deseada. La velocidad de reflujo depende directamente de la eficiencia y el tamaño del condensador (Caldas, A., 2012).

2.8.2 Extracción asistida con microondas

Los microondas son ondas electromagnéticas de alta energía. Su principal actuación consiste en su capacidad de producir cambios en la rotación molecular y en la movilidad iónica del medio sin alterar la muestra.

Las microondas producen dos interacciones básicas:

- Disipación de energía por conductividad térmica.
- Disipación de energía por rotación de dipolos.

Ambos fenómenos ocurren en todos los lugares de la disolución por igual, de este modo es mucho más eficaz que el calentamiento con mantas que primero calienta el recipiente y luego es éste el que calienta la muestra. Un microondas consta de cuatro partes diferenciadas:

- Generador de ondas.
- Guía de ondas: Sirve para dirigir las microondas al lugar de empleo.
- Aplicador.
- Circulador: Impiden que las microondas vuelvan al generador y dañen el equipo.

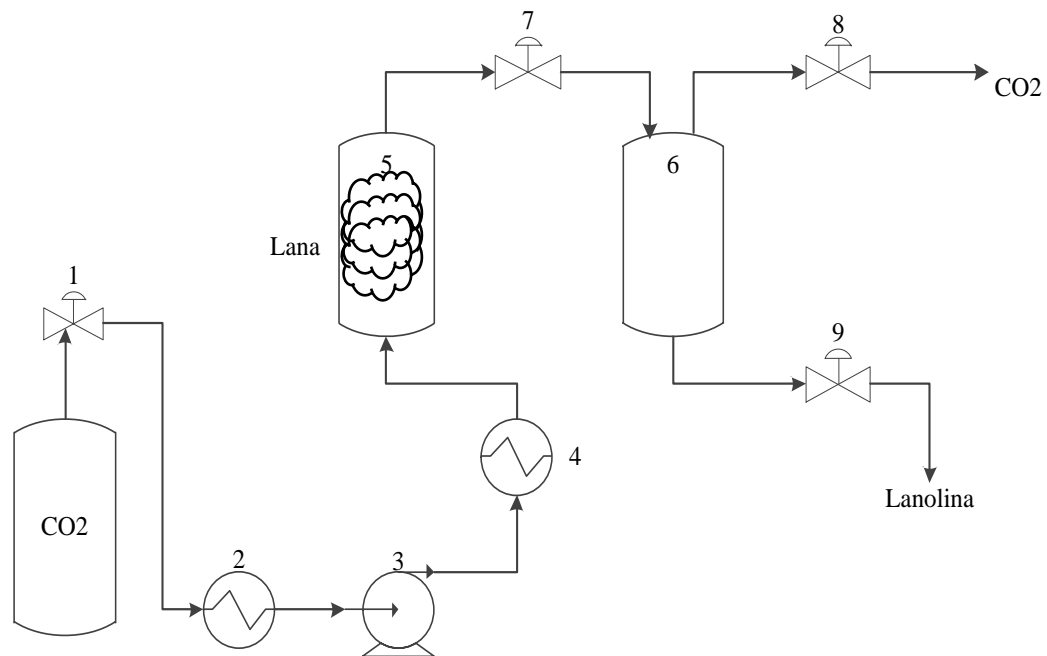
Esta técnica, al igual que la anterior, también requiere de la extracción previa de la Lanolina del efluente. Se utiliza una muestra húmeda de lodos o crema extraída mediante un disolvente y se irradia sobre ella, durante un determinado tiempo, una potencia en un equipo de microondas. La muestra se filtra posteriormente. (Sánchez, A., 2016).

2.8.3 Extracción Supercrítica

Este método fue desarrollado recientemente, como alternativa al uso de agua y tensoactivos para la obtención de Lanolina pura a partir de la lana de oveja, empleando para ello dióxido de carbono (CO₂) en condiciones por encima del punto crítico del

mismo en presencia de un solvente apropiado. En las condiciones óptimas de extracción, se obtiene Lanolina de alta pureza, sin dañar la fibra de la lana de oveja ni la composición lípida de la Lanolina, en un proceso de extracción selectivo, rápido y no contaminante.

Figura 2-10 Diagrama de Flujo del Proceso de Obtención de Lanolina mediante Extracción Supercrítica



Fuente: Pantoja, Ch., et. al., 2017.

1. Válvula de CO₂
2. Enfriador
3. Bomba de CO₂
4. Calentador
5. Extractor
6. Separador
7. Válvula de control de presión automática BPR
8. Válvula manual de control de presión
9. Válvula de muestreo

La lana sin ningún tratamiento previo se introduce mediante compactación en un reactor de extracción, de manera que se minimicen los espacios vacíos para aumentar de esta manera la cantidad de material a extraer. El reactor de extracción se mantiene a una temperatura de trabajo comprendida entre 40 y 80 °C y se introduce el agente extractante (CO₂), al que previamente se le ha incorporado un cosolvente polar (metanol, acetato de etilo, acetona y/o etanol), en un porcentaje de al menos del 5 %, para aumentar el poder solvatante del fluido en cuestión, y a una presión de trabajo que oscila entre 50 y 300 atm. La proporción del solvente añadido al CO₂, es función de la polaridad del mismo y de la miscibilidad en CO₂. La Lanolina extraída se recupera mediante una descompresión del CO₂ reduciéndose el poder solvatante del mismo. El CO₂ puede ser reutilizado para una posterior extracción. El extracto (Lanolina + solvente) es reconducido a una columna de fraccionamiento a contracorriente de CO₂ que se encuentra presurizada (>100 atm) con el objetivo de obtener un producto (Lanolina) libre del solvente orgánico (el cual es también reciclado para una posterior extracción) y una fracción de impurezas. El solvente se purifica mediante un lecho poroso, permitiendo el reciclaje del CO₂. El lecho poroso se puede regenerar mediante un proceso térmico que elimina las impurezas retenidas en el mismo (Sánchez, A., 2016).

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

La Lana de Oveja (*Corriedale*) generada en el departamento de Tarija, es la materia prima utilizada en el presente proyecto de investigación.

La caracterización fisicoquímica de la materia prima se determinó mediante los análisis realizados en el laboratorio del Centro de Investigaciones Químicas CIQ - Cochabamba.

Los parámetros determinados de la Lana de Oveja proveniente de la comunidad “Pasajes” perteneciente al municipio de Yunchará ubicada en la segunda sección de la provincia Avilés, fueron los siguientes:

- Determinación porcentual de Cenizas
- Determinación porcentual de Fibra
- Determinación porcentual de Grasa
- Determinación porcentual de Humedad

Los resultados de dicho análisis realizado a la materia prima se presentan en la siguiente Tabla III-1.

Tabla III-1 Composición Fisicoquímica de la Lana de Oveja

Parámetros	%p/p
Cenizas	10.88
Fibra	56.50
Grasa	2.38
Humedad	7.32

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas “CIQ”, 2019.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de Lanolina Cruda

Para seleccionar el método de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja, se toma en cuenta los diversos métodos mencionados en el capítulo anterior. Las calificaciones ponderadas que permiten seleccionar el método más óptimo (con mayor puntaje), se fijan de acuerdo a la escala de Likert (Tabla III-2).

Tabla III-2 Escala de calificación de Likert

Escala de Puntuación	Puntuación
Excelente	5
Muy buena	4
Buena	3
Regular	2
Mala	1

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3-1 Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de Lanolina Cruda

Factor evaluado	Comentario del evaluador	Calificación de la Extracción		
		Fluidos supercríticos	Soxhlet discontinua	Separación física por centrifugación
Aplicabilidad del método	<p>La extracción con <u>fluidos supercríticos</u> requiere de condiciones de presión y temperaturas demasiado altas.</p> <p>La extracción con <u>Soxhlet</u> presenta buena eficacia utilizada en pequeñas escalas.</p> <p>El método de extracción de la grasa de la lana mediante <u>separación física por centrifugación</u>, es utilizado a nivel industrial.</p>	4	5	2
Disponibilidad de equipamiento	<p>No se dispone de equipamiento para obtener una presión de trabajo entre 50 y 300 atm, requerida por la extracción con <u>fluidos supercríticos</u>.</p> <p>Se dispone de equipo <u>Soxhlet</u>, más no de aquellos necesarios para una extracción mediante <u>separación física por centrifugación</u>.</p>	3	5	1
Rendimiento del método	<p>La extracción con <u>fluidos supercríticos</u> presenta mayores rendimientos que por <u>Soxhlet</u> discontinua, mientras que, en la extracción mediante <u>separación física por centrifugación</u> no se puede tratar toda la muestra, perdiéndose parte del producto.</p>	5	4	2

Impacto Ambiental	En la extracción con <u>fluidos supercríticos</u> (CO ₂) existe menos contaminación por no usarse compuestos tóxicos, le sigue la extracción <u>Soxhlet</u> , porque se recupera la mayor parte del solvente utilizado. En cambio, el sistema de <u>separación física por centrifugación</u> implica la generación de aguas que necesitan un tratamiento antes de ser vertidas.	4	3	2
Costos	Trabajar en condiciones supercríticas o mediante <u>separación física por centrifugación</u> implica un elevado costo en equipamiento. En el caso de la extracción <u>Soxhlet</u> , es un equipo de fácil acceso al ser a nivel laboratorio.	3	5	1
Tiempo de extracción	Al consistir la extracción <u>Soxhlet</u> en un sin fin de extracciones de manera automática, requiere un menor tiempo de extracción que otros métodos.	4	5	2

Fuente: Elaboración Propia.

**Cuadro 3-2 Matriz de decisión para el método (proceso tecnológico) de
Obtención de Lanolina Cruda**

Selección del método (proceso tecnológico) de Obtención de Lanolina Cruda							
Factor evaluado	Valoración porcentual %	Extracción con fluidos supercríticos		Extracción con solvente (Soxhlet discontinua)		Extracción mediante separación física por centrifugación	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Aplicabilidad del método	20	4	16	5	20	2	8
Disponibilidad de equipamiento	20	3	12	5	20	1	4
Rendimiento del método	20	5	20	4	16	2	8
Impacto Ambiental	15	4	12	3	9	2	6
Costos	15	3	9	5	15	1	3
Tiempo de extracción	10	4	8	5	10	2	4
TOTAL	100		77		90		33

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados de la matriz de decisión, el método más recomendable a nivel laboratorio para la obtención de Lanolina Cruda utilizando solvente es la extracción

Soxhlet discontinua, por ser más eficaz a escala laboratorio, además de implicar bajos costos.

3.2.2 Selección del solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda

Para la selección del solvente más adecuado, en la Cuadro 3-3 se utiliza el mismo método de calificación según la escala de Likert.

Cuadro 3-3 Selección del solvente para el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda

Factor Evaluado	Comentario del evaluador	Calificación		
		Hexano	Éter de Petróleo	Etanol
Selectividad y rendimiento	El hexano es el solvente orgánico que presenta mayor selectividad que otros, al igual que en rendimiento. Entre el etanol y el éter de petróleo la diferencia de rendimientos es mínima.	5	3	3
Facilidad de separación	El punto de ebullición del etanol es mayor que del hexano, teniendo el éter de petróleo el más bajo. Lo que influye directamente en la temperatura de destilación y por lo tanto, en la facilidad de recuperación de los mismos.	4	5	3
Costos y disponibilidad	El hexano y el éter de petróleo son sustancias controladas, por tanto, de difícil acceso, siendo el precio del primero el doble del segundo. En cambio, el etanol se puede comprar fácilmente y a bajo costo.	1	2	5

Riesgos para la salud	El NFPA 704 respecto a la salud del hexano y del etanol, es “1”. Es decir, son materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico. En cambio, el éter de petróleo tiene “2”, es decir, que es un material bajo cuya exposición intensa o continua puede sufrirse incapacidad temporal o posibles daños permanentes a menos que se dé tratamiento médico rápido.	4	3	4
Cuidado del ambiente	Los tres solventes presentan similares riesgos de exposición, por eso, su calificación se asigna en base al porcentaje de recuperación de los mismos durante la destilación.	4	2	3
Inflamabilidad	Haciendo referencia al grado de inflamabilidad que se indica en el diamante de materiales peligrosos de cada solvente, el hexano y el etanol son de grado “3”, y el éter de petróleo, de grado “4”. Es decir, es un material que se vaporiza rápido o completamente a la temperatura a presión atmosférica ambiental, o que se dispersa y se quema fácilmente en el aire.	2	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-3 Matriz de desición para el solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda

Selección del solvente para el proceso tecnológico de obtención de Lanolina Cruda							
Factor evaluado	Valoración porcentual %	Hexano		Éter de Petroleo		Etanol	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Selectividad y rendimiento	30	5	30	3	18	3	18
Facilidad de separación	25	4	20	5	25	3	15
Costos y disponibilidad	25	1	5	2	10	5	25
Riesgos salud	10	4	8	3	6	4	8
Cuidado del ambiente	5	4	4	2	2	3	3
Inflamabilidad	5	2	2	1	1	2	2
TOTAL	100		69		62		71

Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizados los distintos factores considerados más importantes para la selección del solvente orgánico, utilizado en la extracción de Lanolina a partir de Lana de Oveja con equipo Soxhlet, se tienen los resultados de la matriz de desición, los cuales señalan al Etanol como el más adecuado. Por ser selectivo, presentar bajos costos con un rendimiento relativamente bueno, tomando en cuenta además que en este

caso particular, se necesitará una cantidad elevada de solvente; entre otros aspectos importantes como los riesgos a la salud y el ambiente.

3.3 DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial es una estructura de investigación en la que se manipulan simultáneamente dos o más variables independientes o de tratamiento. Es decir, permite analizar los efectos principales y los de interacción de dichas variables o factores directamente en la variable respuesta.

3.3.1 Diseño Factorial 3^k

El diseño experimental planteado para la presente investigación es un diseño del tipo 3^k , es decir, consta de dos factores con tres niveles cada uno de ellos y se evalúa su influencia sobre una variable respuesta. El modelo estadístico para este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \mu_{ijk}$$

Con $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, b$; $k = 1, 2, \dots, c$ donde

- τ_i , β_j y γ_k : Son los efectos producidos por el nivel i -ésimo del factor A, ($\sum_i \tau_i = 0$), por el nivel j -ésimo del factor B, ($\sum_j \beta_j = 0$) y por el nivel k -ésimo del factor C, ($\sum_k \gamma_k = 0$), respectivamente.
- $(\tau\beta)_{ij}$, $(\tau\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$ y $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$: Son los efectos producidos por las interacciones entre A x B, A x C, B x C, A x B x C, respectivamente

$$\begin{aligned} \sum_i (\tau\beta)_{ij} &= \sum_j (\tau\beta)_{ij} = \sum_i (\tau\gamma)_{ik} = \sum_k (\tau\gamma)_{ik} = \sum_j (\beta\gamma)_{jk} = \sum_k (\beta\gamma)_{jk} \\ &= \sum_i (\tau\beta\gamma)_{ijk} = \sum_j (\tau\beta\gamma)_{ijk} = \sum_k (\tau\beta\gamma)_{ijk} \end{aligned}$$

La etapa principal del proceso de obtención de Lanolina cruda es la extracción con solvente, en este caso con equipo Soxhlet, la cual permite controlar variables tales como: temperatura de extracción, tiempo de extracción, relación soluto/solvente entre otras, que influyen en la velocidad de extracción y, por lo tanto, en el rendimiento de

materia grasa (Lanolina) en el producto final. Así, con el objetivo de obtener el mayor rendimiento de Lanolina cruda, los factores a controlar son:

- Relación soluto/solvente: g de Lana/ml de Etanol
- Tiempo de extracción

En la Tabla III-4 se presenta la codificación de las variables y/o factores del proceso de obtención de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) mediante extracción por solvente.

Tabla III-4 Codificación de variables

Variables	Niveles		
	Bajo	Intermedio	Alto
Relación soluto/solvente (g/ml)	A:(40/3500)	B:(50/3500)	C:(60/3500)
Tiempo de extracción (horas)	2	3	4

Fuente: Elaboración propia.

El número de experimentos a realizar son:

$$3^k$$

Donde:

3: Número de niveles

k: Número de factores

El número de experimentos es: $3^2 = 9$ experimentos

En total incluyendo las repeticiones en cada experimento, se tiene:

Número de experimentos es: $9 \times 2 = 18$ experimentos.

En la siguiente Tabla III-5 se muestra la matriz de experimentos, misma que indica todas las posibles interacciones entre los factores que se someten a prueba durante el proceso.

Tabla III-5 Matriz de Experimentos

N° Exp.	Factores		Respuesta I	Respuesta II
	Relación soluto/solvente	Tiempo de extracción (h)	Rendimiento (% Lanolina)	Rendimiento (% Lanolina)
1	A(40/3500)	2	R1	R1
2	B(50/3500)	2	R2	R2
3	C(60/3500)	2	R3	R3
4	A(40/3500)	3	R4	R4
5	B(50/3500)	3	R5	R5
6	C(60/3500)	3	R6	R6
7	A(40/3500)	4	R7	R7
8	B(50/3500)	4	R8	R8
9	C(60/3500)	4	R9	R9

Fuente: Elaboración propia.

R: Variable respuesta a medir

3.4 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias, del Departamento de Proceso Industriales y Biotecnológicos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.4.1 Reactivo empleado

El solvente utilizado en la extracción de Lanolina Cruda es el etanol al 96 %, por sus distintas características presentadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 3-4 Ficha de Seguridad del reactivo

Sustancia	Alcohol etílico de origen agrícola 100 % caña de azúcar con un mínimo de 96 °.
Sinónimos	Alcohol anhidro, Metil carbinol, Alcohol Desnaturalizado
Fórmula	CH ₃ CH ₂ OH
N° CAS	64-17-5
Usos	Disolvente para resinas, grasa, aceites, ácidos grasos, hidrocarburos, hidróxidos alcalinos. Como medio de extracción por solventes, colorantes, detergentes, soluciones para limpieza, revestimientos, cosméticos, anticongelante.
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Apariencia	Líquido incoloro volátil de olor característico y agradable.
Gravedad Específica (Agua=1)	0.7893 / 20°C
Punto de Ebullición (°C)	78 - 79
Densidad Relativa del Vapor (Aire=1)	1.60
Punto de Fusión (°C)	-114
Viscosidad (cp)	N.R.
pH	N.A.
Presión de Vapor (mm Hg)	44.0 / 20°C

Solubilidad	Soluble en agua, alcohol metílico, éter, cloroformo, acetona y benceno.
Indicaciones de Peligro	
El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión.	
Puede formar una mezcla explosiva con el aire.	
Emite emanaciones toxicas e irritantes al calentarse o arder.	
El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.	
Puede ser narcótico y provocar inconsciencia.	

Fuente: Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima (IABSA), 2019.

3.4.2 Materiales utilizados

En la Tabla III-6 se enlista los distintos materiales de laboratorio utilizados.

Tabla III-6 Materiales

Materiales	Especificación	Cantidad
Extractor Soxhlet	7 500 ml	1
Refrigerante	-	1
Manguera	-	2
Recipiente metálico	3 000 ml	1
Bandeja	-	1
Soporte universal	-	1
Pinza doble nuez	-	1
Vaso de precipitación	1 000 ml	1

Papel filtro	Pliegue	10
Papel aluminio	Rollo (7.5 m x 30 cm)	1
Espátula	-	1
Cajas Petri	-	9
Guantes	-	10
Barbijos	-	10
Frasco de Vidrio	100 ml	2
Bolsas de polietileno	92 kg	2

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Equipos utilizados en la extracción de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja

☐ Extractor Soxhlet

Es un equipo compuesto por una serie de materiales como ser: refrigerante, balón, calentador, extractor y mangueras. Utilizado para la extracción de la grasa (Lanolina) presente en la Lana de Oveja.

En la parte experimental del presente proyecto de investigación, se diseñó un equipo basado en el principio de funcionamiento de un Extractor Soxhlet a mayor escala, con las siguientes dimensiones:

- Extractor (recipiente metálico) 7 500 ml
- Balón (recipiente metálico) 3 000 ml

La razón por la cual fue necesario construir dicho extractor, se debe a la materia prima utilizada (Lana de Oveja), que al ser demasiado voluminosa implica utilizar grandes cartuchos de celulosa.

A continuación en la Figura 3-1, se puede observar detalladamente el extractor empleado.

Fotografía 3-1 Extractor Soxhlet



Fuente: Elaboración propia.

Calentador Eléctrico

El elemento de calefacción eléctrica utilizado para calentar los recipientes con líquidos fue un agitador magnético electrónico con plato de acero inoxidable.

Fotografía 3-2 Calentador eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

Balanza Electrónica

Es un equipo con pantalla digital, y tiene una precisión de 0,01 g. Se empleó en el pesaje de las muestras de Lana de Oveja para la extracción de la grasa.

Fotografía 3-3 Balanza electrónica

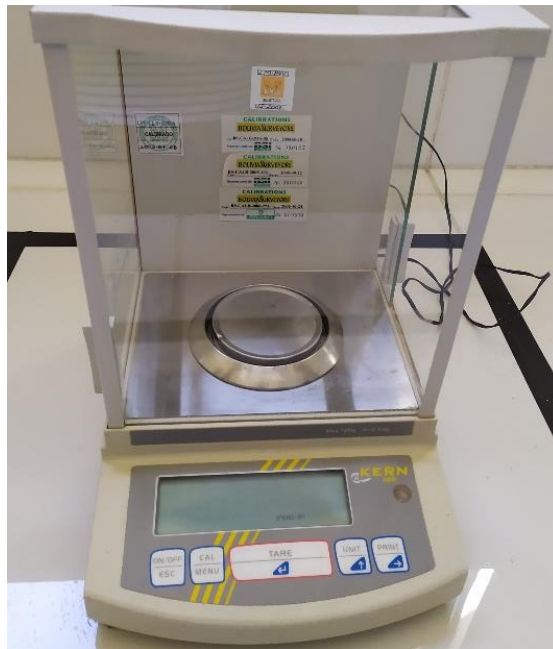


Fuente: Elaboración propia.

Balanza Analítica

Se trata de un equipo con pantalla digital, y tiene una precisión de 0,001 g. Se empleó en el tare del material de vidrio y el pesaje del producto obtenido.

Fotografía 3-4 Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia.

Estufa

Estufa de secado, fabricada en su interior y exterior con material de acero inoxidable, por lo cual tiene gran durabilidad. Realiza un secado por convención forzada: genera un aire forzado, dentro de la máquina, a temperatura ambiente.

Este equipo se utilizó para eliminar las trazas de solvente en el producto final y en la desolventización de la lana desengrasada.

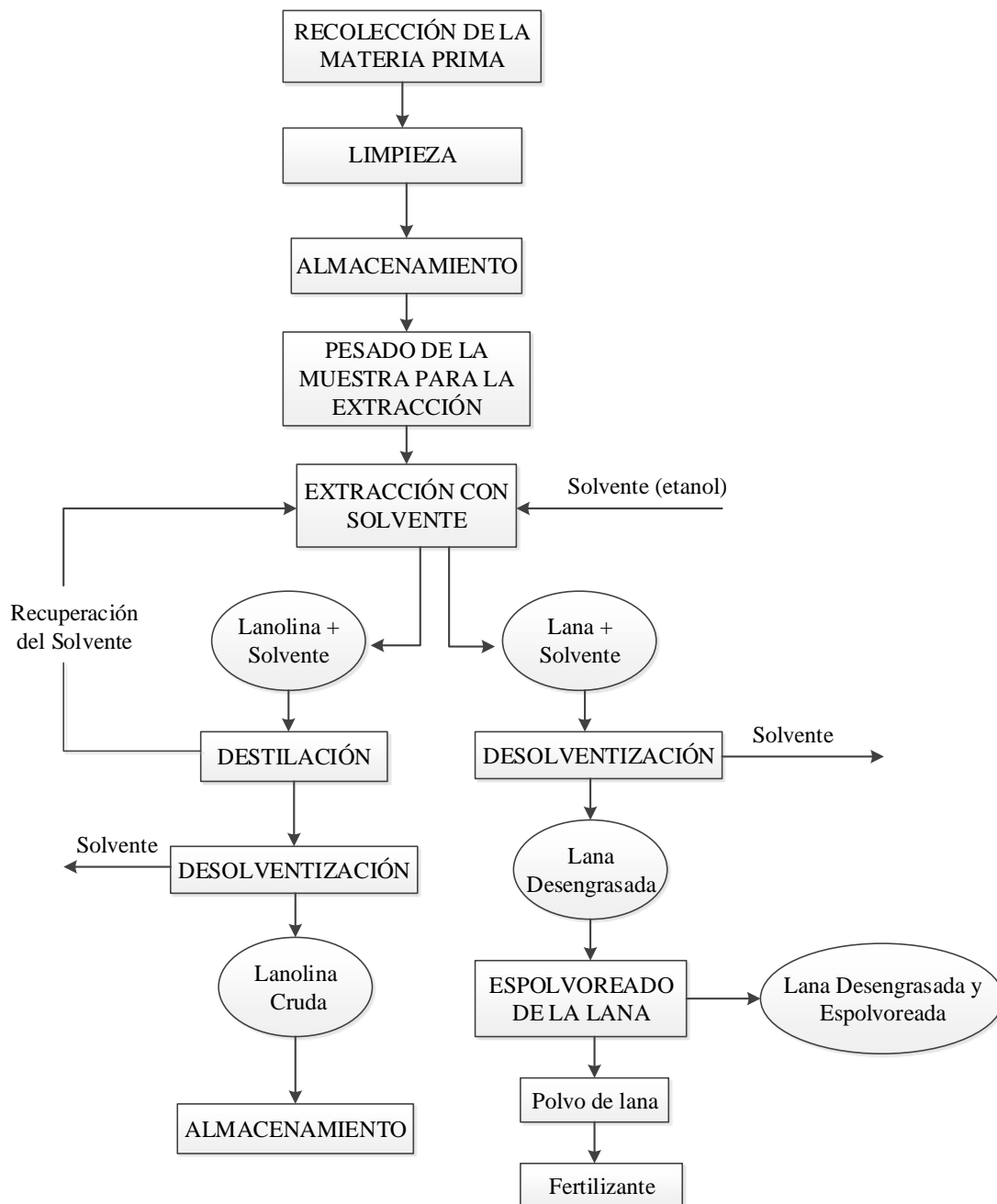
Fotografía 3-5 Estufa



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Descripción del Proceso Tecnológico de Obtención de Lanolina Cruda

Figura 3-1 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Lanolina Cruda



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.1 Recolección de la Materia Prima

La materia prima utilizada en la parte experimental, está constituida por Lana de Oveja (*Corriedale*), misma que se genera en la Comunidad de Pasajes, lugar donde se acudió para su recolección con el objetivo de conseguir la lana recién trasquilada.

Fotografía 3-6 Recolección materia prima



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.2 Limpieza

Para eliminar las impurezas presentes en la lana, se sacudieron los vellones y con la ayuda de tijeras se retiró la materia vegetal, que, el ganado ovino adquiere en gran cantidad durante el pastoreo en su roce con los arbustos y plantas. Procediendo al pesado de la misma antes y después de la limpieza, con el objetivo de conocer la cantidad de impurezas eliminadas.

Fotografía 3-7 Limpieza



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.3 Almacenamiento de la materia prima

La materia prima (Lana de oveja *Corriedale*), se almacenó en bolsas de polietileno, cerradas para evitar impurezas.

Fotografía 3-8 Almacenamiento de la materia prima



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.4 Extracción Soxhlet

Se lleva a cabo en el extractor Soxhlet, usando etanol al 96 % como solvente y agua como refrigerante. Se pesa la muestra de lana de oveja según la cantidad tomada en cuenta en la relación soluto/solvente del diseño factorial aplicado (40g/3 500ml, 50g/3 500ml, 60g/3 500ml), se introduce la misma dentro del cartucho de celulosa. Posteriormente se coloca el solvente en el balón y luego se procede a calentar el mismo hasta su punto de ebullición (73.5 °C). Terminado el proceso de extracción según los tres tiempos que se considera en el diseño factorial (2, 3 y 4 horas), se obtiene la lana libre de lanolina y la mezcla cera-solvente.

Fotografía 3-9 Extracción Soxhlet



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.5 Destilación

La mezcla cera - solvente, se destila en el mismo extractor Soxhlet, antes se debe retirar el cartucho con la muestra de lana. Transcurrido un tiempo de aproximadamente 2 horas y 40 min, se obtiene la cera cruda y se recupera la mayor parte del solvente.

Fotografía 3-10 Destilación



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.6 Desolventización del producto

Una vez concluida la etapa de destilación, con el objetivo de eliminar las trazas de solvente aún presentes en el producto, se lleva la cera cruda a estufa durante 1h (previo

calentamiento por 20 min para alcanzar el punto de ebullición del solvente), asegurando así la volatilización completa del etanol.

Fotografía 3-11 Desolventización del producto



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.7 Desolventización de la lana

Una vez concluida la etapa de extracción, se retira el cartucho con la muestra y se lleva el mismo a estufa durante 5 h (previo calentamiento por 20 min para alcanzar el punto de ebullición del solvente). Con el objetivo de eliminar por completo el etanol presente en la lana libre de Lanolina.

Fotografía 3-12 Desolventización de la lana



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.8 Espolvoreado de la lana

Con el propósito de retirar el resto de polvo presente en la lana libre de Lanolina, se sacude la misma, hasta separar los dos subproductos: Lana espolvoreada, libre de Lanolina y Polvo de lana.

Fotografía 3-13 Espolvoreado de la lana



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3-14 Lana espolvoreada y desengrasada y Polvo de lana



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.9 Almacenamiento del producto

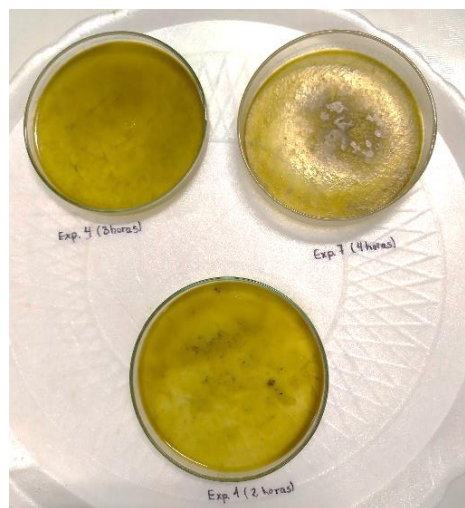
El producto final (Lanolina Cruda de Lana de Oveja *Corriedale*), se almacena en pequeños recipientes de vidrio, cerrados herméticamente y cubiertos de la luz con papel aluminio.

Fotografía 3-15 Almacenamiento del producto



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3-16 Lanolina cruda obtenida en los distintos tiempos de extracción

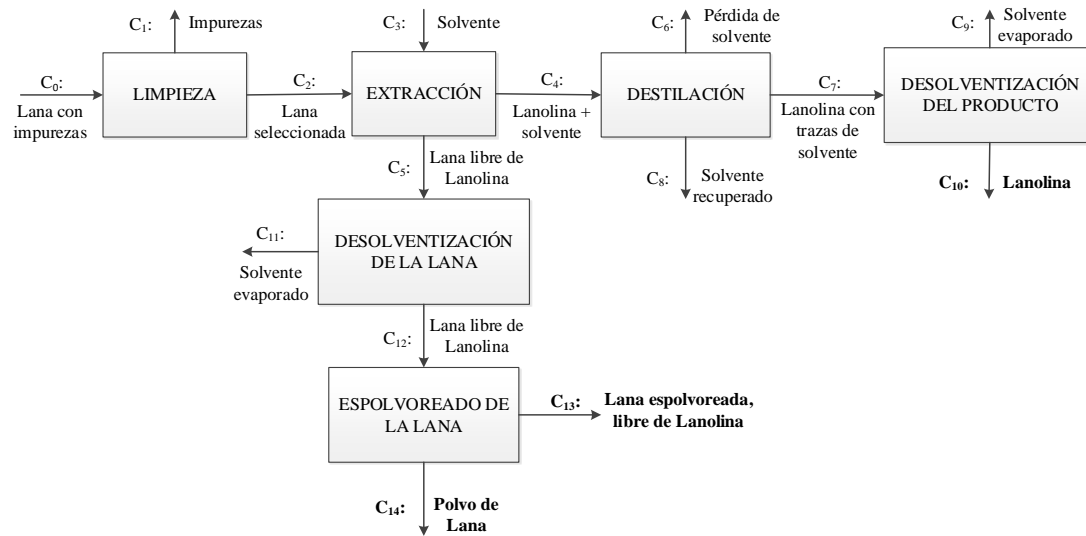


Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja

Con el objetivo de brindar mayor información de cada etapa del proceso y su relación con las demás, en la Figura 3-2 se detalla un diagrama de bloques del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja.

Figura 3-2 Diagrama de bloques del proceso tecnológico experimental



Fuente: Elaboración propia.

La descripción de las corrientes principales y de servicio del diagrama de bloques se realiza en la siguiente Cuadro 3-5.

Cuadro 3-5 Descripción de las corrientes principales del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina cruda

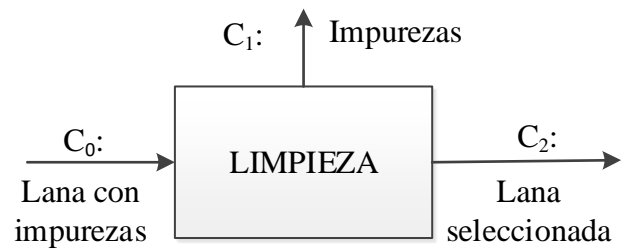
Corriente	Contenido	Descripción	Etapa asociada (como salida)	Etapa asociada (como entrada)
C ₀	Materia prima	Corriente de lana recolectada más impurezas	-	Limpieza
C ₁	Impurezas	Corriente de impurezas presente en la lana recolectada	Limpieza	-
C ₂	Materia prima	Corriente de entrada de lana, seleccionada en una etapa previa de limpieza .	-	Extracción
C ₃	Solvente	Corriente de etanol al 96 % de pureza.	-	Extracción
C ₄	Micela	Corriente de una mezcla de etanol y grasa de lana o Lanolina cruda.	Extracción	Destilación

C ₅	Materia prima desengrasada	Corriente de lana libre de lanolina mojada con etanol más polvo de lana.	Extracción	Desolventización de la lana
C ₆	Solvente	Corriente de etanol evaporado durante la etapa de destilación.	Destilación	-
C ₇	Extracto graso	Corriente de Lanolina cruda con una cantidad reducida de etanol.	Destilación	Desolventización del producto
C ₈	Solvente	Corriente de etanol recuperado de la micela por un proceso basado en la diferencia de punto de ebullición.	Destilación	-
C ₉	Solvente	Corriente de etanol evaporado durante la etapa de desolventización del producto.	Desolventización del producto	-

C ₁₀	Producto extraído	Corriente de Lanolina cruda.	Desolventización del producto	-
C ₁₁	Solvente	Corriente de etanol evaporado durante la etapa de desolventización de la lana.	Desolventización de la lana	-
C ₁₂	Materia prima desengrasada	Corriente de lana libre de lanolina más polvo de lana y etanol.	Desolventización de la lana	-
C ₁₃	Primer subproducto	Corriente de lana libre de Lanolina y etanol	Espolvoreado de la lana	-
C ₁₄	Segundo subproducto	Corriente de polvo de lana que sale al espolvorear la lana seca libre de Lanolina.	Espolvoreado de la lana	-

Fuente: Elaboración propia.

➔ **Etapa 1 – LIMPIEZA**



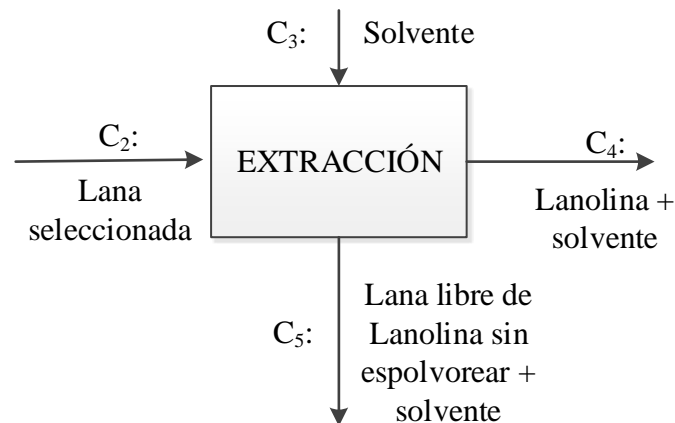
$$C_1 = 9.93 \text{ g}$$

$$C_2 = 60.127 \text{ g}$$

$$C_0 = C_1 + C_2$$

$$C_0 = 9.93 + 60.127 \text{ g} = 70.057 \text{ g}$$

➔ **Etapa 2 – EXTRACCIÓN**



$$C_2 + C_3 = C_4 + C_5$$

$$C_2 = 60.127 \text{ g}$$

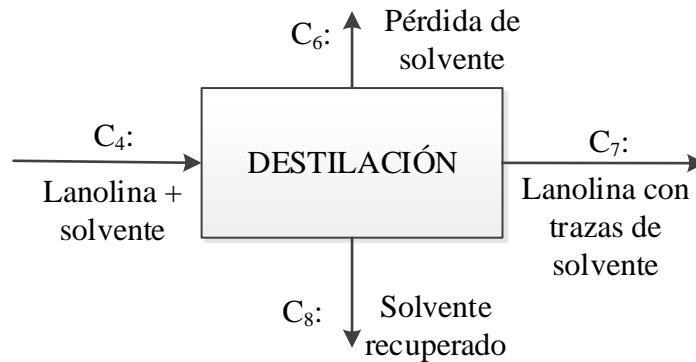
$$C_3 = 3\,500 \text{ ml} * 0.789 \text{ g/ml} = 2\,761.5 \text{ g}$$

$$C_5 = 187.561 \text{ g}$$

$$C_4 = C_2 + C_3 - C_5$$

$$C_4 = 60.127 + 2\,761.5 - 187.561 = 2\,634.066 \text{ g}$$

➤ Etapa 3 – DESTILACIÓN



$$C_4 = C_6 + C_7 + C_8$$

Solvente Recuperado = 64.57 %

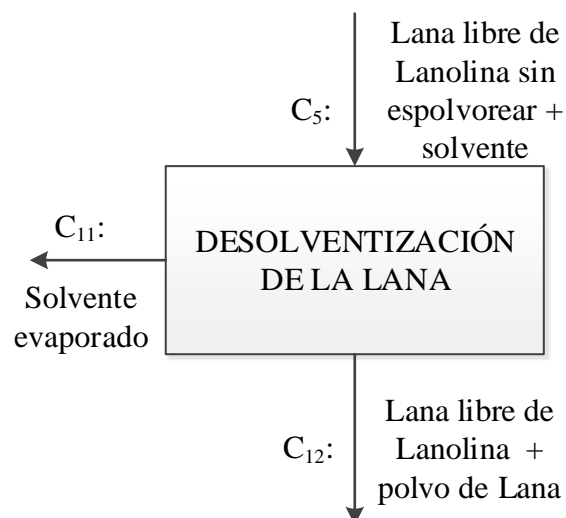
$$C_8 = C_3 * 0.6457 = 2\,761.5 * 0.6457 = 1\,783.1 \text{ g}$$

$$C_7 = 28.889 \text{ g}$$

$$C_6 = C_4 - C_7 - C_8$$

$$C_6 = 2\,634.066 - 28.889 - 1\,783.1 = 822.077 \text{ g}$$

➤ Etapa 4 - DESOLVENTIZACIÓN DE LA LANA



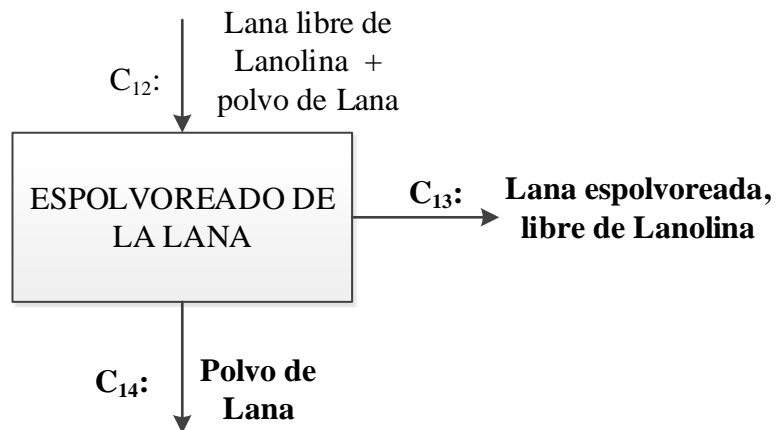
$$C_5 = C_{11} + C_{12}$$

$$C_{12} = 57.038 \text{ g}$$

$$C_{11} = C_5 - C_{12}$$

$$C_{11} = 187.561 - 57.038 = 130.523 \text{ g}$$

➤ Etapa 5 - ESPOLVOREADO DE LA LANA



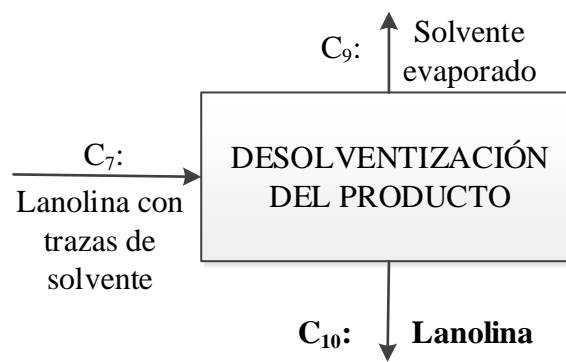
$$C_{12} = C_{13} + C_{14}$$

$$C_{13} = 55.896 \text{ g}$$

$$C_{14} = C_{12} - C_{13}$$

$$C_{14} = 57.038 - 55.896 = 1.142 \text{ g}$$

➤ Etapa 6 - DESOLVENTIZACIÓN DEL PRODUCTO



$$C_7 = C_9 + C_{10}$$

$$C_9 = C_3 - C_6 - C_8 - C_{11}$$

$$C_9 = 2\,761.5 - 822.077 - 1\,783.1 - 130.523 = 25.8 \text{ g}$$

$$C_{10} = C_7 - C_9$$

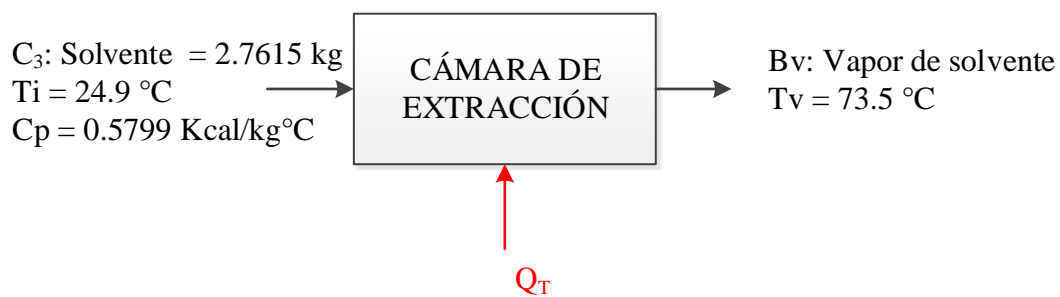
$$C_{10} = 28.889 - 25.8 = 3.089 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa de Lanolina Cruda}}{\text{Masa de Lana inicial}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{3.089 \text{ g}}{70.057 \text{ g}} * 100 = 4.409 \%$$

3.4.6 Balance de energía del proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja

Balance en la Cámara de Extracción



Calor sensible para subir la temperatura del solvente hasta el punto de ebullición

$$Q_s = m * C_p * (\Delta T)$$

$$Q_s = C_1 * C_p * (T_v - T_i)$$

$$Q_S = 2.7615 \text{ kg} * 0.5799 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (73.5-24.9) ^\circ\text{C}$$

$$Q_S = 77.83 \text{ kcal}$$

Para calcular el calor latente para evaporar el solvente, primero se calcula la potencia del calentador para lo cual se requiere el tiempo de calentamiento:

$$t_c = 15 \text{ min} = 0.25 \text{ h}$$

$$\text{Pot} = Q_S / t_c$$

$$\text{Pot} = 77.83 \text{ kcal} / 0.25 \text{ h} = 311.32 \text{ kcal/h}$$

Posteriormente para calcular el calor latente se multiplica la potencia del calentador con el tiempo de la etapa de extracción:

$$t_{\text{ext}} = 4 \text{ h}$$

$$Q_L = \text{Pot} * t_{\text{ext}}$$

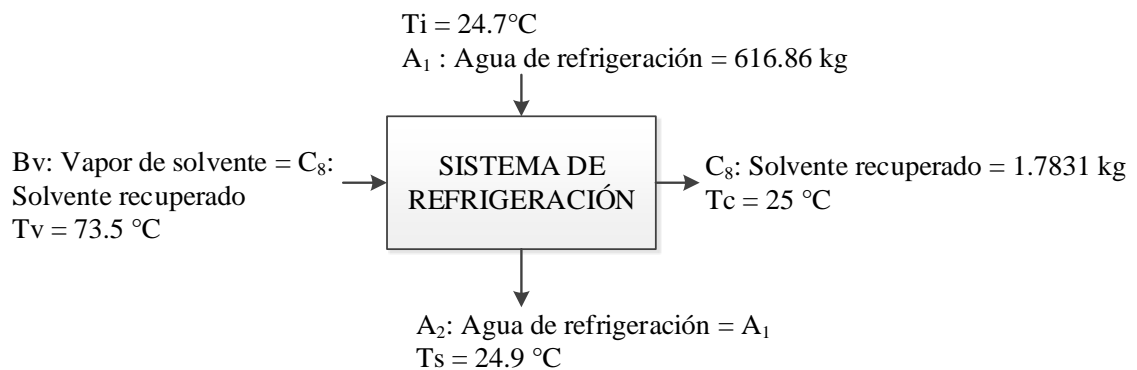
$$Q_L = 311.32 \text{ kcal/h} * 4 \text{ h} = 1\,245.28 \text{ kcal}$$

El calor requerido para la extracción es:

$$Q_T = Q_S + Q_L$$

$$Q_T = 77.83 \text{ kcal} + 1\,245.28 \text{ kcal} = 1\,323.11 \text{ kcal}$$

Balance en el Sistema de Refrigeración



Masa de agua de refrigeración que entra A_1 :

Dato: Flujo másico de agua: 123.372 kg/h y tiempo de extracción: 5 h.

Entonces:

$$A_1 = 123.372 \text{ kg/h} * 5 \text{ h} = 616.86 \text{ kg}$$

❖ **Calor de vaporización del solvente a 73.5 °C:**

$$\Phi_{\text{vap}} = Q_L / M_V$$

donde:

M_V : masa de vapor en la cámara de extracción

$$M_V = C_8 + C_{11}$$

donde:

C_8 : solvente recuperado

C_{11} : solvente en el cartucho con muestra

$$M_V = 1.7831 \text{ kg} + 0.1305 \text{ kg}$$

$$M_V = 1.9136 \text{ kg}$$

Reemplazando:

$$\Phi_{\text{vap}} = 1556.6 \text{ kcal} / 1.9136 \text{ kg}$$

$$\Phi_{\text{vap}} = 813.44 \text{ kcal/kg}$$

❖ **Calor cedido por el vapor del solvente:**

Para ello se requieren los siguientes datos:

$$C_8 = 1.7831 \text{ kg} = B_V$$

$$Q_C = B_V * \Phi_{\text{vap}} + B_V * C_p * (T_c - T_v)$$

$$Q_C = 1.7831 \text{ kg} * 813.44 \text{ kcal/kg} + 1.7831 \text{ kg} * 0.5799 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (25 - 73.5) ^\circ\text{C}$$

$$Q_C = 1\ 400.295 \text{ kcal}$$

❖ Calor recibido del vapor del solvente

Para ello se requiere los siguientes datos:

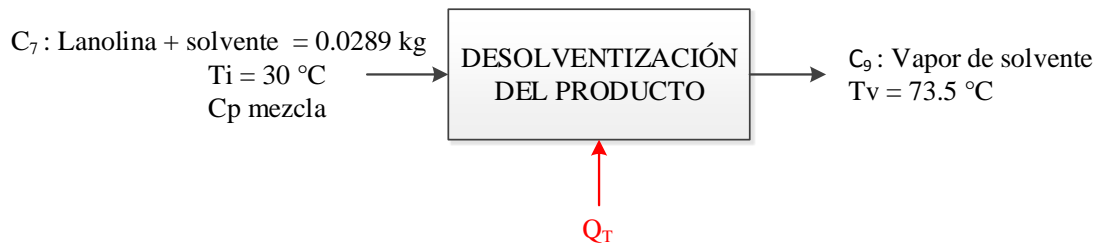
$$A_2 = A_1 = 616.85 \text{ kg}$$

$$Q_r = A_2 * C_p * (T_s - T_i)$$

$$Q_r = 616.85 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (24.9 - 24.7) ^\circ\text{C}$$

$$Q_r = 123.37 \text{ kcal}$$

Balance en la etapa de Desolventización del Producto



Calor sensible para subir la temperatura del solvente hasta el punto de ebullición

$$Q_s = m * C_p * (\Delta T)$$

$$Q_s = C_7 * C_{p \text{ mezcla}} * (T_v - T_i)$$

$$Q_s = (C_{10} * C_{p \text{ Lanolina}} + C_9 * C_{p \text{ Solvente}}) * (T_v - T_i)$$

$$Q_s = (0.0031 \text{ kg} * 0.511 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} + 0.0258 \text{ kg} * 0.5799 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) * (73.5 - 30) ^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 0.7197 \text{ kcal}$$

Para calcular el calor latente para evaporar el solvente, primero se calcula la potencia de la estufa para lo cual se requiere el tiempo de calentamiento:

$$t_c = 20 \text{ min} = 0.33 \text{ h}$$

$$\text{Pot} = Q_S / t_c$$

$$\text{Pot} = 0.7197 \text{ kcal} / 0.33 \text{ h} = 2.1609 \text{ kcal/h}$$

Posteriormente para calcular el calor latente se multiplica la potencia de la estufa con el tiempo de la etapa de Desolventización:

$$t_{\text{desolventización}} = 1 \text{ h}$$

$$Q_L = \text{Pot} * t_{\text{desolventización}}$$

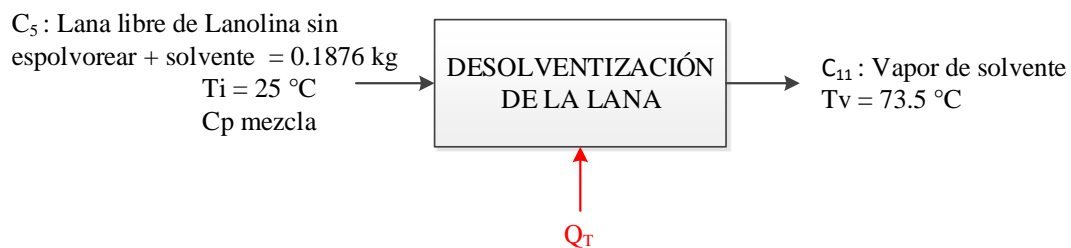
$$Q_L = 2.1609 \text{ kcal/h} * 1 \text{ h} = 2.1609 \text{ kcal}$$

El calor requerido para la extracción es:

$$Q_T = Q_S + Q_L$$

$$Q_T = 0.7197 \text{ kcal} + 2.1609 \text{ kcal} = 2.9006 \text{ kcal}$$

Balance en la etapa de Desolventización de la Lana



Calor sensible para subir la temperatura del solvente hasta el punto de ebullición

$$Q_S = m * C_p * (\Delta T)$$

$$Q_S = C_5 * C_{p \text{ mezcla}} * (T_v - T_i)$$

$$Q_S = (C_{12} * C_{p \text{ Lana}} + C_{11} * C_{p \text{ Solvente}}) * (T_v - T_i)$$

$$Q_S = (0.0570 \text{ kg} * 0.238 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} + 0.1305 \text{ kg} * 0.5799 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}) * (73.5 - 25) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_S = 4.3283 \text{ kcal}$$

Para calcular el calor latente para evaporar el solvente, primero se calcula la potencia de la estufa para lo cual se requiere el tiempo de calentamiento:

$$t_c = 20 \text{ min} = 0.33 \text{ h}$$

$$\text{Pot} = Q_s / t_c$$

$$\text{Pot} = 4.3283 \text{ kcal} / 0.33 \text{ h} = 13.1161 \text{ kcal/h}$$

Posteriormente para calcular el calor latente se multiplica la potencia de la estufa con el tiempo de la etapa de Desolventización:

$$t_{\text{desolventización}} = 5 \text{ h}$$

$$Q_L = \text{Pot} * t_{\text{desolventización}}$$

$$Q_L = 13.1161 \text{ kcal/h} * 5 \text{ h} = 65.5805 \text{ kcal}$$

El calor requerido para la extracción es:

$$Q_T = Q_s + Q_L$$

$$Q_T = 4.3283 \text{ kcal} + 65.5805 \text{ kcal} = 69.3283 \text{ kcal}$$

3.4.6 Estimación de costos del consumo de energía en el proceso tecnológico experimental de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja

⇒ Etapa 1 - Extracción

Condiciones en el calentador eléctrico:

$$\text{Tiempo} = 4 \text{ h}$$

$$\text{Potencia} = 0.64 \text{ kW}$$

$$\text{Energía} = P * t$$

$$\text{Energía} = 0.64 \text{ kW} * 4 \text{ h} = 2.56 \text{ kWh}$$

Para determinar el costo de la energía consumida por el calentador eléctrico, durante la extracción de cada muestra, se multiplica la energía por el costo por kWh.

$$\text{Costo} = 2.56 \text{ kWh} * 0.90 \text{ Bs/kWh} = \mathbf{2.304 \text{ Bs}}$$

☞ **Etapa 2 – Destilación**

Condiciones en el calentador eléctrico:

$$\text{Tiempo} = 2.67 \text{ h}$$

$$\text{Potencia} = 0.64 \text{ kW}$$

$$\mathbf{\text{Energía} = \text{P} * \text{t}}$$

$$\text{Energía} = 0.64 \text{ kW} * 2.67 \text{ h} = 1.709 \text{ kWh}$$

Para determinar el costo de la energía consumida por el calentador eléctrico, durante la recuperación del Etanol, se multiplica la energía por el costo por kWh.

$$\text{Costo} = 1.709 \text{ kWh} * 0.90 \text{ Bs/kWh} = \mathbf{1.538 \text{ Bs}}$$

☞ **Etapa 3 - Desolventización de la Lana**

Condiciones en la estufa:

$$\text{Tiempo} = 5.33 \text{ h}$$

$$\text{Potencia} = 0.30 \text{ kW}$$

$$\mathbf{\text{Energía} = \text{P} * \text{t}}$$

$$\text{Energía} = 0.30 \text{ kW} * 5.33 \text{ h} = 1.599 \text{ kWh}$$

Para determinar el costo de la energía consumida por la estufa, durante la desolventización de la lana desengrasada, se multiplica la energía por el costo por kWh.

$$\text{Costo} = 1.599 \text{ kWh} * 0.90 \text{ Bs/kWh} = \mathbf{1.4391 \text{ Bs}}$$

☞ **Etapa 5 - Desolventización del Producto**

Condiciones en la estufa:

$$\text{Tiempo} = 1.33 \text{ h}$$

$$\text{Potencia} = 0.30 \text{ kW}$$

$$\mathbf{\text{Energía} = \text{P} * \text{t}}$$

$$\text{Energía} = 0.30 \text{ kW} * 1.33 \text{ h} = 0.399 \text{ kWh}$$

Para determinar el costo de la energía consumida por la estufa, durante la desolventización de la Lanolina cruda obtenida, se multiplica la energía por el costo por kWh.

$$\text{Costo} = 0.399 \text{ kWh} * 0.90 \text{ Bs/kWh} = \mathbf{0.3591 \text{ Bs}}$$

Por consiguiente, el costo total del proceso de obtención de Lanolina cruda referente al consumo de energía de los equipos utilizados en cada etapa del mismo, es igual a la suma algebraica de cada uno, **5.640 Bs.**

3.4.7 Análisis estadístico del diseño experimental

Como resultado del diseño experimental planteado en la sección 3.3., se tiene el presente análisis estadístico.

El programa utilizado en la presente investigación, para desarrollar el análisis estadístico del diseño experimental, fue el **SPSS 23.0** (*Statistical Package for the Social Sciences*) para Windows, mismo que permite el tratamiento integrado de todas las fases que conlleva el análisis de datos, recabándose resultados más representativos y confiables.

Los resultados obtenidos de cada combinación relación soluto/solvente-tiempo de extracción “**Relación s/S-Tiempo**”, favorecieron el diseño experimental permitiendo la determinación de las variables más significativas para el proceso de extracción.

La variable respuesta de los datos experimentales, puede ser expresada mediante la masa de Lanolina obtenida o del rendimiento de Lanolina (expresado en porcentaje). Para fines de análisis estadístico, se tomó el porcentaje de Lanolina obtenida como variable respuesta, por ser el parámetro que indica de forma clara y directa el rendimiento del proceso y la cantidad de Lanolina producida.

A continuación, se presentan (Tabla III-7) los resultados obtenidos de forma experimental dentro del proceso de extracción de Lanolina cruda de Lana de Oveja, efectuados según el diseño factorial elaborado para el caso.

Tabla III-7 Datos experimentales del proceso de obtención de Lanolina Cruda

N° de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I		RESPUESTA II	
	Tiempo (h)	Relación s/S	Lanolina (g)	Lanolina (%)	Lanolina (g)	Lanolina (%)
1	2	A(40/3500)	1.3558	3.3816	1.3262	3.3137
2	2	B(50/3500)	2.0212	4.0321	2.0096	4.0112
3	2	C(60/3500)	2.4685	4.1101	2.5107	4.1793
4	3	A(40/3500)	1.7111	4.2621	1.6811	4.1926
5	3	B(50/3500)	2.2685	4.5359	2.3069	4.6012
6	3	C(60/3500)	2.8401	4.7307	2.7973	4.6615
7	4	A(40/3500)	1.8983	4.7390	1.8686	4.6703
8	4	B(50/3500)	2.4705	4.9341	2.4420	4.8809
9	4	C(60/3500)	3.0891	5.1376	3.0516	5.0849

Fuente: Elaboración propia.

La grasa de Lana de Oveja o Lanolina cruda se obtuvo en el proceso de extracción, empleando tres relaciones soluto/solvente diferentes, siendo la variable A, la relación que contiene menor cantidad de Lana (soluto), B la intermedia y C, la relación con mayor cantidad de Lana; combinando las tres relaciones con los distintos tiempos de extracción, 2,3 y 4. Se obtuvo el mayor porcentaje de Lanolina cruda trabajando con la relación soluto/solvente con mayor cantidad de Lana y con el mayor tiempo de extracción, siendo dicho rendimiento del 5.1376 %.

3.4.7.1 Cálculo del Análisis de Varianza

El análisis de la varianza (o ANOVA: *Analysis of variance*). Probablemente uno de los primeros análisis estadísticos que realiza el investigador, es la comparación de dos

medias. Esta situación se plantea cuando se están comparando dos grupos (normalmente dos tratamientos) con relación a una variable cuantitativa. Cuando se generaliza este caso a más tratamientos se utiliza el análisis de varianza en una clasificación o en un solo sentido o dirección. Se comparan entonces, tres o más muestras independientes cuya clasificación viene dada por la variable llamada factor. La base de este procedimiento consiste en particionar la variabilidad total en dos componentes que son: la variabilidad entre los promedios de los tratamientos y el gran promedio, y la variabilidad de las observaciones dentro de los tratamientos y el promedio de los tratamientos. De ahí el nombre análisis de varianza.

Al efectuar un análisis de varianza, interesa probar la igualdad de las a medias de los tratamientos, esto es,

$$E(Y_{ij}) = \mu + \tau_i = \mu_i \quad i = 1, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, n$$

y las hipótesis planteadas son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para al menos un par } (i, j), \quad i \neq j$$

definiendo

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}$$

total de las observaciones en el i -ésimo tratamiento,

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}$$

gran total de todas las observaciones,

$$\bar{y}_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}$$

promedio de todas las observaciones,

donde

$$N = \sum_{i=1}^a n_i$$

es el número total de observaciones.

La tabla siguiente del análisis de varianza nos resume la variabilidad de las observaciones en el experimento. La variación correspondiente a los tratamientos explica la variabilidad entre las medias de los tratamientos, y la debida al error, que se estima con $s^2 = SC_E/(N - a)$ y que se conoce como cuadrado medio del error, estima la varianza del error experimental. La tabla de análisis de varianza para comparar varios tratamientos con un solo factor, en un diseño completamente aleatorizado, se muestra, en la tabla III-8.

Tabla III-8 Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F₀
Trata- mientos	$a - 1$	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{y_{..}^2}{N}$	$CM_{Trat} = \frac{SM_{Trat}}{a - 1}$	$F_0 = \frac{CM_{Trat}}{CM_E}$
Error o residual	$N - a$	$SC_E = SCT - SC_{Trat}$	$CM_E = \frac{SC_E}{N - a}$	
Total	$N - 1$	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$		

Fuente: Siqueiros A., 2004.

De la teoría estadística se sabe que la suma de los cuadrados de variables aleatorias distribuidas normalmente, siguen una distribución ji-cuadrada. El estadístico:

$$F_0 = \frac{CM_{Trat}}{CM_E}$$

es el cociente de dos variables aleatorias que siguen distribuciones ji-cuadrada y a las que se dividió entre sus respectivos grados de libertad. Bajo el supuesto de que no

existe diferencia entre las medias de los tratamientos, se conoce que este estadístico sigue una distribución F , con $a - 1$ y $N - a$ grados de libertad. Entonces la hipótesis nula:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_o$$

será rechazada, con un nivel de significancia α , cuando

$$F_0 = F_{1-\alpha, a-1, N-a}$$

Donde $F_0 = F_{1-\alpha, a-1, N-a}$ es el valor en la distribución F con $a - 1$ y $N - a$ grados de libertad, que deja a su izquierda un área de $1 - \alpha$.

3.4.7.2. Análisis de Varianza para Regresión Lineal

Se puede utilizar el método de análisis de varianza para probar si el modelo de regresión es significativo. Este se efectúa particionando la variabilidad total de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

lo cual se obtiene partiendo de la identidad

$$y_i - \bar{y} = (\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i)$$

se eleva al cuadrado en ambos lados de la ecuación, y se suma para las n observaciones.

$$SC_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = SC_R + SC_E$$

$$SC_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2;$$

donde

sustituyendo $\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$ se puede llegar a que:

$$SC_E = SC_T - \hat{\beta}_1 S_{xy}$$

de ahí

$$SC_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \hat{\beta}_1 S_{xy}$$

Para la regresión se tiene un grado de libertad, por lo que:

$$CM_R = SC_R$$

y

$$CM_E = SC_E / (n - 2)$$

Las hipótesis a probar en un análisis de varianza son:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

y la tabla de análisis de varianza se forma como lo muestra la tabla III-9:

Tabla III-9 ANOVA PARA REGRESIÓN

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀
Regresión	$SC_R = \beta_1 S_{xy}$	1	CM_R	CM_R / CM_E
Error o residual	$SC_E = SC_T - \beta_1 S_{xy}$	$n - 2$	CM_E	
Total	SC_T	$n - 1$		

Fuente: Siqueiros A., 2004.

La hipótesis nula H_0 , se rechazará si $P(F_{n-2}^1 > F_0) < a$, donde $a = P(\text{rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta})$ y $F_0 = CM_R / CM_E$ es el estadístico que se utilizará en la prueba, el cual sigue una distribución F con 1 y $n - 2$ grados de libertad, como se demuestra en el apéndice C. Cuando se rechaza H_0 , se concluye que la prueba es significativa para el nivel de significancia establecido.

En resumen, el ANOVA indica las variables principales que influyen en el proceso de extracción, es decir, sobre la variable respuesta (rendimiento). Del mismo modo se dan las transformaciones sobre las interacciones entre las variables independientes que influyen en la variable dependiente, y la significancia de las mismas. En la Tabla III-10 se exponen los datos con los cuales se ha realizado el cálculo de análisis de varianza de un diseño 3 x 3.

Tabla III-10 Datos para el cálculo del análisis de varianza

Relación s/S	Tiempo	Relación s/S – Tiempo	Rendimiento
1	1	1	3.3816
0	1	0	4.0321
-1	1	-1	4.1101
1	0	0	4.2621
0	0	0	4.5359
-1	0	0	4.7307
1	-1	-1	4.7390
0	-1	0	4.9341
-1	-1	1	5.1376
1	1	1	3.3137
0	1	0	4.0112
-1	1	-1	4.1793
1	0	0	4.1926
0	0	0	4.6012
-1	0	0	4.6615

1	-1	-1	4.6703
0	-1	0	4.8809
-1	-1	1	5.0849

Fuente: SSPS 23.0.

Tabla III-11 Factores Inter-sujetos

		N
Relación s/S	-1.00	6
	0.00	6
	1.00	6
Tiempo	-1.00	6
	0.00	6
	1.00	6

Fuente: SSPS 23.0

La Tabla III-12 muestra el número de ensayos realizados, de los cuales 6 ensayos corresponden a cada relación soluto/solvente fijada y 6 ensayos a cada tiempo de extracción fijado.

Tabla III-12 Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4.631 ^a	8	0.579	306.436	0.000
Intersección	350.770	1	350.770	185 673.035	0.000
Relación s/S	0.997	2	0.499	263.945	0.000

Tiempo	3.494	2	1.747	924.792	0.000
Relación s/S*Tiempo	0.140	4	0.035	18.503	0.000
Error	0.017	9	0.002		
Total	355.418	18			
Total corregido	4.648	17			

a. R al cuadrado = 0.996 (R cuadrado corregido = 0.993)

Fuente: SSPS 23.0

La Tabla III-12 indica los resultados obtenidos del análisis de varianza, aplicado a los datos experimentales del proceso de extracción de Lanolina cruda de Lana de Oveja. Donde se puede apreciar que el efecto de las variables Relación s/S, Tiempo de extracción y la interacción Relación s/S-Tiempo, influyen sobre el porcentaje de Lanolina extraída, dado que el nivel de significancia es menor al 8 % o 0.08, lo que implica la posibilidad de que las variables sean significativas sobre el proceso de extracción de Lanolina cruda de Lana de Oveja, con una confianza del 92 %. Así, la Tabla III-13 muestra las variables introducidas y eliminadas a través del programa.

Tabla III-13 Variables introducidas/eliminadas

Modelo	Variables Introducidas	Variables Eliminadas	Método
1	Relación s/S*Tiempo Tiempo Relación s/S ^b	-	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas

Fuente: SSPS 23.0

Tabla III-14 Ajustes de datos para el modelo lineal general

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregido	Error típico de la estimación
1	0.977 ^a	0.955	0.946	0.1217215

a. Variables predictoras: (Constante), Relación s/S*Tiempo, Tiempo, Relación s/S

b. Variables dependientes: Rendimiento

Fuente: SSPS 23.0

Tabla III-15 ANOVA (a)

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	4.365	2	2.182	115.405	0.000 ^b
Residuo	0.284	15	0.019		
Total	4.648	17			

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. Predictores: (Constante), Tiempo, Relación s/S

Fuente: SSPS 23.0

Tabla III-16 Coeficientes (a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	92,0% intervalo de confianza para B	
	B	Error tip.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	4,414	0.029		153.866	0.000	4.360	4.469
Relación s/S	- 0.279	0.035	-0.448	-7.933	0.000	- 0.345	- 0.212
Tiempo	- 0.535	0.035	-0.859	-15.220	0.000	- 0.601	- 0.468

Relación s/S*Tiempo	- 0.098	0.043	-0.128	-2.268	0.040	- 0.179	- 0.016
---------------------	---------	-------	--------	--------	-------	---------	---------

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SSPS 23.0

De los datos indicados en la Tabla III-16 se determinó que el modelo matemático ajustado para el proceso de extracción, que correlaciona el porcentaje de Lanolina cruda obtenida con las variables, Relación s/S, Tiempo de extracción y la interacción Relación s/S-Tiempo, para el caso analizado es el siguiente:

$$\text{Rendimiento} = 4.414 - 0.279 R_{s/S} - 0.535 T - 0.098 R_{s/S} * T$$

Por consiguiente, el rendimiento está en función de la relación soluto/solvente, el tiempo de extracción y la interacción de ambos, siendo estos de signo negativo, es decir que mientras mayor cantidad de Lana (soluta en la relación soluto/solvente) y mayor tiempo de extracción, se ve favorecido el rendimiento de Lanolina cruda.

Tabla III-17 Resultados del rendimiento observado y obtenido con el modelo matemático

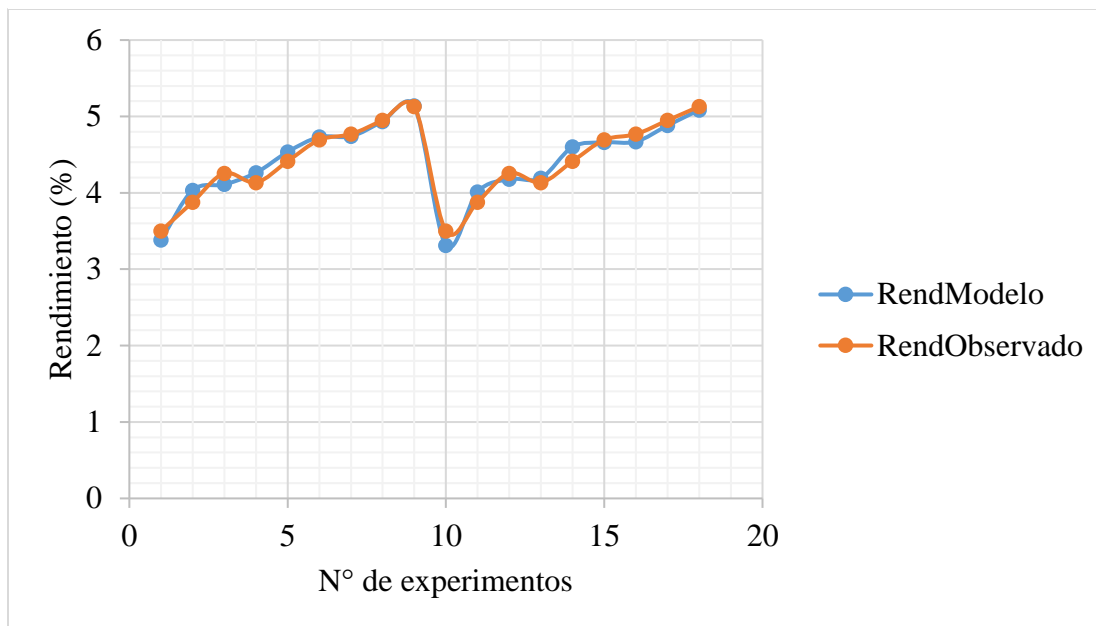
Relación s/S	Tiempo	Rendimiento Observado	Rendimiento modelo matemático	CV
1	1	3.3816	3.5020	2.4736
0	1	4.0321	3.8790	2.7369
-1	1	4.1101	4.2560	2.4663
1	0	4.2621	4.1350	2.1406
0	0	4.5359	4.4140	1.9262
-1	0	4.7307	4.6930	0.5658
1	-1	4.7390	4.7680	0.4314

0	-1	4.9341	4.9490	0.2132
-1	-1	5.1376	5.1300	0.1047
1	1	3.3137	3.5020	3.9071
0	1	4.0122	3.8790	2.3871
-1	1	4.1793	4.2560	1.2859
1	0	4.1926	4.1350	0.9782
0	0	4.6012	4.4140	2.9366
-1	0	4.6615	4.6930	0.4762
1	-1	4.6703	4.7680	1.4639
0	-1	4.8809	4.9490	0.9797
-1	-1	5.0849	5.1300	0.6244

Fuente: SSPS 23.0

Como se puede observar en la tabla anteriormente presentada (Tabla III-17), al comparar los resultados del rendimiento respecto al porcentaje de Lanolina cruda obtenido de manera experimental y el obtenido a través del modelo matemático, se observa que la mayor varianza es menor a 4 %. Todo esto puede verificarse con mayor claridad en la siguiente Figura 3-3.

Figura 3-3 Rendimiento observado vs obtenido con el modelo matemático



Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-18 Estadísticos sobre los residuos (a)

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	N
Valor pronosticado		5.227983	4.414433	0.5066995	18
Valor pronosticado tip.	3.600883	1.606	0.000	1.000	18
Error típico de valor pronosticado	-1.606	0.065	0.055	0.011	18
Valor pronosticado corregido	0.032	5.268864	4.421020	0.5039866	18
Residual	3.663536	0.1867667	0.0000000	0.1291718	18
Residuo tip.	-	1.358	0.000	0.939	18
Residuo estud.	0.2871833	1.398	-0.022	1.036	18
	-2.088	0.1977529	-0.0065862	0.1574055	18
	-2.368	1.448	-0.057	1.130	18

Residuo eliminado	-	2.833	1.889	0.972	18
Residuo eliminado estud.	0.3692357 -2.891				
Distribución de Mahalanobis.	0.000				
Distancia de Cook	0.000	0.534	0.075	0.136	18
Valor de influencia centrado	0.000	0.167	0.111	0.057	18

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SSPS 23.0

En resumen, del análisis estadístico del diseño experimental se concluye en lo siguiente:

- ✓ El modelo elegido es correcto, en consideración a la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza de 92 %.
- ✓ El factor que más afecta en el proceso de extracción, es el tiempo de extracción siguiéndole en importancia la relación soluto/solvente, ligado el uno del otro. Porque, el tiempo de extracción influye directamente sobre la cantidad de Lanolina extraída y si la cantidad de soluto es alta, el gradiente de concentración también es alto y el proceso de extracción es rápido. Por consiguiente, se debe tener especial cuidado en el manejo de estas variables en el proceso productivo industrial.

3.5 ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO

Los parámetros fisicoquímicos determinados para el producto final, fueron analizados en el laboratorio del Centro de Investigaciones Químicas CIQ – Cochabamba.

Los análisis realizados a la Lanolina cruda obtenida de la Lana de Oveja proveniente de la comunidad Pasajes, fueron los siguientes:

- Determinación del punto de fusión.
- Determinación de la densidad.
- Determinación porcentual de humedad.

- Determinación del índice de saponificación.
- Determinación del índice de acidez.
- Determinación del índice de yodo.
- Determinación porcentual de la materia insaponificable.
- Determinación porcentual de ácidos saturados e insaturados.

3.5.1 Resultados de los análisis del producto final

Las características fisicoquímicas de la Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja, son las siguientes:

Tabla III-19 Características Fisicoquímicas de la Lanolina cruda obtenida de Lana de Oveja

Parámetro	Unidad	Resultado
Punto de Fusión	°C	46.00
Densidad	g/ml	1.02
Humedad	g/100 g	8.64
Índice de Saponificación	mg KOH/g	96.00
Índice de Acidez	% Ácido Oleico	11.40
Índice de Yodo (Método Hübl)	mg I ₂ / kg	40.00
Materia Insaponificable	%	22.40

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas “CIQ”, 2019.

3.6 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

En la Tabla III-20 se exponen los resultados del análisis de perfil cromatográfico realizado a la Lanolina Cruda obtenida, los cuales serán analizados en el siguiente capítulo en base a la información bibliográfica que se dispone.

Tabla III-20 Perfil Cromatográfico de Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja

Ácido Graso	Fórmula	% Relativo
Ac. Mirístico	C14:0	11.96
Ac. Cis-10-pentadecanoico	C15:1	10.23
Ac. Palmítico	C16:0	8.86
Ac. Heptadecanoico	C17:0	14.36
Ac. Estearico	C18:0	9.08
Methyl cis 8,11,14 eicosatrienoate	C20:3n	17.11
Ac. Arachídico	C20:0	22.60
Ac. Tricosanoico	C23:0	5.81
Ácidos Grasos Totales		
Ácidos saturados totales		72.67
Ácidos monoinsaturados totales		10.23
Ácidos poliinsaturados totales		17.11
Ácidos insaturados totales		27.34

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas “CIQ”, 2019.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA LANA DE OVEJA

Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a la materia prima, no pueden ser comparados parámetro a parámetros con datos bibliográficos, debido a que no existe información de los mismos, en cuanto a Lana de Oveja se refiere.

Tabla IV-1 Composición Fisicoquímica de la materia prima

Lana de Oveja <i>Corriedale</i> Yunchará - Tarija	
Parámetros	%p/p
Cenizas	10.88
Fibra	56.50
Grasa	2.38
Humedad	7.32

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas “CIQ”, 2019.

En la Tabla IV-1 se observa que la humedad de la materia prima es baja, por lo tanto, no se necesitó una etapa de secado previa a la extracción de la materia grasa.

4.2 COMPARACIÓN DE LA LANOLINA CRUDA DE LANA DE OVEJA

Las características fisicoquímicas de la Lanolina Cruda de Lana de Oveja obtenida en la parte experimental del presente proyecto de investigación y las que se encuentran como referencia bibliográfica, se comparan a continuación en la Tabla IV-2.

Tabla IV-2 Comparación de la Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja

Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja		
Parámetro/Unidad	Datos Bibliográficos	Experimental
Punto de Fusión (°C)	42 - 50	46.00
Densidad (g/ml)	0.92 – 0.96	1.02
Humedad (g/100 g)	< 9	8.64
Índice de Saponificación (mg KOH/g)	95 - 120	96.00
Índice de Acidez (% Ácido Oleico)	< 30	11.40
Índice de Yodo (Método Hübl) (mg I ₂ / kg)	-	40.00
Materia Insaponificable (%)	-	22.40

Fuente: Sánchez, A., 2016 y Gustav Heess, 2014. Centro de Investigaciones Químicas “CIQ”, 2019.

Al comparar los datos bibliográficos con los obtenidos experimentalmente, se puede apreciar que las características fisicoquímicas de la Lanolina Cruda obtenida mediante extracción por solvente (Etanol) a partir de Lana de Oveja *Corriedale*, tales como el punto de fusión, la humedad, el índice de saponificación y el índice de acidez, se encuentran dentro del rango que debe cumplir la Lanolina Cruda. No obstante, el parámetro de densidad es mayor al dato bibliográfico, lo cual puede atribuirse a las impurezas presentes en la cera cruda. En cuanto al porcentaje de materia insaponificable, no existe referencia del mismo, pero el índice determinado indica un bajo contenido de sustancias que no son saponificables por hidróxidos alcalinos. Por último, el extremadamente bajo índice de yodo señala un bajo grado de insaturación, lo cual se comprueba en los resultados del perfil cromatográfico realizado a la Lanolina

Cruda (Tabla IV-3), donde se observa un mínimo porcentaje de ácidos grasos insaturados.

Tabla IV-3 Resultado del Perfil Cromatográfico de la Lanolina Cruda obtenida de Lana de Oveja Corriedale

Ácido Graso	Fórmula	% Relativo
Ac. Mirístico	C14:0	11.96
Ac. Cis-10-pentadecanoico	C15:1	10.23
Ac. Palmítico	C16:0	8.86
Ac. Heptadecanoico	C17:0	14.36
Ac. Estearico	C18:0	9.08
Methyl cis 8,11,14 eicosatrienoate	C20:3n	17.11
Ac. Arachídico	C20:0	22.60
Ac. Tricosanoico	C23:0	5.81
Ácidos Grasos Totales		
Ácidos saturados totales		72.67
Ácidos monoinsaturados totales		10.23
Ácidos poliinsaturados totales		17.11
Ácidos insaturados totales		27.34

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas “CIQ”, 2019.

4.3 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO

Tabla IV-4 Datos experimentales del proceso de obtención de Lanolina Cruda

N° de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I		RESPUESTA II	
	Tiempo	Relación s/S	Lanolina (g)	Lanolina (%)	Lanolina (g)	Lanolina (%)
1	2	A(40/3500)	1.3558	3.3816	1.3262	3.3137
2	2	B(50/3500)	2.0212	4.0321	2.0096	4.0112
3	2	C(60/3500)	2.4685	4.1101	2.5107	4.1793
4	3	A(40/3500)	1.7111	4.2621	1.6811	4.1926
5	3	B(50/3500)	2.2685	4.5359	2.3069	4.6012
6	3	C(60/3500)	2.8401	4.7307	2.7973	4.6615
7	4	A(40/3500)	1.8983	4.7390	1.8686	4.6703
8	4	B(50/3500)	2.4705	4.9341	2.4420	4.8809
9	4	C(60/3500)	3.0891	5.1376	3.0516	5.0849

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla III-7 vista en el capítulo anterior, indica los resultados experimentales obtenidos en el proceso de obtención de Lanolina cruda a partir de Lana de Oveja, donde se observa la evidente influencia de los parámetros, relación soluto/solvente y tiempo de extracción sobre el rendimiento de Lanolina. Siendo el más alto, 5.1376 %.

4.3.1 Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción

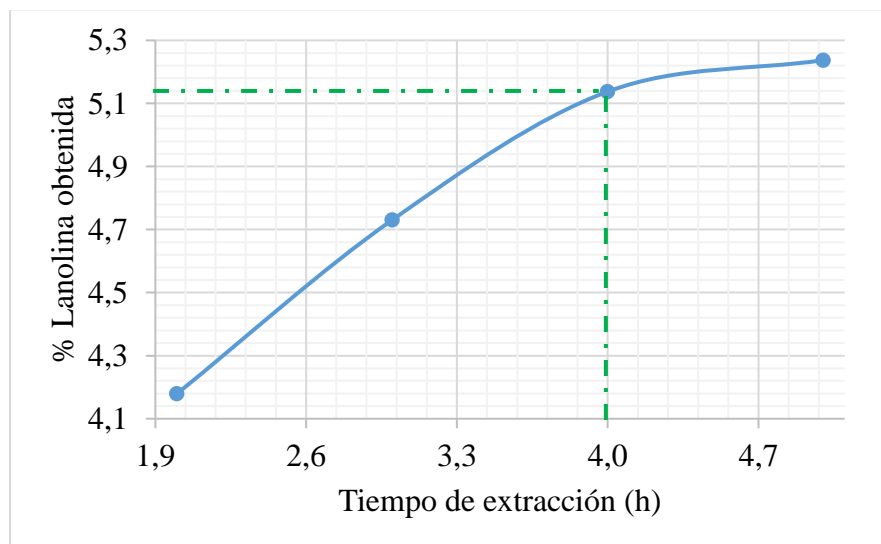
Con los datos experimentales de la Tabla IV-4 se construyó el gráfico IV-1, utilizando los datos obtenidos en las extracciones con la relación soluto/solvente (C), con la cual se obtuvo mejores rendimientos de Lanolina cruda.

Tabla IV-5 Datos experimentales del proceso de obtención de Lanolina Cruda utilizando la relación soluto/solvente C

N° de Exp.	Relación s/S (g/ml)	Tiempo (h)	Lanolina (%)
3	60/3 500	2	4.1793
6	60/3 500	3	4.7307
9	60/3 500	4	5.1376
10	60/3 500	5	5.2373

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico IV-1 Rendimiento de Lanolina Cruda de lana de oveja utilizando la relación soluto/solvente C



Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar las condiciones de operación óptimas para el proceso, previamente se realizó una extracción durante 5 horas, con el objetivo de conocer si el aumento en el rendimiento es considerable, siendo este 5.2373 %. Así, se observa que los porcentajes más altos de Lanolina obtenidos, son hasta las 4 horas de extracción (de 3 a 4 horas el

porcentaje de Lanolina obtenido aumenta en un 8.60 %). Mientras que, para la siguiente extracción, el aumento del rendimiento es bajo, 1.94 %.

En consecuencia, tomando en cuenta además los costos en energía y solvente, que conllevan las extracciones por mayor tiempo, se elige como condición óptima un tiempo de extracción de 4 horas, la relación soluto/solvente (C) y una temperatura de extracción de 73.5 °C, temperatura de ebullición del Etanol.

Tabla IV-6 Condiciones de operación recomendada para el proceso de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja

Relación s/S (g/ml)	Tiempo de extracción (h)	Temperatura de extracción (°C)
60/3 500	4	73.5

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Basados en los resultados obtenidos, se puede responder a los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación con las siguientes conclusiones:

- Se logró obtener experimentalmente Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja (*Corriedale*) para el departamento de Tarija, utilizando el método extracción Soxhlet discontinua, obteniendo un rendimiento de 5.13 %.
- Respecto a la caracterización de la materia prima, es importante resaltar dos parámetros, materia grasa y humedad. Siendo el porcentaje de materia grasa 2.38 %, menor al obtenido en la parte experimental del presente proyecto, debido a las variaciones en la técnica empleada como ser elevada temperatura en la desolventización en estufa. En cuanto al porcentaje de humedad, por ser bajo (7.32 %), el proceso tecnológico experimental de Lanolina Cruda, no requirió una etapa de secado previa a la extracción.
- Se logró identificar las variables de operación recomendadas para el proceso de obtención de Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja, mismos que son:

Relación s/S (g/ml)	60/3 500
Tiempo de extracción (h)	4
Temperatura de extracción (°C)	73.5

Dicha información se puede constatar en la Tabla III-7, pág. 88.

Del análisis estadístico (programa estadístico SPSS 23.0) del diseño experimental (ver Tabla III-10, Pág. 93) se concluyó, que, el modelo elegido es correcto en consideración a la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza de 92 %, (ver Tabla III-12, Pág. 94)

- Se logró obtener Lanolina Cruda a partir de Lana de Oveja (*Corriedale*) criada en el departamento de Tarija a través del método de extracción Soxhlet, utilizando

etanol al 96° como solvente, siguiendo las etapas según el diagrama de bloques (Fig. 3-1, Pág. 65)

- Se logró determinar las propiedades fisicoquímicas del producto, Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*), brindan la siguiente información:

Punto de Fusión (°C)	46.00
Densidad (g/ml)	1.02
Humedad (g/100 g)	8.64
Índice de Saponificación (mg KOH/g)	96.00
Índice de Acidez (% Ácido Oleico)	11.40
Índice de Yodo (Método Hübl) (mg I ₂ / kg)	40.00
Materia Insaponificable (%)	22.40

Las propiedades fisicoquímicas de la Lanolina Cruda obtenida mediante extracción por solvente (Etanol) a partir de Lana de Oveja (*Corriedale*), tales como el punto de fusión, la humedad, el índice de saponificación y el índice de acidez, se encuentran dentro del rango que debe cumplir una cera cruda de Lana de Oveja. No obstante, el parámetro de densidad es mayor al dato bibliográfico, lo cual puede atribuirse a las impurezas presentes en la cera cruda. En cuanto al porcentaje de materia insaponificable, este indica un bajo contenido de sustancias que no son saponificables por hidróxidos alcalinos y por último, el extremadamente bajo índice de yodo muestra un bajo grado de insaturación, lo que significa un mínimo porcentaje de ácidos grasos insaturados.

Los resultados del Perfil Cromatográfico realizado a la muestra de Lanolina Cruda, proporcionan la siguiente información general de la fracción ácida que contiene este tipo de cera animal:

Ácidos saturados totales	72.67
Ácidos monoinsaturados totales	10.23
Ácidos poliinsaturados totales	17.11
Ácidos insaturados totales	27.34

- El rendimiento del proceso tecnológico experimental es del 4.409 % de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (considerando las pérdidas en las etapas previas a la

extracción) como resultado del balance de materia realizado, cerca del doble del porcentaje obtenido en la caracterización de la materia prima. Es decir, los factores seleccionados para el proceso fueron controlados de tal manera que se logró una óptima influencia en la variable respuesta, rendimiento.

- Se logró presentar los resultados del proceso de extracción de Lanolina Cruda de Lana de Oveja (*Corriedale*) en el departamento de Tarija (ver Tabla IV-2, Pág. 104 y Tabla IV-3, Pág. 105).

En conclusión, la elaboración del presente proyecto de investigación, contribuye a incorporar en el mercado nacional, un producto que otorga valor agregado a la lana, beneficiando económicamente a industrias textiles, debido a su amplia gama de aplicaciones. Además de ahorrarse altos costes de inversión en complejos tratamientos de depuración de las aguas residuales, generadas en grandes cantidades durante el proceso de lavado acuoso de la lana (un problema que la mayoría de las industrias no pueden afrontar). Por otra parte, las comunidades del entorno de las plantas de procesamiento de la lana tienen un mejor entorno de vida, y el sector agrícola se beneficia del acceso a un suministro de fertilizante orgánico (Polvo de Lana).

5.2 RECOMENDACIONES

- Los resultados obtenidos en base al rendimiento y las características fisicoquímicas del producto, incentivan a recomendar un estudio más detallado acerca del contenido de Lanolina en Lana de Oveja de otras razas existentes en el país. Así también, del proceso de extracción, para evaluar parámetros como la relación soluto/solvente, tiempo y temperatura de extracción, en las condiciones que se trabaja en la industria.
- Se recomienda a las fábricas textiles, incluir la extracción de la Lanolina antes de la etapa de mineralización en el procesado de la lana (fabricación de sombreros,), con el fin de obtener un producto que favorece económicamente a la industria.
- Se recomienda no reutilizar el solvente (etanol) más de dos veces debido a que el rendimiento del producto extraído baja considerablemente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Velasco Illescas I. E. (2019).** *Obtención de Aceite de Semillas de Linaza (Linum Usitatissimum L.) mediante extracción por solvente.* Proyecto de Grado. Carrera Ingeniería Química. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Tarija – Bolivia.
- **Hernández Sampieri, R. (2014).** *Metodología de la Investigación,* (6° Ed). México. Mc Graw – Hill.
- **Ángeles y Munch, L. E. (2017).** *Métodos y Técnicas de Investigación.* México: Trillas.
- **Andrade Viñan Glenda Dalila. (2015).** *Obtención y Caracterización de un Aceite Vegetal a nivel de laboratorio a partir de la Fruta Amazónica Morete.* Trabajo de Grado para el título de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4784/1/T-UCE-0017-138.pdf>
- **Avegno Reyes Ingrid Paola. (2007).** *Diseño de una herramienta predictiva en lenguaje visual basic.net en procesos de transferencia de masa aplicada a alimentos.* Tesis de Grado. Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13402/3/AVEGNO%20EYES.pdf>
- **Caldas Ávila Adriana Paulina. (2012).** *Optimización, Escalamiento y Diseño de una Planta Piloto de Extracción Sólido-Líquido.* Tesis previa a la Obtención del título de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2468/1/tq1111.pdf>
- **Dr. Juan Di Prisco.** *Concepto actual de la capacidad sensibilizante de la Lanolina.* [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 28 de agosto de 2019. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1004-2017-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1004-2017-1-SM%20(1).pdf)

- **Empresas LANCO. (2019).** *¿Qué es la Lanolina?* [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 30 de septiembre de 2019. Disponible en: <https://www.lanco.com.uy/que-es-la-lanolina/>
- **García D., Díaz Y., Rondón M., Fernández E. y Piloto R. (2017).** *Extracción de aceites de origen vegetal.* Monografía. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317007345_Extraccion_de_aceites_de_origen_vegeta
- **Gustav Heess. (2014).** *LANOLINA CRUDA.* [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 28 de septiembre de 2019. Disponible en: <https://www.gustavheess.com/wp-content/uploads/2017/11/5009seg.pdf>
- **Herrera Muñoz Donato.** *Ceras Naturales: Vegetales y Animales.* [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 24 de septiembre de 2019. Disponible en: <http://siwaxgroup.com/wp-content/uploads/2018/07/ceras-naturales.pdf>
- **INFORME LAYMAN. (2015).** *Eco Efficient Wool Dry Scouring With Total By Products Recovery.* [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 15 de octubre de 2019. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE11_ENV_ES_000588_LAYMAN_ES.pdf
- **J.M. Coulson, J.F. Richardson, J.R. Backhurst y J.H. Harker. (1981).** *Ingeniería Química,* Editorial Reverté S. A. 3ª Edición. España.
- **La lanolina CAS 8020-84-6 lanolina anhidra Grasa de lana.** [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 30 de mayo de 2019. Disponible en: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ADBNT%5FwmOCHQiKE&cid=D06C8C20B20779D7&id=D06C8C20B20779D7%21860&parId=D06C8C20B20779D7%21165&o=OneUp>
- **López Mesas M., Carrillo F., Gutiérrez MC. y Crespl M. (2007).** *Los métodos alternativos para la extracción de cera de lana a partir de los desechos de lavado de lana.* Centro GTS. Unidad de Química Analítica. Departamento de Química.

Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en:
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/453-428-1-PB%20(1).en.es.pdf

- **Martínez Aguilar David Pedro. (2001).** *Filtros Cerámicos*. [Artículo en Línea]
Fecha de Consulta: 09 de octubre de 2019. Disponible en:
http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/INGENIERIA/5,2007/art_004.pdf
- **Martínez Patricia. (noviembre, 2017).** *Lana de oveja* [Artículo en Línea] Fecha
de Consulta: 03 de junio de 2019. Disponible en:
<https://quesodeoveja.org/lana-de-oveja/>
- **OECD (the Observatory of Economic Complexity). (2017).** *Which countries
export Derivatives of wool grease (including lanolin)?* [Artículo en Línea] Fecha
de Consulta: 20 de septiembre de 2019. Disponible en:
https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/export/show/all/150590/2017/
- **OECD (the Observatory of Economic Complexity). (2017).** *Which countries
import Derivatives of wool grease (including lanolin)?* [Artículo en Línea] Fecha
de Consulta: 20 de septiembre de 2019. Disponible en:
https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/150590/2017/
- **Pantoja A. L., Hurtado A. y Martínez H. (2017).** *Caracterización de aceite de
semillas de maracuyá (Passiflora edulis Sims.) procedentes de residuos
agroindustriales obtenido con CO₂ supercrítico*. Acta Agronómica. Universidad
Nacional de Colombia. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/1699/169950127005.pdf>
- **PCT (Tratado de Cooperación en Materia de Patentes). (septiembre, 2002).**
*Utilización de fracciones de Lanolina ricas en ceramidas para el tratamiento de la
piel, y composiciones que las contienen*. [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 25
de mayo de 2019. Disponible en:
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/31045/1/WO02069912A1.pdf>
- **Pérez Romero Leocadia Flor. (2008).** *Evaluación de cuatro temperaturas de
prensado en la calidad del aceite virgen de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.)*.
Tesis para optar el título profesional de: Ingeniería en Ciencias Agrarias. Facultad
de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Centro del Perú. Disponible en:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2634/Perez%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- **Rosas Rivera Ángel Alfredo. (enero, 2016).** *La Lana de Ovino como material aislante: Natural, Renovable y Sostenible.* Trabajo Final Máster en Ingeniería de Edificación. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84043/memoria_Y3698583J_1454367601159.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- **Sánchez Patrocinio Alberto. (enero, 2016).** *Mejoras en el proceso industrial de extracción de Lanolina del efluente procedente del lavado de la lana en base a un tratamiento físico-químico.* Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería química y textil. Universidad de Salamanca. Disponible en: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/129706/DIQE_SanchezPatrocinioA_Lanolina.pdf;jsessionid=591F9DBB7E22FB14E8100BCA61AFC77C?sequence=1
- **Tron José de Lucas. (2013).** *Descripción, propiedades y características de la lana.* FESC – Universidad Nacional Autónoma de México. [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 04 de octubre de 2019. Disponible en: <http://spo.uno.org.mx/wpcontent/uploads/informe2013/lana/descripcionpropiedadesy caracterdelalana2oct2013.pdf>
- **Verdini Roxana. (2017).** *Análisis de Grasas en los Alimentos.* Licenciatura en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. [Artículo en Línea] Fecha de Consulta: 09 de octubre de 2019. Disponible en: https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/145787/mod_resource/content/1/QA-2017-LIPIDOS-METODOS.pdf
- **Vizute Lema Gloria Isabel. (2016).** *Caracterización de la lana de ovinos machos Corriedale del proyecto de repoblación ovina en la provincia de Chimborazo.* Trabajo de titulación. Carrera de Ingeniería Zootécnica. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5335/1/17T1379.pdf>

ANEXOS

ANEXO A


INFORMES DE LABORATORIO

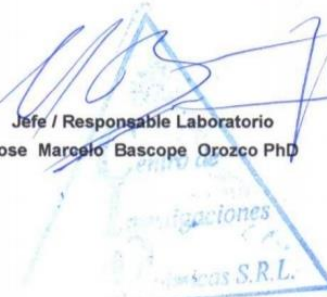
INFORME DE ANÁLISIS DE INVESTIGACION

CODIGO MUESTRA:	CIQ-D-INV-0041
Datos del solicitante	
Nombre del Solicitante	Victoria Aldana Gallardo
Empresa	Universidad Autonoma Juan Misael Saracho (Tarija)
Dirección	-
Departamento	Tarija
Datos de la Muestra	
Procedencia de la muestra	Universidad Autonoma Juan Misael Saracho
Producto	Lana de Oveja
Tipo o marca	-
Cantidad	500 g
Código de Muestra	-
Fecha de elaboración	-
Fecha de vencimiento	-
Lote	-
Fecha de muestreo	2019-11-25
Responsable de muestreo	Victoria Aldana Gallardo
Condiciones de recepción de muestra	
Fecha de recepción y hora	2019-11-28
Fecha de análisis	2019-12-27
Fecha de elaboración de informe	2019-12-27
Aspecto	Sólido
Color	Beige
Envase	Plástico
Responsable de la recepción:	Marcelo Bascope PhD.
Observaciones:	-

Item	Parámetros	Unidad	Método de Ensayos	Límite de Detección	Resultado
1	Humedad	g/100 g	Gravimétrico	0,02	7,32
2	Grasas	g/100 g	Extracción Soxhlet	0,02	2,38
3	Fibra	g/100 g	Gravimétrico	0,05	56,5
4	Cenizas	g/100 g	Gravimétrico	0,02	10,88

Los resultados corresponden a las muestras recibidas y ensayadas en el Laboratorio de Análisis Químicos
Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad


Jefe / Responsable Laboratorio
Jose Marcelo Bascope Orozco PhD



INFORME DE ANÁLISIS DE INVESTIGACION

CODIGO MUESTRA:	CIQ-D-INV-0040
Datos del solicitante	
Nombre del Solicitante	Victoria Aldana Gallardo
Empresa	Universidad Autonoma Juan Misael Saracho (Tarja)
Dirección	-
Departamento	Tarja
Datos de la Muestra	
Procedencia de la muestra	Universidad Autonoma Juan Misael Saracho
Producto	Lanolina
Tipo o marca	-
Cantidad	150g
Código de Muestra	-
Fecha de elaboración	-
Fecha de vencimiento	-
Lote	-
Fecha de muestreo	2019-11-25
Responsable de muestreo	Victoria Aldana Gallardo
Condiciones de recepción de muestra	
Fecha de recepción y hora	2019-11-28
Fecha de análisis	2019-12-27
Fecha de elaboración de informe	2019-12-28
Aspecto	Sólido
Color	Amarillo
Envase	Frasco
Responsable de la recepción:	Marcelo Bascope PhD.
Observaciones:	-

Item	Parámetros	Unidad	Método de Ensayos	Límite de Detección	Resultado
1	Densidad	g/ml	Picnómetro	0,1	1,018
2	Humedad	g/100 g	Gravimétrico	0,02	8,64
3	Índice de Saponificación	mg KOH/ g	Titulación	0,1	96
4	Punto de Fusión	°C	Thiel	0,1	46,0
5	Índice de Yodo	mg I2 / Kg	Hubi	0,1	40,0
6	Materia Insaponificable	%	Gravimétrico	0,02	22,4
7	Índice de Acidez	% Acido Oleico	Titulación	0,1	11,4

Perfil Cromatografico					
Item	Parámetros	Tiempo de retención	% relativo		
1	Ac. Mirístico C14:0	14,53	11,96		
2	Ac. cis-10- pentadecanoico C15:1	15,50	10,23		
3	Ac. Palmítico C16:0	16,71	8,86		
4	Ac. Heptadecanoico C17:0	17,72	14,36		
5	Ac. Estearico C18:0	18,70	9,08		
6	Methyl cis 8,11,14 eicosatrienoate C20:3n	19,34	17,11		
7	Ac. Arachidico C20:0	20,55	22,60		
8	Ac. Tricosanoico C23:0	23,06	5,81		

Los resultados corresponden a las muestras recibidas y ensayadas en el Laboratorio de Análisis Químicos

Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad

Jefe / Responsable Laboratorio
Jose Marcelo Bascope Orozco PhD

ANEXO B

TÉCNICAS DE ANÁLISIS

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA GRASA EN LANA DE OVEJA

Principio del método

Extraer la cera o materia grasa contenida en la lana de oveja, libre de impurezas, utilizando hexano o etanol como solvente.

Equipos y materiales

- Aparato de extracción: tipo Soxhlet
- Estufa
- Balanza electrónica y balanza analítica
- Papel filtro Whatman
- Desecador

Procedimiento

- Limpiar la muestra.
- Pesar muestra (según la relación soluto/solvente que se emplee), en el cartucho de papel filtro.
- Doblar el papel y colocar en un segundo cartucho de papel filtro o celulosa.
- Colocar al extractor y si es necesario, para mantener constante el volumen del solvente durante la extracción, agregar pequeñas porciones de hexano o etanol cuando se comprueba que parte del mismo se ha evaporado. Se continúa la extracción hasta agotar la materia grasa presente en la lana.
- Transcurrido ese tiempo, recuperar el solvente.
- Llevar a estufa por espacio de 1 h, a una temperatura de 80 °C.
- Enfriar en el desecador a temperatura ambiente y pesar.

Expresión de los resultados

$$\% \text{ *Materia Grasa* } = \frac{A - B}{M} * 100$$

Donde:

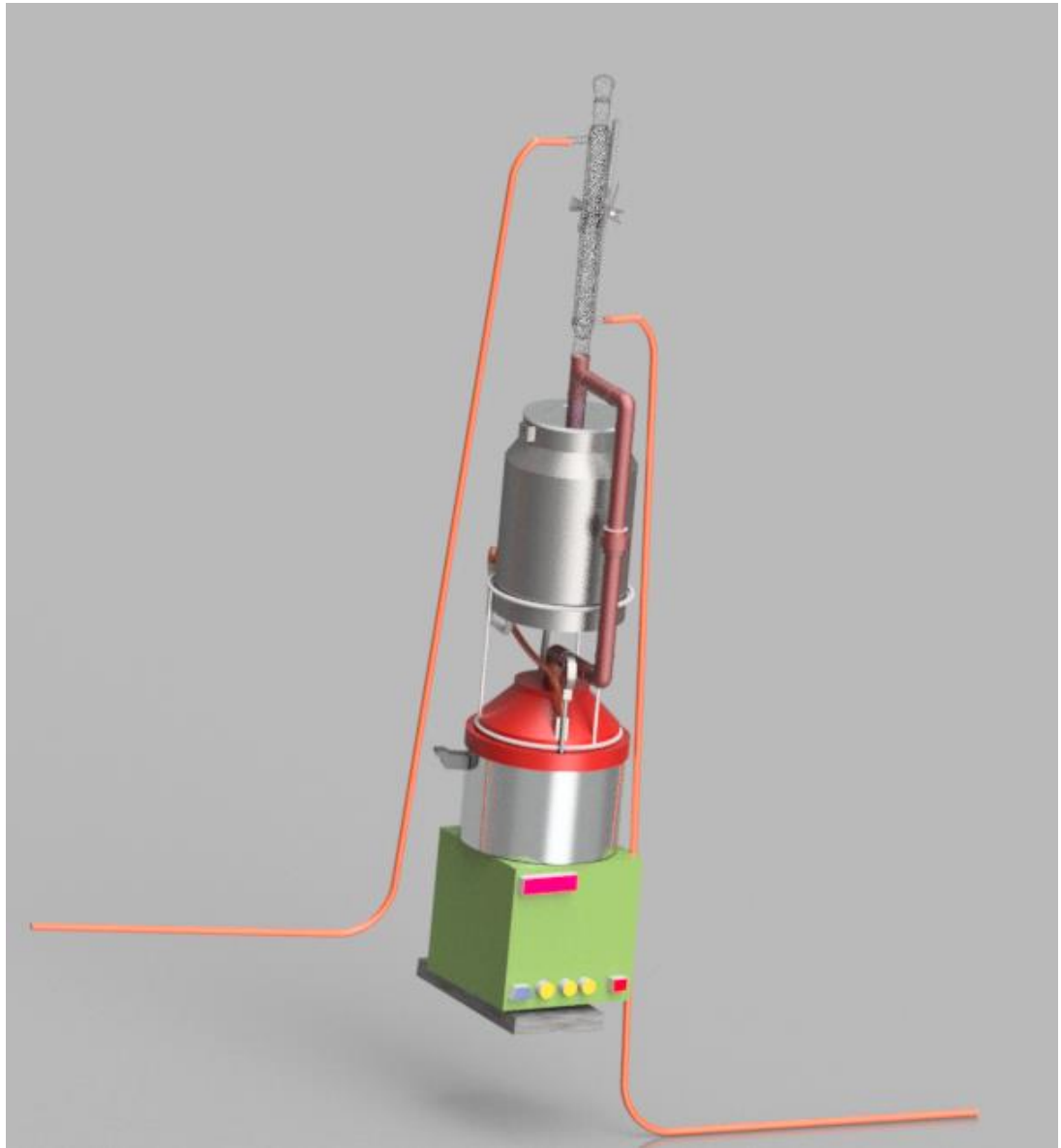
A = Peso del balón después de la extracción

B = Peso del balón antes de la extracción

M = Peso de la muestra

ANEXO C

DISEÑO DEL EQUIPO DE EXTRACCIÓN



ANEXO D
ESTIMACIÓN DE COSTOS

COSTOS DEL PROYECTO

Los costos que significa la ejecución del presente proyecto de investigación se reflejan en las siguientes tablas:

Costo de materia prima y reactivo

	Detalle	Especificaciones	Precio (Bs)
01	Lana de Oveja	3 arrobas	360.00
02	Transporte	-	60.00
03	Etanol 96°	100 litros	800.00
			T₁ = 1 220.00

Costo de análisis fisicoquímico de la materia prima

	Parámetro	Precio (Bs)
04	Humedad	70.00
05	Materia grasa	90.00
06	Ceniza	90.00
07	Fibra	150.00
		T₂ = 400.00

Costo de análisis fisicoquímico del producto

	Parámetro	Precio (Bs)
08	Perfil cromatográfico	1 500.00
09	Índice de yodo	90.00
10	Índice de saponificación	120.00

11	Índice de acidez	45.00
12	Materia insaponificable	140.00
13	Humedad	70.00
14	Punto de fusión	70.00
15	Densidad	50.00
		T₃ = 2 085.00

Costos de construcción del Equipo de Extracción

	Detalle	Especificaciones	Precio (Bs)
16	Balón (recipiente de acero inoxidable a presión)	3.5 l	200.00
17	Extractor (recipiente de aluminio)	7.5 l	80.00
18	Tubería PVC (1/2 pulg)	1 m	8.00
19	Codos PVC de 90° (1/2 pulg)	3	4.50
20	Unión universal PVC (1/2 pulg)	1	3.00
21	Te PVC (1/2 pulg)	1	2.00
22	Cupla PVC (1/2 pulg)	1	1.50
23	Niple PVC (1/2 pulg)	1	1.50
24	Teflón	2	2.00
25	Tubería de Cobre	0.5 m	30.00
26	Conectores 1/4 ntp x 3/8	2	50.00
27	Conector codo 1/4 ntp x 3/8	1	40.00
28	Picos de neumáticos de moto	5	50.00

29	Abrazaderas	6	9.00
30	Arandelas de aluminio	2	3.00
31	Alambre para soldar	1 m	5.00
32	Termómetro	1	230.00
			T₄ = 719.50

Energía consumida por los equipos utilizados

Detalle	Descripción	Potencia (kW)
Calentador eléctrico	Calentamiento del solvente	0.64
Estufa	Desolventización de la lana y la Lanolina	0.30
Balanza analítica	Análisis	0.22
Balanza electrónica	Pesaje de la muestra de lana	0.20

En la tabla siguiente se muestran los costos energéticos calculados en la sección 3.4.6., incluyendo en este caso el de la balanza analítica y la balanza electrónica.

Costos Energéticos

	Detalle	Energía (kWh)	Precio (Bs)
33	Calentador eléctrico	32.66	29.39
34	Estufa	52.72	47.45
35	Balanza analítica	7.92	1.23
36	Balanza electrónica	0.06	0.05
			T₅ = 78.12

Los costos calculados están sobre la base de 0.90 Bs/kWh que cobra SETAR.

Costo Total

Sub total	Costo (Bs)
Costo de materia prima y reactivo	1 220.00
Costo de análisis fisicoquímico de la materia prima	400.00
Costo de análisis fisicoquímico del producto	2 085.00
Costos de construcción del Equipo de Extracción	719.50
Costos Energéticos	78.12
TOTAL	4 502.62

ANEXO E

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS

EQUIPOS DE LABORATORIO



Balanza Electrónica

Marca: GIBERTINI

Modelo: EUROPE 500

Capacidad: 510 g



Balanza Analítica

Marca: KERN

Capacidad: 120 g

Exactitud: 0.1 mg

Potencia: 220 W



Calentador Eléctrico

Marca: SELECTR

Modelo: AGIMATIC REV-E

Potencia: 640 W



Estufa

Marca: HEREAUS

Modelo: FB 420

Potencia: 300 W

ANEXO F

FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN



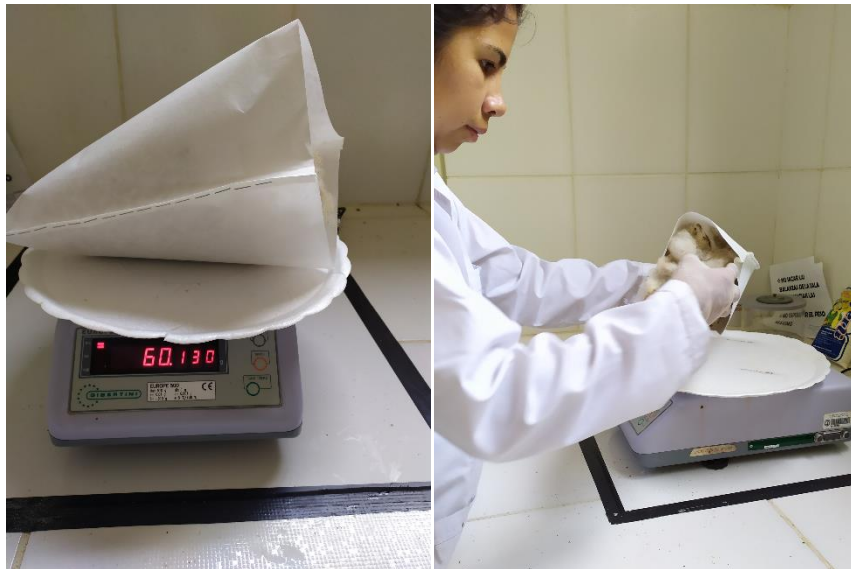
Fotografía F-1 Rebaño de ovejas (*Corriedale*) en la comunidad “Pasajes” perteneciente al municipio de Yunchará ubicada en la segunda sección de la provincia Avilés



Fotografías F-2, F-3 Aprovechamiento y almacenamiento de la materia prima



Fotografías F-4, F-5 Separación de impurezas en la etapa de limpieza de la materia prima



Fotografías F-6, F-7 Pesaje de las muestras de Lana para la extracción



Fotografías F-8, F-9 Tare del material de vidrio para cálculos





Fotografías F-10, F-11, F-12, F-13 Partes del equipo de extracción diseñado



Fotografía F-14 Introducción del cartucho (con la muestra de Lana) en el extractor



Fotografía F-15 Adición del solvente (Etanol)



Fotografía F-16 Control de la temperatura de ebullición del solvente



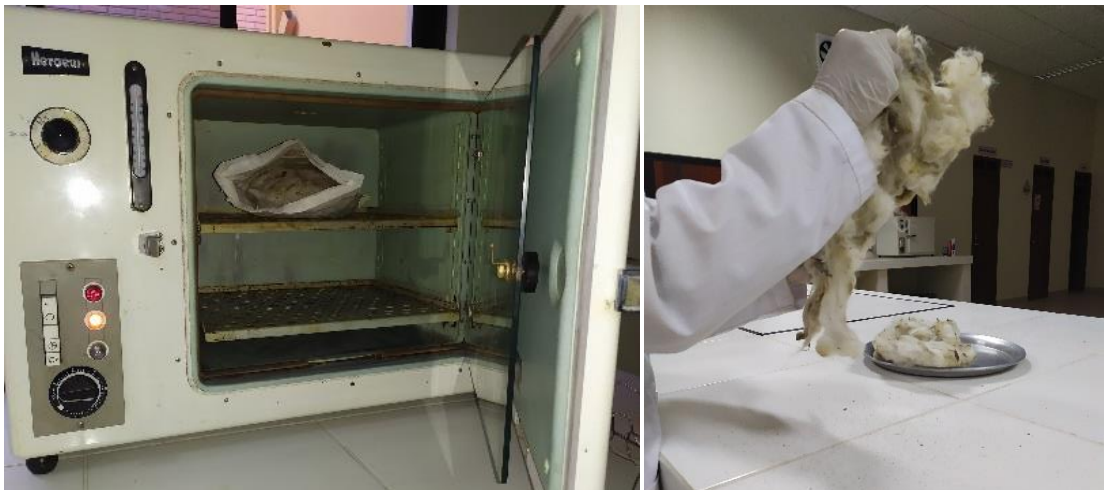
Fotografía F-17, F-18 Etapas de extracción y destilación



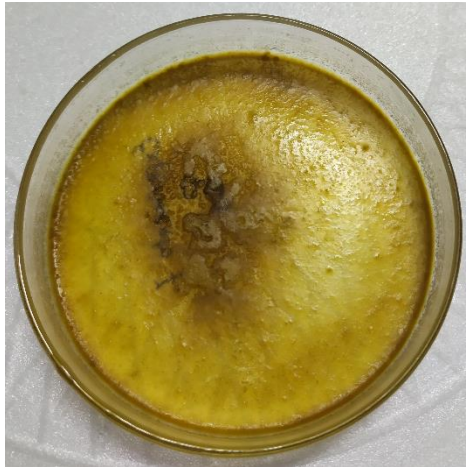
Fotografía F-19 Extracto de Lanolina cruda con trazas de solvente



Fotografía F-20, F-21 Eliminación de las trazas de solvente en el extracto de Lanolina cruda y posterior pesaje para cálculo de rendimiento



Fotografías F-22, F-23 Desolventización de la Lana desengrasada y espolvoreado



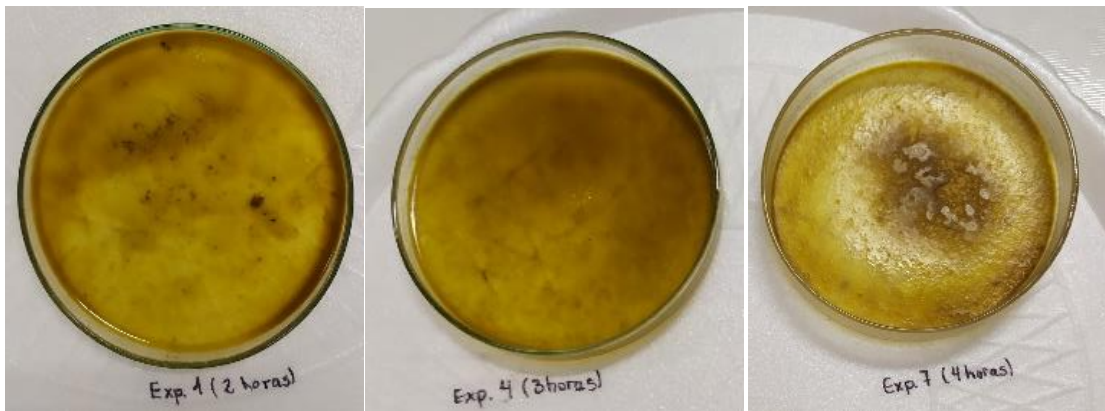
Fotografías F-24, F-25, F-26 Lanolina cruda, Lana desengrasada - espolvoreada y Polvo de Lana



Fotografía F-27 Desarrollo de los experimentos según el diseño factorial



Fotografía F-28, F-29 Acumulación de Lanolina cruda para análisis del producto



Fotografía F-30 Muestras de Lanolina Cruda obtenidas en los distintos tiempos de extracción



Fotografía F-31, F-32 Lanolina Cruda almacenada en frascos de vidrio herméticamente cerrados y cubiertos de la luz con papel aluminio