

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Evaluación del efecto de lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) de la comunidad de Iscahuaca, Cotaruse, Apurímac

Presentado por:

Reyner Dennis Barazorda Romero

Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial



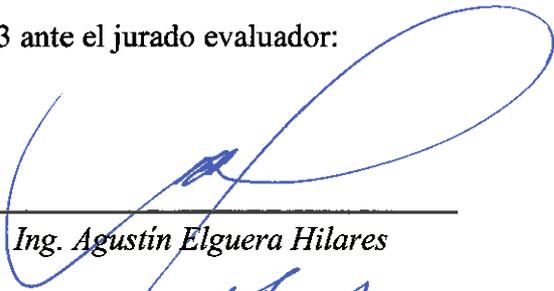
“TESIS”

Evaluación del efecto de lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) de la comunidad de Iscahuaca, Cotaruse, Apurímac

Presentado por **Bach. Reyner Dennis Barazorda Romero**, para optar el título de:
Ingeniero Agroindustrial.

Sustentado y aprobado el 13 de abril del 2023 ante el jurado evaluador:

Presidente:



Ing. Agustín Elguera Hilares

Primer Miembro:



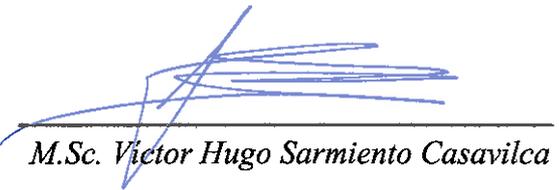
Ing. Lourdes Salcedo Sucasaca

Segundo Miembro:



Mg. Jinmer Bravo Apaza

Asesor:



M.Sc. Víctor Hugo Sarmiento Casavilca



Agradecimiento

Al MSc. Víctor Hugo Sarmiento Casavilca, asesor del presente proyecto de investigación, por su apoyo incondicional, por su amistad, por aquellos consejos que siempre fueron de gran valía y todas sus enseñanzas que siempre las llevaré en mi mente.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por ser mi alma mater durante estos años de mucho sacrificio y felicidad, por hospedarme y ofrecerme un crecimiento profesional.

A la Escuela académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a los docentes y demás trabajadores, por haberme permitido estar al lado de ellos, compartir grandes experiencias y sobretodo hacerme crecer en mi formación académica y personal.

Reyner Dennis Barazorda Romero



Dedicatoria

Con toda mi gratitud y mi cariño se lo dedico a toda mi familia en especial a mis padres Antonio y Cruspira, por todo el amor que siempre me muestran, por el apoyo que me dan día a día, por los valores y enseñanzas que me inspiran en mi vida. A Tatiana y Jharol mis queridos hermanos, que sus consejos fueron de mucha ayuda para superar obstáculos en toda mi etapa universitaria, y a todas las personas que apoyaron para lograr este objetivo en mi vida.

A Dios, al siempre altísimo, el que me guía y me ayuda en todos los momentos, dándome fuerza, perseverancia y sobretodo fe.

Reyner Dennis Barazorda Romero



“Evaluación del efecto de lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) de la comunidad de Iscahuaca, Cotaruse, Apurímac”

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción del problema	4
1.2. Enunciado del Problema	5
1.2.1. Problema General	5
1.2.2. Problemas Específicos	5
1.2.3. Justificación de la Investigación	5
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1. Objetivos de la Investigación	8
2.1.1. Objetivo general	8
2.1.2. Objetivos específicos	8
2.2. Hipótesis de la investigación.....	8
2.2.1. Hipótesis general	8
2.2.2. Hipótesis específicas	8
2.3. Operacionalización de variables.....	9
CAPÍTULO III	10
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
3.1. Antecedentes de la investigación.....	10
3.2. Marco teórico	15
3.2.1. La alpaca (<i>Vicugna Pacos</i>)	15
3.2.2. Fibra de alpaca (<i>Vicugna Pacos</i>).....	18
3.2.3. Lipasas	28
3.2.4. Espectrofotómetro de Absorción Infrarrojo (FTIR).....	34
3.2.5. Colorimetría	37
3.3. Marco conceptual	39
CAPÍTULO IV	41
	I



METODOLOGÍA.....	41
4.1. Tipo y nivel de investigación	41
4.2. Diseño de investigación	41
4.3. Población y muestra.....	45
4.3.1. Población	45
4.3.2. Muestra.....	45
4.3.2.1. Método de muestreo.....	46
4.4. Procedimiento	46
4.4.1. Procedimiento para caracterizar la suciedad de la fibra de alpaca.....	46
4.4.1.1. Recolección de fibra	46
4.4.1.2. Para la determinación de humedad (% de Humedad).....	46
4.4.1.3. Análisis con Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)	47
4.4.2. Procedimiento para establecer un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas comerciales.....	47
4.4.2.1. Para la selección de la temperatura de lavado.....	47
4.4.2.2. Lavado con adición de lipasas para determinar el peso retirado de suciedad de la fibra de alpaca.....	49
4.4.3. Procedimiento para determinar la calidad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.....	51
4.4.3.1. Determinación de la luminosidad de la fibra de alpaca	51
4.4.3.2. Determinación de la trabajabilidad y maleabilidad de la fibra de alpaca	52
4.5. Técnicas e instrumentos.....	52
4.5.1. Instrumentos.....	52
4.6. Análisis estadístico	53
CAPÍTULO V	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.1. Análisis de resultados	54
5.1.1. Caracterización de la suciedad de la fibra de alpaca.....	54
5.1.2. Establecimiento de un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas comerciales.....	63
5.1.3. Evaluar la calidad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.....	67
5.2. Discusión.....	79
5.2.1. Caracterización de la suciedad de fibra de alpaca.....	79
5.2.2. Procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas comerciales ...	82



5.2.3. Evaluación de la calidad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.....	83
CAPÍTULO VI.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
6.1. Conclusiones	86
6.2. Recomendaciones	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	93



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Definición operacional de variables.....	9
Tabla 2 — Composición de aminoácidos (umol / g) de lana de cachemira, qiviut, alpaca y bisonte.	20
Tabla 3 — Impurezas totales presentes en la fibra de lana y alpaca.....	26
Tabla 4 — Recomendación para el lavado de la fibra de alpaca y llama	28
Tabla 5 — Aplicaciones de las lipasas.....	31
Tabla 6 — Características de la muestra.....	46
Tabla 7 — Para la determinación del % de humedad	47
Tabla 8 — Porcentaje promedio de suciedad de fibra de alpaca lavada a 20°C	48
Tabla 9 — Porcentaje promedio de suciedad de fibra de alpaca lavada a 35°C	48
Tabla 10 — Tratamientos en el lavado de fibra de alpaca	49
Tabla 11 — Porcentaje promedio de suciedad retirada de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa.....	51
Tabla 12 — Nivel de Trabajabilidad y Maleabilidad de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa.....	52
Tabla 13 — Porcentaje (%) promedio de humedad y desviación estándar de fibra de alpaca Huacaya.....	54
Tabla 14 — Porcentaje (%) de humedad y desviación estándar de fibra de alpaca Suri.	55
Tabla 15 — Peso de fibra y de suciedad (promedio).....	55
Tabla 16 — Caracterización de la fibra de alpaca Suri y Huacaya	56
Tabla 17 — Compuestos existentes en la fibra sucia.....	58
Tabla 18 — Análisis de Varianza para suciedad retirada - Suma de Cuadrados Tipo III	63
Tabla 19 — Porcentaje (%) de suciedad retirada de fibra de alpaca Suri y Huacaya.....	67
Tabla 20 — Porcentaje (%) de suciedad retirada en el proceso de lavado de fibra de alpaca Suri y Huacaya con la adición de lipasas.	69
Tabla 21 — Análisis de Varianza para Luminosidad - Suma de Cuadrados Tipo III	70
Tabla 22 — Nivel de Trabajabilidad y Maleabilidad de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Variedad de colores de alpacas Huacayas. Tomado del Instituto Peruano de Alpaca y Camélidos	17
Figura 2 — Partes del vellón de la fibra de alpaca (<i>Vicugna pacos</i>).	17
Figura 3 — Diagrama esquemático de la estructura de la fibra de alpaca	19
Figura 4 — Características superficiales de las escamas de la cutícula de la fibra de una cachemira.	22
Figura 5 — Hidrolisis de la lipasa.	29
Figura 6 — Efecto de limpieza causado por diferentes enzimas.	33
Figura 7 — Tipos de enzimas y porcentajes de uso en diferentes industrias.	34
Figura 8 — Espectros FTIR de las capas H1 de Heinrich-H6 del sitio U1308.	36
Figura 9 — Colorímetro PCE – CSM7.	39
Figura 10 — Diagrama de Bloques para lavado de fibra de alpaca.	42
Figura 11 — Esquema para la caracterización de la suciedad de fibra de alpaca.	44
Figura 12 — Esquema para el establecimiento de un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas	44
Figura 13 — Esquema para determinar la luminosidad de fibra de alpaca, lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.	45
Figura 14 — Desviación estándar para la fibra de alpaca Huacaya.	54
Figura 15 — Desviación estándar para la fibra de alpaca Suri.	55
Figura 16 — Fibra sucia de alpaca Huacaya y Suri.	57
Figura 17 — Espectros de fibra de alpaca sucia variedad Suri y Huacaya.	60
Figura 18 — Espectros de fibra de alpaca variedad Huacaya sucio y lavados con distintos tratamientos.	61
Figura 19 — Espectros de fibra de alpaca variedad Suri sucio y lavados con distintos tratamientos.	62
Figura 20 — Fibra sucia de alpaca Huacaya.	64
Figura 21 — Fibra de alpaca Huacaya lavada a 35 °C.	64
Figura 22 — Fibra de alpaca Huacaya con cristales lavada a 20 °C	65
Figura 23 — Fibra de alpaca Suri con cristales lavada a 20 °C vista por el microscopio. ...	66
Figura 24 — Fibra de alpaca Huacaya lavada a 35 °C vista por el microscopio.	67
Figura 25 — Gráfico del porcentaje (%) promedio de suciedad eliminada (Fibra Suri) de los distintos tratamientos y Desviación Estándar.	69

Figura 26 — Gráfico del porcentaje (%) promedio de suciedad eliminada (Fibra Huacaya) de los distintos tratamientos y Desviación Estándar.	70
Figura 27 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 0.5ml de Lipasa.	71
Figura 28 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 1ml de Lipasa.	72
Figura 29 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 40ml de Biopelícula.	73
Figura 30 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 40ml de Libre.	74
Figura 31 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 0.5ml de Lipasa.	75
Figura 32 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 1ml de Lipasa.	76
Figura 33 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 40ml de Biopelícula.	77
Figura 34 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 40ml de Libre.	78
Figura 35 — Cultivo sumergido. Elaborado por el investigador	93
Figura 36 — Cultivo por adhesión a superficies. Elaborado por el investigador.....	94
Figura 37 — Pesado de muestra de fibra	101
Figura 38 — Apunte de datos del pesado de muestra de fibra.....	101
Figura 39 — Separado de muestras de fibras pesadas.....	102
Figura 40 — Medición de 500 ml de agua.....	102
Figura 41 — Pesado de 1.5g de detergente.....	103
Figura 42 — Separado de 1.5g de detergente	103
Figura 43 — Calentado hasta 35°C de la solución de detergente - agua.....	104
Figura 44 — Control de temperatura de la solución de detergente	104
Figura 45 — Medición volumétrica de enzima lipasa.....	105
Figura 46 — Adición de enzima a la solución detergente	105
Figura 47 — Lavado de muestra fibra a 35°C a 60 rpm.....	106
Figura 48 — Enjuagado de muestra fibra a 20°C y 60rpm.....	106
Figura 49 — Rotulado de muestra de fibra después del lavado	107
Figura 50 — Muestras de fibras lavadas listas para el secado a 80 ° C en la estufa	107
Figura 51 — Muestras de fibras en el desecador.....	108
Figura 52 — Muestra de fibra después del lavado y secado.....	108



INTRODUCCIÓN

La fibra de alpaca es muy reconocida por tener varias propiedades de los cuales la suavidad, textura y brillo resaltan en mayor proporción y además éstas le dan un alto valor en el mercado mundial. Estas fibras se utilizan en una gran variedad de productos textiles, disponibles para los consumidores y la industria de la moda. La fibra de alpaca es muy apreciado por la industria textil y compite muy bien con otras fibras de animales, teniendo aceptación mundial por su alta calidad textil. **(Frank et al., 2016)**

Actualmente, en la comunidad de Iscahuaca la crianza de alpacas se concentra a nivel de pequeños productores en sistemas extensivos ubicados en los alrededores de sus hogares, donde la agricultura y la crianza de muchas otras especies no es posible debido al clima y la altura de la zona; el principal sustento para la producción de alpacas son los vastos pastizales naturales y además la venta de su fibra en forma de vellón está entre uno de los principales sustentos económicos. El proceso de producción de fibra de alpaca en esta zona se encuentra sistematizado de manera tradicional y rústica, esto lo convierte un producto con baja calidad y los costos de venta disminuyen considerablemente. En el Perú, el costo de la fibra se establece considerando la cantidad y la calidad, y los compradores la adquieren pagando un precio único por cada vellón, sin prestar mucha atención a la calidad.

El diámetro de fibra es el principal criterio para determinar el precio, rendimiento de procesamiento y uso final en la mayoría de las fibras de animales, en especial en la fibra de alpaca. **(Frank et al., 2016)**

Otros de los criterios a tomar en cuenta para determinar la calidad de la fibra es el color, así como lo explican **Hetrick et al. (2013)** donde afirman que una forma de visión subjetiva es la calificación de color, que se utiliza para la asignación de colores. En este contexto, la percepción está correlacionada con la medición instrumental, que utiliza el espacio tridimensional del color vertiendo valores de luminosidad (L^*), eje rojo/verde (a^*), eje amarillo/azul (b^*). A partir de estos valores (L^* , a^* y b^*), la percepción de la apariencia del color responde a modelos matemáticos para entender mejor la magnitudes, denotado como un "modelo de apariencia de color".

Si se quiere aumentar el nivel de calidad de fibra se deberá tener en cuenta varios criterios de medición de calidad, el cual es indispensable para poder elevar los precios de la fibra de alpaca.



RESUMEN

El presente trabajo estudió la efectividad del uso de lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*). Se adquirió el vellón de fibra de la comunidad de Iscahuaca, en el laboratorio de biotecnología de la UNAMBA, se procedió a caracterizar la fibra de alpaca mediante el uso del Espectrofotómetro Infra Rojo FTIR, seguidamente se estableció un procedimiento de lavado manual a temperatura de 35°C adicionando lipasas, el cual constó de 5 tratamientos: 2 con lipasa comercial (0,5 ml y 1 ml), 2 con lipasa procesada en laboratorio (40 ml de enzima Libre y 40 ml de enzima Biopelícula, ambas en solución) y una sin la adición de lipasa. Finalmente se evaluó la calidad de la fibra en dimensiones como: luminosidad, trabajabilidad y maleabilidad.

La lectura mediante el espectrofotómetro indicó que la fibra de alpaca sucia (tanto para la variedad Suri y Huacaya) contenían varios grupos funcionales, pero resaltando los esteres aromáticos, un indicador de la presencia de ácidos grasos. La adición de 0.5 ml de lipasa comercial en el lavado de fibra de alpaca demostró tener mayor efectividad en cuestión de retiro de suciedad (24,22%) para la variedad Huacaya, mientras que la adición de 40 ml de enzima Biopelícula tuvo mejor efecto para la variedad Suri (21,11%). En el tema de calidad fibra de alpaca, se evidenció que la fibra de alpaca Suri lavada con 0.5 ml de lipasa comercial y la fibra de alpaca Huacaya lavada sin la adición de enzima resultaron tener mejor luminosidad. Se obtuvo tener un valor “muy alto” en la trabajabilidad y maleabilidad para la fibra de alpaca Suri, siempre en cuando el proceso de lavado (a temperatura de 35°C) se adicione enzima Libre o Biopelícula (enzimas procesadas en laboratorio), también resulta tener valor “alto” en la trabajabilidad y maleabilidad para fibra de variedad Huacaya (mismas condiciones de lavado) adicionando enzima Libre o Biopelícula, se concluye que la adición de lipasas evidencia tener mejor efecto en comparación de un lavado convencional.

Palabras claves: Fibra, alpaca, enzima, lipasas, lavado.



ABSTRACT

The present work studied the effectiveness of the use of lipases in washing alpaca fiber (*Vicugna pacos*). The fiber fleece was acquired from the community of Iscahuaca, in the UNAMBA biotechnology laboratory, the alpaca fiber was characterized using the Infra Red FTIR Spectrophotometer, then a manual washing procedure was established at a temperature of 35°C. adding lipases, which consisted of 5 treatments: 2 with commercial lipase (0.5 ml and 1 ml), 2 with laboratory-processed lipase (40 ml of Free enzyme and 40 ml of Biopelícula enzyme, both in solution) and one without the addition of lipase. Finally, the quality of the fiber was evaluated in dimensions such as: luminosity, workability and malleability.

The reading using the spectrophotometer indicated that the dirty alpaca fiber (both for the Suri and Huacaya variety) contained several functional groups, but highlighting the aromatic esters, an indicator of the presence of fatty acids. The addition of 0.5 ml of commercial lipase in the alpaca fiber wash proved to be more effective in terms of dirt removal (24.22%) for the Huacaya variety, while the addition of 40 ml of Biopelícula enzyme had a better effect for the Suri variety (21.11%). Regarding alpaca fiber quality, it was evident that Suri alpaca fiber washed with 0.5 ml of commercial lipase and Huacaya alpaca fiber washed without the addition of enzyme turned out to have better luminosity. A “very high” value was obtained in workability and malleability for the Suri alpaca fiber, provided that the washing process (at a temperature of 35°C) added Free enzyme or Biofilm (enzymes processed in the laboratory), as well It turns out to have a “high” value in workability and malleability for Huacaya variety fiber (same washing conditions) adding Free enzyme or Biofilm, it is concluded that the addition of lipases shows to have a better effect compared to a conventional wash.

Keywords: Fiber, alpaca, enzyme, lipases, washing.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la actualidad, en el país es importante impulsar el mejoramiento de los sistemas productivos, una herramienta para esto es profundizar en el conocimiento del desarrollo de la biotecnología para la producción de diferentes insumos y productos de origen biológico en reemplazo de los insumos químicos derivados de la industria del petróleo.

Por otro parte, en el sur del Perú, la crianza de alpacas es una actividad económica importante de los pobladores de esta zona de la sierra, la mayoría de los productores de esta fibra de alpaca se producen en sistemas de pastoreo extensivo, y por lo general con estilos de vida nómada, que en las épocas de lluvia por lo rudimentario de los cercos de crianza, estos animales ensucian su fibra por contacto de barro y estiércol de los propios animales, por lo que la calidad de la fibra se reduce y reflejándose en los bajos precios que recibe el productor por este defecto (fibra sucia), esta característica hace que esta actividad económica no sea muy rentable. El problema de la fibra sucia (una mezcla de fibra con barro, grasa y estiércol) presenta fluctuaciones en la calidad de la fibra, esto manifiesta un desafío que requiere una solución para su procesamiento posterior.

El proceso de lavado de la fibra de alpaca de manera convencional (solución de detergente) realizado a temperatura ambiente, no ayuda a eliminar totalmente las sustancias que no permiten elevar la calidad de fibra, es por ello que se pretende establecer un procedimiento de lavado a una temperatura establecida para solucionar este problema.

Debe entenderse que la fibra de alpaca posee una capa química (probablemente monocapa) de ácido graso en su superficie. Esta capa de ácido graso es responsable de la naturaleza hidrófoba de esta fibra y afecta el comportamiento del procesamiento, el rendimiento del acabado (teñido) y el uso final (estético) algunas propiedades como empuñadura, suavidad, contracción de lavado, etc. La eliminación de esta capa en el proceso de lavado de la fibra puede permitir el control de todas las propiedades de la superficie, por lo que es importante estudiar que en el lavado aparte de quitar la suciedad (barro, tierra y estiércol de animal) de la fibra se retire esta grasa, el uso de lipasas para



este efecto es de gran importancia y de encontrarse una buena performance de estas lipasas contribuiría a aumentar el valor comercial de la fibra de alpaca de los productores de la sierra sur del país.

De lo descrito anteriormente se formula las siguientes interrogantes:

1.2. Enunciado del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de las lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*)?

1.2.2. Problema Específicos

- ¿Se podrá caracterizar el tipo de suciedad de las fibra de alpaca (*Vicugna pacos*)?
- ¿Se podrá establecer un procedimiento de lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) usando lipasas?
- ¿Se podrá evaluar la calidad de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) luego del proceso del lavado con el uso de lipasas?

1.2.3. Justificación de la Investigación

En la Región de Apurímac, Provincia de Aymaraes específicamente en la comunidad de Iscahuaca el proceso de transformación de la fibra de alpaca se viene realizando de manera muy empírica, donde predomina el uso de la mala práctica de acopio, donde los productores venden a los acopiadores precios muy bajos por la fibra, esto por el simple hecho de que las fibras de alpaca presentan suciedad, también argumentan que la fibra de Aymaraes no cumple con los requisitos mínimos exigidos del mercado nacional e internacional.

También las condiciones de lavado de fibra de alpaca en esta zona es deficiente, debido al contexto en el que vive la población, ellos al no poder tener acceso a un lavado con detergentes especialmente formulados (detergentes industriales) que contienen componentes como lipasas termoestables y resistentes a un amplio rango de pH, surfactantes, compuestos tensioactivos; utilizan una metodología rústica de lavado, el cual al final del proceso obtienen fibras con mala calidad, es por esta característica que la presente investigación prueba el uso de lipasas combinadas con un detergentes comerciales, que estén al alcance del pequeño



productor y así posibilitar un lavado más tecnificado de la fibra de alpaca que a la post se obtengan mayores beneficios económicos por su actividad y consecuentemente tener mayores utilidades.

Si bien la venta de fibra de alpaca en forma de vellón por parte de los productores hacia los acopiadores genera un pequeño sustento económico en la población, esto no es suficiente. Lo que se pretende con esta investigación es liberar a los productores de la dependencia económica de los acopiadores de esta materia prima, y que se desarrolle la industria textil artesanal con el uso de esta fibra dentro de la comunidad, para ello el proceso de lavado y acceso a un detergente eficiente para lavar esta fibra es crucial. Esto en un primer paso ayudará a que la comunidad puede generar ventas en volúmenes altos a empresas grandes muy reconocidas a nivel nacional, principalmente ubicadas en la costa peruana (Arequipa, Tacna), es por ello que la fibra de alpaca además tendrá un valor agregado (lavado tecnificado), y esto asegurará costos de venta más elevados de lo normal, que en consecuencia dará mejores beneficios a la población.

El objetivo del proyecto no se limita a la satisfacción del cliente, sino que también pretende garantizar un mercado estable para los productores de fibra de alpaca de pequeña escala, incentivándolos a la crianza y que se desarrolle una actividad económica extra, que sería generar valor agregado a nivel textil de esta fibra y como segundo paso ya se deje de enviar paulatinamente la fibra producida en la región a otras regiones del país, donde las grandes corporaciones son las que más se benefician de esta actividad económica.

Debido a que la demanda de fibras es alto y es sabido que hoy en día la compra de fibras naturales especialmente la fibra de alpaca en los países europeos y asiáticos posee una tendencia positiva, es por ello que es importante mediante la ciencia, poder brindar las mejores condiciones para aprovechar esta oportunidad y estandarizarnos en el mercado de fibras.

El uso de lipasas en el lavado de fibra de alpaca, la mayor parte abarca estudios que tienen por finalidad establecer rendimientos de lavado, categorización, clasificación, etc. Lo que da realce a esta investigación es dar una opción más al



proceso (lavar con lipasa) y consecuentemente aumentar el valor agregado a la fibra de alpaca (mayor calidad) al finalizar todos los procesos de producción.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos de la Investigación

2.1.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad del uso de lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*).

2.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la suciedad de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*).
- Establecer un procedimiento de lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) utilizando lipasas.
- Determinar la calidad de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

2.2. Hipótesis de la investigación

2.2.1. Hipótesis general

Se podrá evaluar la efectividad del uso de lipasas en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*).

2.2.2. Hipótesis específicas

- Se podrá caracterizar la suciedad de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*).
- Se podrá establecer un procedimiento de lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) utilizando lipasas.
- Se podrá determinar la calidad de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.



2.3. Operacionalización de variables

Tabla 1 — Definición operacional de variables.

TIPO	DENOMINACIÓN	INDICADORES	ÍNDICES
VARIABLE INDEPENDIENTE	- Fibra de alpaca	Fibra de alpaca Suri y Huacaya	gr
	- Método de lavado	Cantidad de enzima usada	ml
		Temperatura de trabajo	°C
VARIABLE DEPENDIENTE	Performance del lavado.	Retiro de suciedad	%
	Luminosidad	Método CIE LAB	L, a, b
	Trabajabilidad	Nivel	Muy alto Alto Regular
	Maleabilidad	Nivel	Bajo Muy bajo



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1. Antecedentes de la investigación

- a) **Rosas (2012)**, realizó un estudio para su titulación como Ingeniero Textil, con la denominación: **“Estudio de las principales características de la fibra de alpaca grasienta y de las condiciones de su proceso de lavado”**, del cual tuvo como objetivos estudiar las principales características de fibra de alpaca grasienta para el proceso del lavado y las condiciones del lavado de diferentes calidades de fibra de alpaca sobre el porcentaje de grasas, el autor afirma que el estudio de las condiciones de lavado en el porcentaje de grasas se determinó a condiciones de planta. La media de los valores obtenidos en laboratorio para las calidades Baby (BL), Fleece (FS), Medium Fleece (MFS) y Huarizo (HZ) para el contenido de grasa fue; 2,42 %; 2,19 %; 1,75 % y 1,22 %, respectivamente. Para el apartado de condiciones de lavado en planta, se encontraron: con respecto al pH, el lavado a pH 8 (medio alcalino) en comparación a uno neutro, mejora la apariencia de la fibra lavada y disminuye el contenido de grasas de la fibra y que a pHs mayores a 8 se mantiene igual o disminuye minuciosamente el porcentaje de grasas y apariencia de la fibra lavada. Con respecto a la concentración de detergente, una dosificación mayor de 400:400:200 (ml / 30seg) para las calidades Baby (BL) y Médium Fleece (MFS), 300:300:150 (ml / 30seg) en calidades inferiores Huarizo (HZ) y Grueso (AG) en las tinas 2, 3 y 4 respectivamente, reduce levemente el contenido de grasas y no mejora la apariencia de la fibra lavada, mientras que una dosificación menor aumenta levemente del porcentaje de grasa y no mejora la apariencia de la fibra lavada. Con respecto a la temperatura, para las calidades BL, y MFS el lavado a 2 °C mayor a la establecida en planta, disminuye el contenido de grasas de la fibra lavada y mejora la apariencia, sin embargo para las calidades HZ y AG no tiene mayor efecto lavar a mayor temperatura. Concluye que cuando la finura de la fibra aumenta la grasa también incrementa, también que las mejores condiciones de lavado para esta planta, se da a un pH 8 para las calidades BL, MFS e inferiores y de 8,5 de pH para la calidad Suri.



b) **Ben Bacha et al (2016).** Dentro del departamento de bioquímica, facultad de ciencia, de la universidad de KING SAUD hicieron un estudio denominado “**Evaluación de un nuevo termoalcalino Lipasa de *Staphylococcus aureus* para aplicación en formulaciones de detergente**”, en este estudio se purificó una lipasa extracelular de una cepa ALA1 (SAL4) de *S. aureus* recién aislada del medio de cultivo optimizado. La actividad específica SAL4 determinada a 60°C y pH 12, utilizando emulsión de aceite de oliva y TC4, alcanzaron 7215 U / mg y 2484 U / mg, respectivamente. Los 38 aminoácidos con terminal NH₂ de la enzima purificada que comienza con dos residuos de aminoácidos adicionales (LK) era similar a las secuencias de lipasa estafilocócica conocidas. Esta nueva lipasa mantuvo casi el 100% y el 75% de su actividad total en un rango de pH de 4.0-12 después de una incubación de 24 horas o después 0,5 h de tratamiento a 70 °C, respectivamente. Curiosamente, SAL4 mostró una estabilidad apreciable hacia agentes oxidantes, tensioactivos aniónicos y no iónicos además de su compatibilidad con varios detergentes comerciales. En general, estas interesantes características hacen que esta nueva lipasa sea prometedora para su aplicación en la industria de los detergentes.

c) **Saldaña (2017).** En su trabajo de experiencia profesional denominado “**Categorización, Clasificación y Procesamiento Industrial de la fibra de alpaca**” desarrollado en el año 2010 en las instalaciones de la fábrica textil “Chachani” – actualmente de propiedad de COOPECAN Perú S.R.L., Cerro Colorado, Arequipa. Se llevó a cabo el procesamiento de fibra de alpaca de calidad "baby" proveniente del distrito de Cojata, ubicado en la región de Puno. El objetivo fue determinar los rendimientos en las diversas etapas del proceso industrial. En este sentido, se ha registrado detalladamente el proceso desde la recepción de la fibra grasienta hasta la obtención de fibra de alpaca de calidad superior. Según el análisis realizado para este estudio, se observó que la fibra proveniente de los criadores alcanzó rendimientos del 96,3%, 87,6%, 94,1% y 89,3% en las etapas de batido-apertura, lavado, cardado y peinado, respectivamente.

El autor explica que el proceso de lavado a nivel industrial se realizó en 5 tinajas. Se argumenta que la primera tina, con agua caliente, se utiliza para eliminar las impurezas sólidas, una gran parte de la suint, y una pequeña cantidad de grasas. Las tinajas segunda y tercera, con agua caliente y detergente, están diseñadas para penetrar en los espacios entre las fibras, los bordes de los sedimentos, los poros y las grietas de la superficie de la fibra, con el fin de eliminar los contaminantes mediante la emulsificación y la



disolución del detergente sobre la fibra; por último indica que la cuarta y quinta tina son exclusivamente para el enjuague, en este último paso de lavado se da con el propósito de retirar absolutamente todos los contaminantes de la fibra de alpaca. El investigador puntualiza que el proceso de lavado se da en recomendación de la bibliografía utilizada y argumenta que también está de acuerdo al criterio de la persona responsable del proceso, esto según a su experiencia y la literatura usada, en consecuencia señala que se generará una receta acorde para todo el proceso de lavado. Asimismo, durante el monitoreo de los procedimientos, se observó que al no agregar detergente en la primera tina de lavado, se logró una fibra lavada con un contenido graso del 0,35%. Durante las etapas de paralelización de la fibra, se registraron niveles de humedad entre el 11,39% y el 15,43% durante el cardado, entre el 12,9% y el 19,2% a lo largo de los pasajes o "gills", durante el proceso de peinado entre el 14,71% y el 17,37%, y los bumps con un 15,64% de humedad. El autor concluye que con la fibra de alpaca calidad "baby", se alcanza un rendimiento total del 70,84%. Además, señala que dependiendo de la procedencia, la fibra podría mostrar un rendimiento mayor, dado que se obtiene una fibra con un menor contenido de impurezas.

- d) **Pariona (2017)**, en su tesis de maestría con título “**Rendimientos de Categorización y Clasificación de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*)**” tuvo como objetivo evaluar los rendimientos y las características tecnológicas de los grupos de calidad de fibra de alpaca obtenidos en el proceso de clasificación. Los vellones provinieron de alpacas de majada de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco, muestreados durante la esquila de 2012. Indica que se tomaron al azar 40 vellones, 10 por cada grupo de categorización (Extrafino, Fino, Semifino y Grueso) de los que fueron clasificados de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 231.302:2004, obteniéndose 137 calidades. El autor detalla que se evaluó el rendimiento al clasificado y las características tecnológicas de longitud de mecha, rendimiento al lavado, diámetro de fibra, porcentaje de humedad, contenido de grasa residual y contenido de ceniza por cada grupo de calidad, siguiendo las normas IWTO-12, IWTO-19, ASTM D1576 - 12 y la Norma Técnica Peruana 231.302:2004.

El autor manifiesta que dentro de las características tecnológicas más importantes (básicamente en el rendimiento del lavado), para llegar a dicha característica es necesario centrarse en el proceso de lavado, además indica que tuvo como base el método IWTO-19 (desengrasado y remoción de materias extrañas) previendo las pérdidas de las fibras, este proceso se da a nivel industrial el cual utiliza 4 tanques (70



litros cada uno) a parámetros establecidos, conocido como lavadero de Leviatán. El primer tanque (solo agua a 50°C – 60°C) se utilizó para la remoción (por 3 minutos) de impurezas de la fibra de alpaca, después la muestra se pasó al segundo tanque (agua + 0.4% concentración de detergente a 50°C – 55°C) el cual fue agitado suavemente por un tiempo de 3 minutos, se escurrieron y se pasaron al tercer tanque (agua + 0.4% concentración de jabón industrial a 45°C – 50°C), también fue agitado suavemente por un tiempo de 3 minutos, por último el cuarto tanque (enjuagado) solo utilizo agua a temperatura ambiente y sin aditivos.

La investigación determina las diferencias entre grupos de calidad (Baby, Fleece, Medium Fleece, Huarizo y Gruesa) para cada característica tecnológica, mediante análisis de varianza y prueba de Duncan. Se encontraron diferencias entre calidades para la longitud de mecha (P0.05). Los resultados indican que la calidad Fleece y Medium Fleece se encuentra en mayor proporción en todas las categorías; la calidad Baby y Fleece presentan menores promedios de diámetro de fibra y mayores promedios de longitud de mecha, contenido de ceniza y contenido de grasa residual.

Se concluyó que el proceso de categorización y clasificación de fibra de alpaca permite identificar y separar fibras que brindan un mayor valor agregado al vellón, obteniendo mayores rendimientos por calidades, los cuales pueden generar un mayor beneficio económico a los productores.

- e) **Requena et al. (2019)**, desarrollaron una investigación denominado “**Rendimiento al lavado de la fibra clasificada de alpaca Huacaya (*Vicugna pacos*)**”, en este estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento al clasificado, su fiabilidad y el rendimiento al lavado de la fibra color blanco de alpaca Huacaya, producida en el Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos CIDCS – Lachocc – UNH. Se utilizó un total de 207 vellones de alpaca para realizar la clasificación, para el análisis de diámetro medio (DMF) y su desviación estándar (σ), finalmente 75 Kg para evaluar el rendimiento al lavado de las calidades superiores (super baby, baby, fleece).

El proceso del lavado (industrial) se desarrolló de manera muy especial, el cual se realizó en la lavadora Kiwi Scour auto Mk2 Stand alone v1.0. de 07 bandejas (07 etapas) cada una con un contenido de 70 litros con flujo continuo; donde se quitó las impurezas, grasas y suint de la fibra de alpaca. La primera bandeja solo utilizó agua a 39°C donde la fibra se agitó una vez, pasado a la bandeja 02 y 03 donde se concentraron detergentes industriales Helpasol 80ml y Sequion 60ml respectivamente, se agitaron 2 veces en cada etapa, para las bandejas 04, 05 y 06 con la misma



concentración de detergente se procedió a agitar y estrujarlos continuamente, ya para la última bandeja(enjuagado) solo se utilizó agua sin aditivos a una temperatura de 30°C se agito 2 veces y estrujo 1 vez, además se menciona que desde la etapa 01 hasta la etapa 04 se utilizó una temperatura de trabajo de 39°C, la etapa 05 una temperatura de 35°C y las dos últimas etapas se trabajaron a 30°C.

Los resultados para el rendimiento al lavado demostró que se encontró un rendimiento de 92.38 % para la calidad súper baby \pm 2.70 %, seguido de la calidad baby con un 94 % \pm 4.5 % y para la calidad fleece con un 91 % \pm 3.16 %, llegando a un promedio de 92.58 % de rendimiento al lavado. El trabajo concluye con que se obtuvo rendimientos altos en el lavado para las tres calidades de fibra de alpaca del CIDCS –Lachocc.

- f) **Freire (2021)**, en la ciudad de Riobamba – Ecuador, ejecutó un trabajo de titulación denominado **“Uso de detergente biodegradable más bicarbonato de sodio en el lavado de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*)”**, en su trabajo de investigación evaluó las características físico, mecánicas y sensoriales de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) variedad Huacaya, identificando el mejor proceso del lavado de la fibra, empleando detergente biodegradable y la aplicación de diferentes niveles de bicarbonato de sodio (50, 100 y 150 g), utilizó pruebas no paramétricas (sensorial), además de 3200g de muestra con 4 tratamientos T0=detergente comercial+0g de bicarbonato de sodio, T1=detergente biodegradable+50g de bicarbonato de sodio, T2=detergente biodegradable+100 g de bicarbonato de sodio, T3=detergente biodegradable+150 g de bicarbonato de sodio. Los resultados arrojaron que la variable propiedades físicas de la fibra determinaron una media de 31,34 μ m diámetro; 25,10cm de longitud de mecha sin estirar; 34,30cm de longitud de mecha estirada; 2,98cm de número de rizos, las variable sensorial para la fibra no presento diferencia significativa entre los tratamientos (brillantez, tacto, intensidad de blancura), la fibra de alpaca en el T3 determinó diferencias significativas para la variable sensorial (4,50 puntos), propiedades mecánicas de la fibra (porcentaje de elongación, resistencia a la tensión) no presentaron diferencias significativas. La investigación concluye que la adición de bicarbonato en el detergente biodegradable no presentó diferencias significativas.
- g) **Miranda (2022)**, en su trabajo de investigación para optar el doctorado en Ingeniería de Procesos, con título denominado: **“Efecto del diámetro medular en el teñido en fibras de alpaca Huacaya”**, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la medulación de fibras de alpaca en el teñido utilizando como colorante natural la



cochinilla (*Dactylopius coccus*), se tomaron 109 muestras de vellones entre las extremidades anteriores y el manto de alpacas Huacaya. La autora indica que en el proceso de lavado se empezó haciendo un acondicionamiento a la fibra de alpaca según al método descrito en IWTO-8-2011, la temperatura de lavado para las muestras fue en agua caliente a 60°C haciendo el uso del detergente industrial (TEXTOPON AS ECO) en proporción de 0.5g/ litro de agua, seguidamente se hizo el enjuague 4 veces con bastante agua a temperatura ambiente, se escurrió el agua excedente y se procedió a secar a temperatura ambiente. Las fibras secas se sumergieron en alcohol etílico al 96% para poder separar restos de grasa, luego se procedió a secar en estufa a 105°C por aprox. 30 min. Específicamente la investigación calculó el diámetro de fibra, el diámetro medular y el porcentaje de medulación, mediante el Analizador óptico del diámetro de fibras (OFDA) y microscopía óptica, luego se procedió al teñido con colorante natural que se obtuvo de la cochinilla (*Dactylopius coccus*) y se estableció parámetros de tiempo al teñido, la temperatura, el pH, la relación de baño, las cuales fueron constantes para este estudio. Se obtuvo un diámetro promedio de fibra y diámetro promedio medular de $27.537 \pm 1.52 \mu\text{m}$ y $10.15 \pm 1.45 \mu\text{m}$ respectivamente, así como un porcentaje de fibras medulas entre un rango de 42.56 al 83.65%. El trabajo concluye con la obtención de una muy buena y buena solidez o resistencia a la luz solar de las fibras teñidas por lo que las fibras teñidas son consideradas aceptables. El trabajo concluye que la solidez o resistencia a la luz solar de las fibras teñida es buena y muy buena, y además que las fibras se consideran aceptables.

3.2. Marco teórico

3.2.1. La alpaca (*Vicugna Pacos*)

La alpaca (*Vicugna pacos*) es un animal doméstico que forma parte de los camélidos sudamericanos, un aproximado del 80% de la población de esta especie está en manos de criadores pequeños en los andes del Perú, destaca por su capacidad para aprovechar eficientemente los pastos naturales de las regiones altoandinas (Quispe et al., 2009). Los productos derivados de esta especie, como la carne y la fibra, representan el principal sustento para las familias que se dedican a su crianza, convirtiéndose así en una actividad económica fundamental para las regiones andinas del Perú. Entre estos productos, la producción de fibra de alpaca ocupa un lugar destacado. Se estima que a nivel nacional existen aproximadamente 3'685,500 alpacas, de las cuales 219,113 se encuentran en la región de Apurímac y 108,497 en la provincia de Antabamba. (INEI – CENAGRO, 2012).



El principal producto que se obtiene de esta crianza, es la fibra, que son materiales naturales o manufacturados, elementos básicos de estructuras textiles, poseen inigualables cualidades y propiedades especiales muy apreciadas en el mercado textil mundial (**Bustinza, 2001**). Por otro lado la carne tiene un valor nutritivo similar o superior a otras carnes; desafortunadamente, aún no está debidamente aprovechada, además los subproductos como las pieles y cueros tienen múltiples aplicaciones, sobre todo en la industria artesanal. Las razas Huacaya y Suri presentan una gama de colores de fibra que van del blanco al negro pasando por los colores intermedios, existe una mayor demanda del mercado por la fibra blanca, de ahí que hay una tendencia al predominio de animales blancos en los rebaños por la selección orientada a esa característica; sin embargo, los colores naturales son cada vez más apreciados por la industria por lo que se impone la necesidad de preservar este material genético. La región Puno posee la mayor proporción de alpacas seguido por Cusco, Huancavelica y Arequipa, estando en relación con la extensión de las praderas alto andinas existentes. En cuanto a herencia de los colores, no se conoce a ciencia cierta el mecanismo de transmisión; hay una serie de hipótesis pero nada concreto hasta el momento. Se trata de una característica que parece cobrar cada vez mayor importancia por el interés de la industria en colores naturales. (**Ramos, 2018**)

3.2.1.1. El vellón de alpaca

El vellón de la alpaca es uno de los productos del animal más preciado en el mercado, está constituido por fibras finas y gruesas. La fibra fina se encuentra en la parte del lomo y los flancos del animal; mientras que las fibras gruesas se concentran mayormente en la región pectoral, extremidades y cara. El diámetro de la fibra de alpaca oscilará entre 18 y 33 micras, dependiendo a qué parte del cuerpo corresponde y a la edad del animal esquilado. La fibra de alpaca es suave al tacto y tiene un alto poder de higroscopicidad, que le permite absorber la humedad ambiental entre un 10% a 15%, no afectando su aspecto. Otra característica importante de la fibra de alpaca es su capacidad de mantener la temperatura corporal, independientemente de lo que ocurra en el medio ambiente externo; aunque cabe señalar que al elaborarse en tejidos, la fibra tiende a separarse, requiriéndose su combinación con otras fibras naturales como la lana o fibras sintéticas que tienen el efecto contrario. En cuanto a colores se refiere, será posible encontrar más de 16 colores en la fibra de alpaca, variando desde el blanco, las tonalidades cremas, tonos marrones,



colores plata, grises y el negro. (De Los Ríos, 2006)



Figura 1 — Variedad de colores de alpacas Huacayas. Tomado del Instituto Peruano de Alpaca y Camélidos

3.2.1.1.1. Delimitación de las partes del vellón

La figura 2 ilustra que el vellón consiste en áreas como la paleta, el costillar medio, el grupón y el muslo, las cuales muestran una mayor consistencia en cuanto a finura y longitud de la fibra. Por otro lado, las bragas comprenden las patas, la barriga y el cuello, las cuales son áreas más heterogéneas y variables en términos de características de la fibra. (De Los Ríos, 2006)



Figura 2 — Partes del vellón de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*). Tomado de la Guía técnica de Caracterización y Clasificación de fibra de alpaca (AGROBANCO 2012)

3.2.2. Fibra de alpaca (*Vicugna Pacos*)

La fibra está formada por queratina, una proteína producida por células en el folículo. La fibra de alpaca tiene diversas características que la hacen muy adecuada como materia prima para la industria textil. Es altamente flexible y suave al tacto, con una baja tendencia a inflamarse o afieltrarse, y es poco alergénica. Las prendas fabricadas con esta fibra son agradables a la vista, especialmente en abrigos, y muestran pliegues, apariencia, caída y brillo excepcionales, lo que les confiere una apariencia de nueva incluso después de un uso prolongado. En comparación con otras fibras como la vicuña, la fibra de alpaca destaca por su suavidad y una alta resistencia a la tracción, lo que es crucial en la fabricación de prendas textiles para evitar la formación de "neps" (aglomeraciones de fibras no deseadas). Esta resistencia a la tracción aumenta con la finura de la fibra, haciéndola ideal para procesos industriales. La fibra blanca de alpaca es fácilmente teñible, mientras que las fibras de colores naturales conservan su brillo natural. Además, su capacidad para absorber humedad del ambiente es baja (10 al 15%), lo que no afecta su apariencia. Gracias a su estructura especial, la suavidad de las prendas de alpaca es comparable a las prendas teñidas con aliso, que tienen un diámetro de fibra ligeramente menor. **(De Los Ríos, 2006)**

La relevancia económica de la crianza de alpacas radica en el valor que su fibra tiene en el mercado mundial debido a su alta calidad y finura. Promover el desarrollo de la fibra de alpaca es crucial, especialmente para mejorar las condiciones de vida de los campesinos que habitan en las regiones altoandinas. La fibra de alpaca se posiciona en el mercado internacional de fibras finas, compitiendo con otras como el mohair, el cashmere y el angora, todas ellas con una fuerte presencia en dicho mercado. **(De Los Ríos, 2006)**



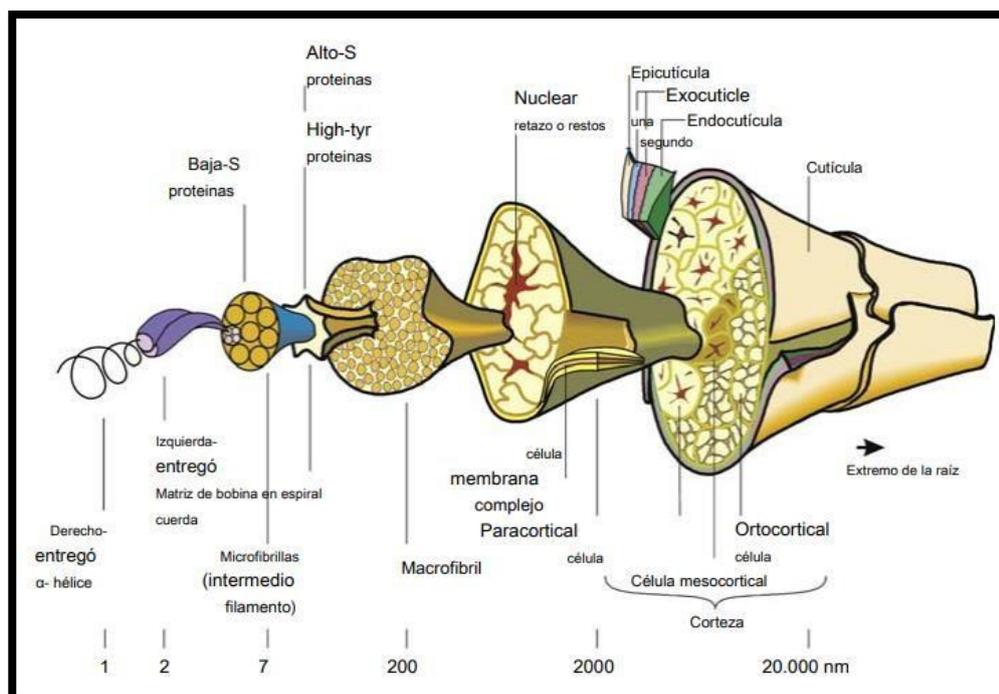


Figura 3 — Diagrama esquemático de la estructura de la fibra de alpaca (*Vicugna pacos*). Sacado de CSIRO Science Images (<http://www.scienceimage.csiro.au>).

3.2.2.1. Estructura de la fibra

3.2.2.1.1. Estructura química

Las fibras de las alpacas, como la lana, se componen principalmente de una proteína de queratina. Estas proteínas constan de 18 aminoácidos. Los ejemplos de la composición de aminoácidos de una variedad de fibras de animales raros se muestran en Tabla 2. **(Bunsell, 2018)**

La composición química la fibra del mohair y otras fibras raras, incluido el análisis de la grasa en vellones crudos. Si bien existe una gran similitud en la composición de aminoácidos entre estas fibras, también parece haber pequeñas diferencias entre estas fibras, lo cual no es sorprendente dado que crecen en animales muy diferentes y en diferentes entornos. Se han demostrado diferencias en la composición de aminoácidos de la cachemira relacionadas con el país de origen y varios aspectos de la dieta de las cabras. **(Bunsell, 2018).**

La composición química de la lana y probablemente de estas fibras de animales raros (alpaca, etc.) es típicamente: nitrógeno 16% - 17%; azufre 3,2% - 3,7%; ceniza 0.38% - 0.42%, que incluye calcio 0.09% - 0,12% y fósforo 0,017% - 0.023% y algunos indefinidas pequeñas cantidades de



sodio. El resto de la fibra es aproximadamente 27% de oxígeno, 47% de carbono e hidrógeno (Bunsell, 2018).

La gran cantidad de grupos polares presentes en las fibras de animales significa que tienen una fuerte afinidad por el agua. Muchos de los enlaces químicos entre los diferentes grupos laterales son interrumpidos por el agua. Como resultado, estas fibras de animales tienen propiedades que cambian con la humedad y el contenido de humedad.

Se utilizaron pruebas químicas para distinguir entre lana de oveja, alpaca, pelo de camello, cachemira y mohair. Estudió el contenido de cistina y ácido cisteico; solubilidad alcalina; solubilidad de urea- bisulfito; y el efecto de ácidos, álcalis y enzimas, concluyendo que las diferencias entre las fibras eran insignificantes. Muchas de las pruebas utilizadas no son muy sensibles y la interpretación de muchas de ellas suele ser difícil. (Bunsell, 2018)

Tabla 2 — Composición de aminoácidos (umol / g) de lana de cachemira, qiviut, alpaca y bisonte.

AMINOACIDO	FIBRA	CASHMERE			QIVIUT	ALPACA	BISONTE
		China	Irán	Australia	Canadá	Perú	Australia
Glicina		696	644	571	696	562	683
Alanina		482	472	472	506	448	520
Valina		443	432	433	457	430	453
Leucina		607	583	578	645	548	640
Isoleucina		256	259	261	266	232	274
Fenilalanina		233	223	219	230	235	219
Serina		903	843	836	873	771	849
Treonina		504	503	527	479	458	452
Tirosina		325	299	255	318	197	280
Acido aspártico		475	468	468	527	464	514
Acido glutámico		1207	1183	1189	1292	1189	1271
Lisina		219	214	210	232	192	242
Arginina		575	554	562	593	560	578
Histidina		72	68	70	74	69	71
Metionina		34	31	30	39	28	38
Cisteína		425	394	411	421	464	420
Prolina		692	688	715	616	735	595

Fuente: McGregor and Tucker (2010)

3.2.2.1.2. Lípidos y complejo de membrana celular

Las fibras de estos animales poseen una química (probablemente monocapa) de ácido graso en la superficie de la fibra. Esta capa es responsable de la naturaleza hidrofóbica de la fibra de los animales y afecta el comportamiento de procesamiento, rendimiento de acabado (teñido) y propiedades de uso final (estéticas) como el tacto, la suavidad, la contracción por lavado, etc. La eliminación de esta capa permite especificar y controlar todas las



propiedades superficiales.

Las fibras de animales pueden considerarse como un conjunto de cutículas y células corticales unidas por un "complejo de membrana celular"(CMC). El CMC constituye solo un pequeño porcentaje del peso de la fibra, pero es de gran importancia ya que controla o influye en la mayoría de las propiedades de la fibra. Las propiedades mecánicas como la resistencia a la abrasión o la vida útil dependen del CMC y debido a que el CMC constituye la única fase continua en la fibra, la difusión de colorantes y otros reactivos de procesamiento químico que se da a través de la fibra también ocurre gracias al CMC. La epicutícula se considera un componente de la CMC. **(Bunsell, 2018)**

También se analizaron lípidos de lana, mohair, alpaca, llama y pelo de conejo. La materia extraíble en la alpaca era más del doble que la de cualquier otra fibra de animal. **(Bunsell, 2018)**

3.2.2.2. Propiedades físicas

Las características físicas de las fibras de queratina están significativamente influenciadas por la cantidad de agua que absorben, tanto en la cutícula como en el resto de la fibra. El agua funciona como un plastificante al disminuir las interacciones entre los grupos ácidos y básicos mediante la ruptura de los puentes de hidrógeno, lo que suaviza la queratina. Sin embargo, los enlaces disulfuro evitan la disolución de la fibra y limitan considerablemente su suavización. **(Saldaña, 2017).**

Toda fibra de animal tiene una estructura compuesta física o morfológica similar. Las principales diferencias físicas ocurren en la forma y disposición de las células de la escala de la cutícula externa y la existencia de un núcleo central (médula) en muchas fibras de animales raros. Tanto la longitud de las escamas de la cutícula como la altura del borde de las escamas de la cutícula son importantes (Figura 4). La medulación también es una característica económica y de rendimiento importante del mohair, la cachemira, la alpaca, el angora y el yak. **(Bunsell, 2018)**



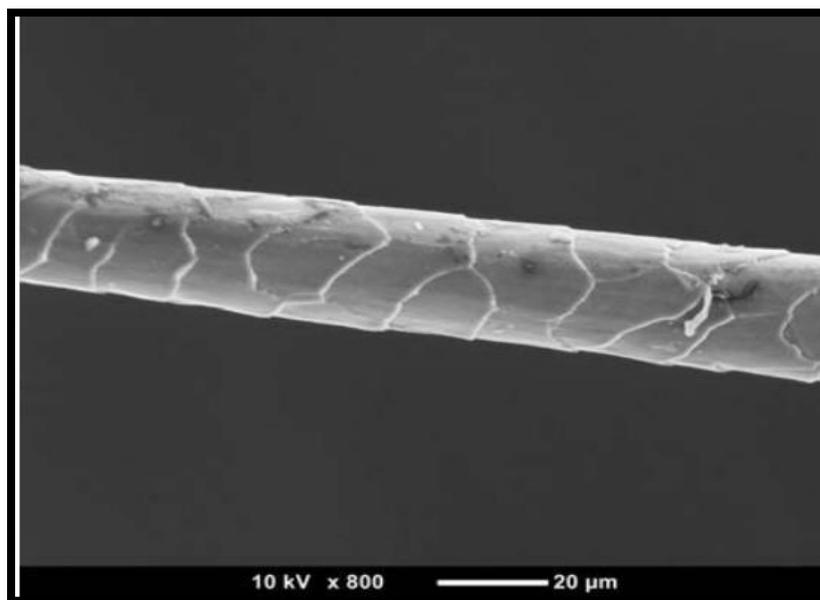


Figura 4 — Características superficiales de las escamas de la cutícula de la fibra de una cachemira. Tomado de McGregor and Tucker (2010)

- **Porcentaje de humedad**

La fibra de alpaca es suave al tacto y tiene un alto poder de higroscopicidad, que le permite absorber la humedad ambiental entre un 10% a 15%, no afectando su aspecto (MINAGRI, 2016). El contenido de humedad indica simplemente la cantidad de agua presente en la fibra de alpaca, A mayor contenido de humedad, la fibra tendrá mayor suavidad, lo que dará mayor flexibilidad en el proceso de cardado, ayudando a eliminar la materia vegetal (Carissoni, 2002, citado por Pariona, 2017). (Carpio, 1991 y Wang et al. 2003, citado por Pariona, 2017) indican que el contenido de humedad en la fibra de alpaca es de 12% y 14% respectivamente.

- **Higroscopicidad**

La higroscopicidad se refiere a la habilidad inherente de todas las fibras textiles para absorber y retener agua del entorno circundante y de retenerla de forma tenz. El poder higroscópico de la lana le permite absorber hasta un 30 % de humedad ambiente sin mojarse e impide la electricidad estática. Los poderes de absorción de humedad por la fibra de alpaca son similares a los de la lana. Se observó que la grasa o suarda actúa como una funda de la fibra, para protegerla e impedir la penetración de la humedad, se comprobó que una vez lavada, denota higroscopicidad con mayor intensidad. La tasa de humedad ha de tenerse muy en cuenta para determinaciones de la resistencia, elasticidad o



extensibilidad, ya que puede verse seriamente modificada, por lo que se ha de trabajar siempre con tasas normales de humedad. Por la misma razón y ante los aumentos de peso por absorción de agua en medios atmosféricos húmedos, la determinación del rendimiento ha de hacerse a una temperatura de 21°C y humedad relativa del ambiente del 65%. (Saldaña, 2017)

- **Impurezas de la fibra de alpaca**

Se indica que la lana típicamente contiene una combinación de grasas (secreciones de las glándulas sebáceas), suint (secreciones de las glándulas sudoríparas), impurezas orgánicas (como orina, excremento y materia orgánica del suelo), impurezas inorgánicas (como arcilla y arena), materia vegetal y agua. En el caso de la fibra de alpaca, se encuentran estas mismas impurezas pero en proporciones diferentes, presentando menos grasa y suint en comparación con la lana sucia. (Wang et al., 2003, citado por Saldaña, 2017). Para el lavado será indispensable conocer exactamente las impurezas que cuenta las fibras, puesto que esto nos ayudará en la remoción para dicho proceso.

3.2.2.3. Efectos de la intemperie e influencia de la estructura del vellón

La meteorización se refiere a la degradación de las fibras animales que se produce durante el crecimiento de exposición de las fibras de queratina a la luz solar, al agua y al aire. La intemperie provoca daño que reduce cantidades de lana que se cosechan, reduce la longitud tanto en crudo como en el procesado, reduce el rendimiento de hilado, da como resultado una lana más amarilla descolorida y reduce la calidad del teñido. Hay pocos informes sobre el daño causado por la intemperie de fibras naturales raras. a pesar de su producción en ambientes a menudo duros, por ejemplo, alpaca y vicuña del mesetas altas en América del Sur, o cachemira producida en regiones desérticas y superiores altitudes en Asia central. Una encuesta de 38 lotes de cachemira blanca depilada comercial y las cimbras mostraron que el grado de meteorización varió hasta seis veces (McGregor, 2016, citado por Bunsell, 2018). El aumento de la intemperie redujo la tenacidad y la extensión del paquete, aumentó el color amarillento y redujo la reflectancia de la cachemira blanca. Tenacidad de paquete de cachemira disminuyó a medida que la variabilidad del diámetro de la fibra aumentó del 20% al 22,5%. Estos efectos también variaron con el origen de la cachemira. Dado el



rango de tenacidad del paquete y el efecto similar de la meteorización y el coeficiente de variación del diámetro de la fibra en el haz tenacidad en la lana (Yang et al., 1996, citado por Bunsell, 2018), parece que la variación en la tenacidad del haz es probable ser un atributo físico importante de la cachemira comercial. En el mohair sudafricano, un vellón con una densidad de folículos de piel baja y una estructura de vellón similares a la de cabras de cachemira y alpaca Suri, el daño de la intemperie se extiende hasta las grapas y a la raíz básica (Louw y van Wyk, 1958, citado por Bunsell, 2018).

3.2.2.4. Calidad de la fibra

Las apreciaciones de calidad difieren entre procesadores y consumidores, dado que cada uno tiene criterios específicos según el uso que le den a la fibra de alpaca. Por ende, al establecer un estándar de calidad para la fibra producida, es esencial tomar en cuenta estas divergencias en las expectativas y requerimientos de ambos segmentos. (McGregor, 1997, mencionado por Frank, 2017):

- Desempeño: en relación con las características deseadas o requeridas.
- Conformidad: dentro de las especificaciones de las normas de producto.
- Estética: cómo se mira, cómo se siente un producto.
- Percepción: elemento intangible de cómo se percibe la calidad del producto.

Cuando los procesadores adquieren fibra cruda, su principal interés radica en el rendimiento respecto a las características necesarias y en la adherencia a las normativas establecidas. Los hilanderos presentan niveles de diferencia en desempeño y cumplimiento más elevados que los principales productores de fibra de alpaca. En cambio, los consumidores se centran únicamente en la estética y la percepción del producto final. (Frank, 2017)

- **Finura**

Cuando nos referimos a la calidad de la fibra, generalmente hablamos de su finura, la cual se define como la masa por unidad de densidad lineal del material; a mayor masa, mayor será la finura (Trejo, 2017). Es crucial tener en cuenta que una mayor finura de la fibra se traduce en un mayor confort de la prenda. La finura de la fibra está estrechamente relacionada con el diámetro medio de la fibra (MDF). Esta finura es evaluada en el sistema de categorización y clasificación de la fibra de alpaca en el Perú. Se utiliza el sentido del tacto como una herramienta subjetiva clave para clasificar la fibra de alpaca en diferentes calidades comerciales, ya que está altamente



correlacionado con diversas características físicas importantes. De hecho, el sentido del tacto se utiliza como el principal método de categorización y clasificación de la fibra de alpaca, y está incorporado en la normativa técnica del sector debido a la amplia experiencia en el país, además de resultar menos costoso que realizar análisis de laboratorio en todos los vellones que llegan a los depósitos.

Un estudio realizado en Australia confirma que la alpaca tiene una sensación táctil superior a la lana en aproximadamente 12 μm . Esto implica que una fibra de alpaca de 27 μm se siente tan suave como una de lana de 15 μm , debido a la estructura cuticular de la fibra de alpaca.

La evaluación de los aspectos tangibles de la fibra de alpaca variará según la etapa del proceso de industrialización o de la cadena de valor que queramos evaluar y mejorar. Algunos de los atributos más relevantes incluyen el diámetro medio de la fibra, el coeficiente de variabilidad, la longitud promedio, el índice de confort, el rendimiento al lavado, entre otros. (Saldaña, 2017)

- **Longitud de la fibra**

En los estudios de longitud de la fibra de alpaca en Perú, se encontraron medidas discontinuas de 12,6 cm para la variedad Huacaya y 16,8 cm para la variedad Suri (Condorena, 1985, citado por Frank, 2017). Un año más tarde, tras analizar las longitudes de fibra de diferentes grupos de colores de alpacas Huacaya, se concluyó que las fibras más largas correspondían a las de color blanco, con una longitud promedio de 10,4 cm, en contraste con los 9,4 cm de longitud promedio alcanzados por los otros grupos de colores. En alpacas provenientes de Nueva Zelanda, se registraron longitudes de fibra de $9,9 \pm 0,2$ cm, mientras que en alpacas de Australia se observaron medidas de $9,4 \pm 0,5$ cm y $7,7 \pm 0,7$ cm en dos años consecutivos de producción (1996 y 1997) (McGregor, 2002, mencionado por Frank, 2017). La longitud media de la fibra es el factor principal para determinar el tipo de procesamiento que se realizará con la fibra (Wang et al., 2003). Además, tanto la longitud de la fibra como la variación en el diámetro de la fibra afectan la calidad del vellón, ya que influyen en el proceso de hilado. Una longitud de fibra de alpaca de alrededor de 75 mm se considera ideal para el proceso de peinado (Frank, 2017).



• **Rendimiento al lavado**

Es la característica no técnica más relevante que indica la cantidad total de fibra disponible, también se considera como la relación resultante entre el peso de la muestra sucia y la muestra limpia y seca, ajustada a un 16% de humedad estándar (De Gea, 2004; citado por Rosas, 2011). La lana comúnmente contiene grasas (secreciones de las glándulas sebáceas), suint (secreciones de las glándulas sudoríparas), impurezas inorgánicas (arcilla y arena), impurezas orgánicas (orina, excremento, componentes orgánicos del suelo), materia vegetal y agua (Wood, 1985; citado por Rosas, 2011). La fibra de alpaca presenta las mismas impurezas, pero en proporciones diferentes; contiene menos grasa y suint (suarda) que la lana sucia (Wang et al., 2003, citado por Saldaña, 2017). En la Tabla 3 se especifican las impurezas totales presentes en la fibra de lana y alpaca.

Tabla 3 — Impurezas totales presentes en la fibra de lana y alpaca

CLASES DE IMPUREZAS	TIPOS DE IMPUREZAS	OBSERVACIONES	FORMAS DE REMOVER LAS IMPUREZAS
Naturales	Secreciones como: El sudor o Suint, las grasas o ceras.	Siempre están presentes en todo tipo de lana.	Mediante el lavado en baños acuosos u otras formas.
	Acreciones: Fibras Negras Kempes, etc. Pelos Canizos.	Impurezas características del animal, son fibras dañadas.	Mediante la clasificación de la fibra.
	Excreciones: Estiércol, orina, etc.	Siempre están presentes	Mediante la clasificación y lavado de la fibra.
Adquiridas	Origen animal: Insectos, bichos, (sarna, garrapata, piojo), etc.	-	Mediante el cardado.
	Origen vegetal: Restos de hojas, semillas, pajas, grama seca, etc.	Cogidos por el animal durante el pastoreo	Mediante el cardado, también carbonizado con ácido sulfúrico.
	Origen mineral: Tierra, polvo, arena, sales, etc.	Impurezas tomadas del medio ambiente.	Mediante el lavado, sacudido, etc.
Aplicadas	Brea, pintura, tizas, sellos, insecticidas, etc.	Para identificación como antisépticos.	Mediante la clasificación y lavado o descrudado.

Fuente: Tomada de (Saldaña, 2017)

Después del lavado, las fibras de alpaca experimentan una pérdida de peso mínima debido a su baja cantidad de polvo, materia vegetal, cera y grasa en comparación con la lana de ovino. En consecuencia, los vellones de alpaca contienen entre un 75% y un 82% de fibra, mientras que la lana de ovino



Merino tiene un 49% y las razas de cruza de ovino un 61% (Wang et al., 2003). Varios estudios, incluidos los de Wuliji et al. (2000), Aylan-Parker y McGregor (2002), McGregor (2006) y Lupton et al. (2006), han encontrado que el rendimiento al lavado oscila entre el 89% y el 95% (**citado por Saldaña, 2017**).

En el Perú, el rendimiento al lavado de muestras de fibras de alpaca de diversas regiones revela diferencias estadísticas entre regiones y también por clase (**Porras, 2011; citado por Saldaña, 2017**). Las variedades con mayor rendimiento fueron la alpaca huarizo (HZ) de la región Ayacucho y la alpaca gruesa (AG) de la región Pasco, con un 94.58% y un 94.14%, respectivamente. Para la calidad de alpaca "baby" (BL), los valores oscilan entre el 85.5% y el 91.87%. Estos resultados, que superan significativamente los mencionados anteriormente, concuerdan con los encontrados por **Trejo (1986) (citado por Saldaña, 2017)**.

- **Otras características**

En la alpaca y vicuña sus fibras presentan similitudes en su suavidad (**Xing et al., 2004**) y muestran una resistencia a la tracción considerablemente alta, con valores superiores a 40 N/ktex, lo cual es crucial en los procesos industriales (**Xungai et al., 2003, citado por Saldaña, 2017**). Estas fibras permiten, también, 23 mantener la temperatura corporal debido a contener “bolsillos” microscópicos de aire en la medula que posibilitan que los artículos confeccionados con alpaca puedan ser usados en un amplio rango de climas (**Schmid et al., 2006, Citado por Saldaña, 2017**).

3.2.2.5. Lavado de fibra de alpaca

El lavado de la fibra implica el proceso de utilizar agua caliente y detergente para eliminar tanto las impurezas naturales de la fibra, como la grasa y suintina, así como las impurezas adicionales como el polvo y la suciedad, seguido del secado. Después de este proceso, el nivel de contaminantes y el grado de afieltrado en la fibra pueden afectar negativamente la eficacia de las operaciones subsiguientes, especialmente durante el cardado. Por lo tanto, los objetivos del lavado incluyen lograr una eliminación de contaminantes de hasta el 40% del peso inicial y minimizar cualquier daño a la fibra. Los mismos objetivos que se aplican al lavado de la lana son igualmente aplicables a la fibra de alpaca. (**Wang et al.,**



2003, Citado por Saldaña, 2017). Durante el lavado se produce la primera transformación de la fibra, ya que su aspecto cambia totalmente y además se agregan los primeros agentes químicos del proceso. Por su parte, Rosas (2012) afirma que el lavado se realiza generalmente en 5 tinas. La función principal de la primera tina es la de eliminar impurezas sólidas, una gran proporción de suint y una pequeña proporción de grasas con agua caliente. La segunda y tercera tina son tinas de lavado con detergente en agua caliente, para penetrar en los intersticios y bordes de los sedimentos de las fibras, poros y hendiduras de la superficie de la fibra, removiendo contaminantes mediante la disolución y emulsificación. Las dos últimas tinas son de enjuague, aquí se terminan de eliminar los contaminantes. Las condiciones de lavado de fibra de alpaca son menos drásticas que los de la lana, esto debido a su menor contenido de impurezas.

El manejo de detergentes variará según el tipo de material, la combinación de los lotes, la especie, la calidad del material, entre otros factores. Un experto en lavado, basándose en la experiencia y la literatura disponible, desarrollará una receta específica para el proceso. Un ejemplo de las condiciones de lavado para la fibra de alpaca se presenta en la Tabla 4, según Antúñez et al. (1996, citado por Saldaña, 2017).

Tabla 4 — Recomendación para el lavado de la fibra de alpaca y llama

Condiciones	Tina 1	Tina 2	Tina 3	Tina 4	Tina 5
Temperatura (°C)	45	50	45	35	24
pH	9.5	9.0	8.5	8.5	7.5
Carbonato (%)	0.5	0.5	0.5	-	-
Detergente (%)	0.4	0.2	0.2	-	-

Fuente: Tomada de (Saldaña, 2017)

3.2.3. Lipasas

3.2.3.1. Enzimas lipasas

Las lipasas son el conjunto más significativo de enzimas en términos de biocatalizadores biotecnológicos (Moreno, 2015). Bajo condiciones hidrolíticas inversas, las lipasas demuestran su capacidad para catalizar una variedad de reacciones que incluyen esterificación, transesterificación,



polimerización y lactonización. Son altamente selectivas y operan en condiciones manejables. Las transformaciones mediadas por lipasas han permitido la síntesis de una amplia gama de productos naturales, fármacos, productos químicos especializados, ingredientes alimentarios y biolubricantes (Sharma CB, et al. (2001)). El uso de lipasas se justifica principalmente por el creciente interés y la demanda de producción de productos utilizando sistemas de medios naturales. Las lipasas se consideran enzimas con un gran potencial comercial debido a su versatilidad en la aplicación. La esterificación catalizada por lipasas en disolventes orgánicos plantea desafíos que, si se superan con éxito, pueden conducir a la generación de varios compuestos (Naranjo, 2015).

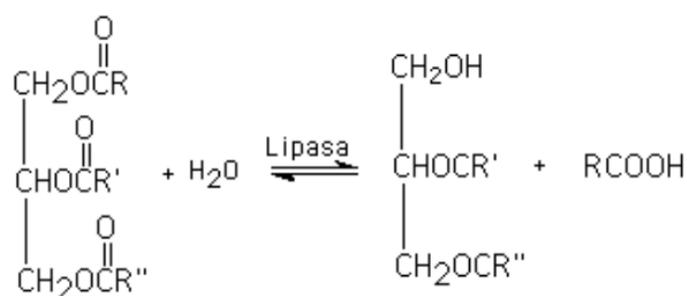


Figura 5 — Hidrolisis de la lipasa. Tomado de (kizzurblood, 2017)

Las lipasas son hidrolasas que catalizan la hidrólisis de triacilglicerol en glicerol y en ácidos grasos. En los eucariotas, las lipasas están en diversas etapas del metabolismo de los lípidos, incluidas la digestión de las grasas, absorción, reconstitución y lipoproteína metabolismo. En las plantas, las lipasas son tejidos de reserva de energía. Las lipasas contienen un hidrófobo corto de oligopeptido, que cubre la entrada su sitio activo que requiere activación interfacial en la interfase lípido-agua. (Naranjo, 2015)

Esta pequeña fase helicoidal termina en presencia de hidrófobos interfaces, debido al cambio conformacional de lipasas que adquieren una estructura abierta en la que los residuos del sitio activo se vuelven accesibles a los sustratos. (Publmed.gov, 1991, citado por Paz y Garcia 2017)

Sin embargo, en ausencia de interfaces, la tapa cubre el sitio activo, haciéndolo inaccesible a sustratos (Publmed.gov, 1991, citado por Paz y Garcia 2017). La catálisis llevada a cabo por lipasas implica un gradiente de concentración lineal del sustrato en la interfaz, la orientación de la ruptura de un enlace éster, la reducción de la fase microacuosa alrededor de las



moléculas de éster del sustrato y el cambio conformacional de la enzima.
(Norin, et al, 1994, citado por Paz y Garcia 2017)

3.2.3.2. Aplicaciones de las lipasas

Las lipasas encuentran inmensas aplicaciones en los alimentos modificación, formulación detergente, cosmética, farmacéutica, industrias del cuero, textil y papel, biodiésel y biopolímero producción o pre-tratamiento de aguas residuales ricas en lípidos (Sharma et al., 2001). Entre las lipasas que se encuentran en animales, plantas y microorganismos, las lipasas microbianas son más atractivos por su versatilidad y facilidad de producción en masa.

(Hasan et al., 2006; Horchani et al., 2012; citado por Paz y Garcia 2017). La principal aplicación comercial de las lipasas es su incorporación a los detergentes utilizados en lavadoras industriales y lavavajillas domésticos para eliminar las manchas que contienen grasa (Jaeger y Reetz, 1998; citado por Paz y Garcia 2017) y, por tanto, las lipasas en detergentes contribuyen con casi el 32% de las ventas totales de lipasa. Además de esto, las lipasas detergentes se están volviendo cada vez más populares debido a su uso cada vez mayor en la lavadora, donde imparte suavidad y elasticidad a las telas, se dispersan fácilmente en agua y son suaves para los ojos y la piel (Bajpai y Tyagi, 2007; citado por Paz y Garcia 2017). Sin embargo, muy pocas lipasas como la lipolasa de cepas recombinantes de *Aspergillus Oryzae* y Lumafast de *Pseudomonas sp.* expresado en *Bacilo sp.* (Hasan y col., 2010; citado por Paz y Garcia 2017) se utilizan como detergente lipasas a gran escala y muchas más están en la pista para comercializarse. Los requisitos necesarios para la aplicación de lipasa en la formulación de detergente incluyen amplias especificaciones de sustrato, actividad, estabilidad a alta temperatura, pH alcalino y compatibilidad con diferentes componentes en detergentes, incluidos iones metálicos, tensioactivos y oxidantes (Hasan y col., 2006; Liu et al., 2009 ; Grbavci et al., 2011; citado por Paz y Garcia 2017).

Debido a la capacidad de las lipasas para soportar disolventes orgánicos en la mezcla de reacción, estas enzimas se sitúan en una posición prometedora en el procesamiento químico orgánico, (Divakar, 2013; citado por Paz y Garcia 2017) formulaciones de detergentes (Bochum, 1988; citado por Paz y Garcia 2017), síntesis de biosurfactantes, la industria oleoquímica, (Undurraga et al., 2001; citado por Paz y Garcia 2017), la industria láctea, la fabricación de papel (Bochum, 1988; citado por Paz y Garcia 2017) la medición edición de la



actividad enzimática, nutrición (Pabai et al. 1995a, b; Undurraga et al. 2001; citado por Paz y Garcia 2017) y cosméticos y procesamiento farmacéutico (Sharma, 2001). Y otras actividades biotecnológicas aplicaciones de lipasas se muestran en la Tabla 5 (Divakar, 2013, citado por Paz y Garcia 2017).

Tabla 5 — Aplicaciones de las lipasas

Industria	Acción	Producto de aplicación
Detergentes	· Hidrolisis de grasas	· Eliminación de manchas de aceite en tejidos
Bebidas	· Aromas mejorados	· Bebidas
Alimentos	· Mejora del sabor y alargamiento de la vida útil · Mejora de la calidad, transesterificación · Desarrollo de sabor y eliminación de grasas · Transesterificación · Mejora de la calidad	· Productos de panadería · Mayonesa y aderezos. · Carne y productos de la pesca · Alimentos saludables · Mayonesa, aderezo y batido
Grasas y aceites	· La hidrólisis de la grasa láctea, la maduración del queso, · Modificación de la grasa de mantequilla · Transesterificación, hidrólisis	· Desarrollo de agentes aromatizantes en la leche, · Queso y mantequilla · Manteca de cacao, margarina, ácidos grasos, glicerol, · Mono y diglicéridos
Productos químicos	· Enantioselectivo, síntesis · Síntesis e hidrólisis	· Bloques de construcción quirales y productos químicos · Eliminación de agentes de limpieza como tensoactivos
Productos cosméticos	Síntesis	· Emulsionantes, hidratantes
Cuero	Ablandamiento del cuero	Productos de cuero
Papel	Blanqueamiento del papel	Papel con calidad mejorada mediante la eliminación de cera
Productos farmacéuticos	Transesterificación, hidrólisis	Lípidos especiales, ayudas digestivas

Fuente: Tomada de Paz y García, referencia (Divakar, 2013).



- **Aplicaciones biotecnológicas de las lipasas**

Hoy en día los procesos desarrollados en la industria que son catalizados por enzimas son mucho más numerosos, debido a que presentan una serie de ventajas frente a los catalizadores no biológicos convencionales. Las lipasas microbianas constituyen uno de los grupos más importantes de biocatálisis por sus amplias e importantes aplicaciones en la industria alimentaria, como la producción de grasas con propiedades físicas y químicas deseables, además de contener una baja proporción de grasas trans en el producto final, a diferencia de los procesos de hidrogenación y transesterificación química. Estas enzimas catalizan una amplia variedad de reacciones como la hidrólisis parcial o total de triacilglicéridos y reacciones de esterificación, transesterificación e interesterificación de los lípidos en medios no acuosos. El interés en la producción biotecnológica de las lipasas radica en sus diversas aplicaciones como aditivos alimentarios en la modificación del sabor, síntesis de ésteres con una importante actividad antioxidante, hidrólisis de grasas para la fabricación de detergentes, tratamiento de aguas residuales específicamente en la degradación y remoción de sustratos grasos (aceitosos), eliminación de lípidos y aceites en la industria cosmética y farmacéutica, así como en el tratamiento de los cueros en la industria marroquinera. Así mismo, recientemente gracias a su capacidad para llevar a cabo reacciones de transesterificación las lipasas han adquirido un papel muy importante en la producción de biocombustibles, como resultado de la creciente demanda mundial en el uso de energía renovable. A pesar de las grandes ventajas que representa la aplicación de las lipasas en diferentes tipos de industrias, frecuentemente sus altos costos de producción limitan su uso. Por ello, la investigación se ha enfocado en la búsqueda y utilización de diferentes microorganismos y sustratos que permitan obtener a escala industrial estas enzimas utilizando condiciones de operación que faciliten la reducción de los costos de producción y se convierta en un proceso biotecnológico económicamente viable. Lo anterior puede lograrse con el empleo de sustratos económicos considerados como un desecho como son los residuos agroindustriales. (Aceves et al, 2012)

- **Las enzimas en los detergentes**

El uso de enzimas como aditivos en detergentes genera una potencialización del factor de limpieza del detergente sobre un material. Por ejemplo, la adición de



la enzima proteasa a un detergente en condiciones de pH y temperatura óptimas ayuda a la liberación de material proteico contenido en las manchas que se desean remover. En la figura 6, se observa algunos tipos de enzimas y como estas ayudan a la limpieza de un material.

Enzima	Actividad	Usos
Proteasas	Catalizan la hidrólisis de proteínas hacia los aminoácidos que los componen.	Remueven proteínas, elimina el detritus de base proteica (sangre, esputos, mucosidad).
Amilasas	Hidrolizan los enlaces alfa-glucósidos de almidones, para la formación de azúcares simples.	Se utilizan para eliminar residuos de almidón.
Lipasas	Hidrolizan el triglicerol a glicerol.	Remueve grasas.
Celulasas	Hidrolizan los enlaces beta-1,4 glucosa en dextrinas hidrosolubles.	Descompone la celulosa, transformándola en múltiples monómeros de glucosa.

Figura 6 — Efecto de limpieza causado por diferentes enzimas. Tomado de (García y Montoya, 2017)

- **Importancia de las enzimas en los detergentes**

Las proteasas alcalinas microbianas dominan el mercado de las enzimas en la industria de los detergentes. Estas proteasas añadidas a los detergentes ayudan a la liberación de material proteico de las manchas. Además, permiten temperaturas de lavado menores y períodos cortos de agitación, después del periodo de enjuagado. (García y Montoya, 2017)



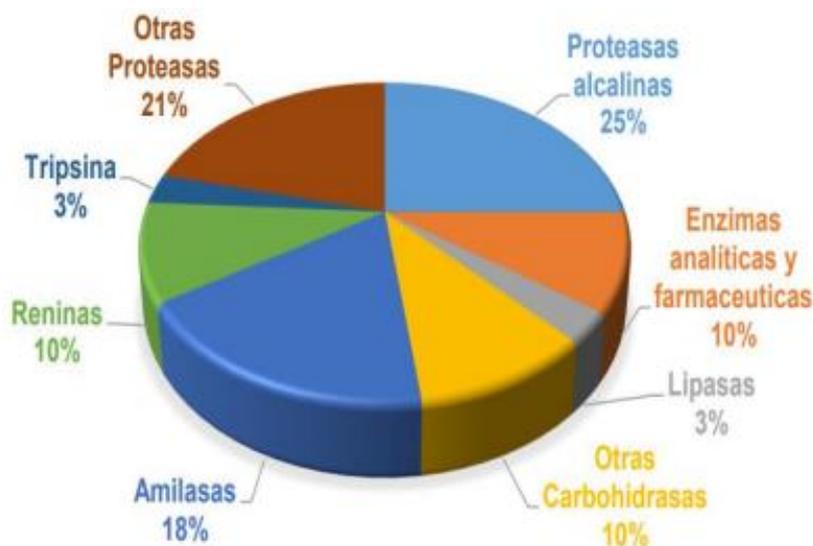


Figura 7 — Tipos de enzimas y porcentajes de uso en diferentes industrias. Tomado de (García y Montoya, 2017)

3.2.4. Espectrofotómetro de Absorción Infrarrojo (FTIR)

La Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) se ha establecido como una herramienta efectiva para el análisis químico de materiales biológicos (Berthomieu y Hienerwadel, 2009; Baker et al., 2014). Esta técnica ofrece un método rápido, económico y no invasivo para obtener información sobre las características químicas de una muestra biológica. Facilita la identificación de los grupos funcionales y enlaces químicos principales, lo que permite obtener información sobre los compuestos bioquímicos presentes en la muestra. (Ribeiro da Luz, 2006; Talari et al., 2017). El análisis espectral de especímenes de la misma especie permite evaluar la variabilidad en sus perfiles químicos. Posteriormente, la espectroscopia FTIR parece ser una buena herramienta para analizar variaciones en las proporciones de los principales compuestos orgánicos no solo entre especies, sino también entre especímenes (de la misma especie) que crecen en diferentes condiciones ambientales. Estos hallazgos, así como las características antes mencionadas de dicho método de medición (rápido, sin costo, no altamente invasivo), alientan fuertemente la aplicación de la espectroscopía FTIR como un método creíble y herramienta eficiente en el campo de las ciencias naturales, médicas y agrícolas. Por ejemplo, podemos observar una aplicación cada vez más extendida de la espectroscopia infrarroja (IR) en los estudios de respuesta de la planta a factores ambientales (por ejemplo, (i) aumento de la fertilidad del suelo (Euring et al., 2012), el impacto de los metales pesados

(Usman et al., 2019) y el impacto del estrés hídrico y térmico (Buitrago et al., 2016)); identificación y clasificación de plantas (Ribeiro da Luz, 2006; Traoré et al., 2018) (ii) propiedades farmacéuticas de las plantas (Ashokkumar y Ramaswamy, 2014) y (iii) calidad de los cereales en grano o frutas (Bureau et al., 2019); enfermedades y patógenos de los cultivos (Sankaran et al., 2013).

En el análisis FTIR, la calidad de los espectros obtenidos depende de la selección adecuada de técnicas de muestreo y métodos de preparación de muestras, donde la preparación de una muestra también incluye el método de almacenamiento de material. Este trabajo está dedicado al ATR (Atenuado Total Reflectancia) técnica de reflexión espectroscópica, que se basa en la reflectancia interna (total). En esta técnica, la calidad de la medición depende en gran medida del contacto directo entre la muestra y el ATR superficie cristalina. Por tanto, en el caso de sólidos o polvos, las muestras deben sujetarse mediante manómetros. La calidad de los espectros, en este caso, dependerá en gran medida de la carga aerodinámica aplicada (Smith, 2011)

La espectroscopia, tanto FTIR como NUV / VIS / NIR (casi ultravioleta / visible / infrarrojo cercano) son métodos alternativos potenciales para adquirir información cualitativa y cuantitativa sobre la mineralogía de la muestra. La espectroscopia se puede utilizar para identificar materiales amorfos o poco cristalinos. En comparación con la XRD (Difracción de rayos X), la espectroscopia es relativamente rápida y tarda unos 2 minutos por análisis. Además, en comparación con un difractor de rayos X, un FTIR es económico, cuesta alrededor de \$ 40 000 y es más sensible a los carbonatos. En este estudio usamos FTIR para identificar dolomita. Sin embargo, la dolomita es solo uno de los muchos minerales que pueden identificarse por FTIR. (Smith, 2011)

3.2.4.1. Espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en minerales

Los espectros FTIR de minerales muestran rasgos característicos, generalmente rasgos de absorción, que pueden relacionarse cualitativamente con variaciones en los minerales constituyentes. Las características de absorción resultan de la detección de oscilaciones reticulares y/o modos vibratorios de grupos moleculares. La identificación cualitativa del mineral es posible porque los minerales tienen bandas de absorción características en el rango medio del infrarrojo, números de onda de 4000 a 400 cm^{-1} . El análisis cuantitativo con un FTIR también es posible porque en mezclas



simples de dos componentes, los tamaños de las características de absorbancia son proporcionales a la concentración de cada componente según la ley de Beer (Junfeng et al., 2013). Sin embargo, el espectro de una muestra natural contiene muchos componentes y es significativamente más dificultoso para extraer resultados cuantitativos. Aunque todavía se basa en la ley de Beer, la absorbancia a una longitud de onda específica es la suma de la absorbancia de todos los componentes de la muestra que absorben en esa longitud de onda. Si las absorbancias se superponen, pueden ser necesarios algoritmos de desmezcla como PLS (regresión de mínimos cuadrados parciales), PCR (regresión de componentes principales) o análisis factorial (Junfeng et al., 2013). Este "efecto de matriz o de fondo" también es un factor importante en la descomposición de los espectros de rayos X. (Para una introducción básica a FTIR, se remite al lector (Junfeng et al., 2013).

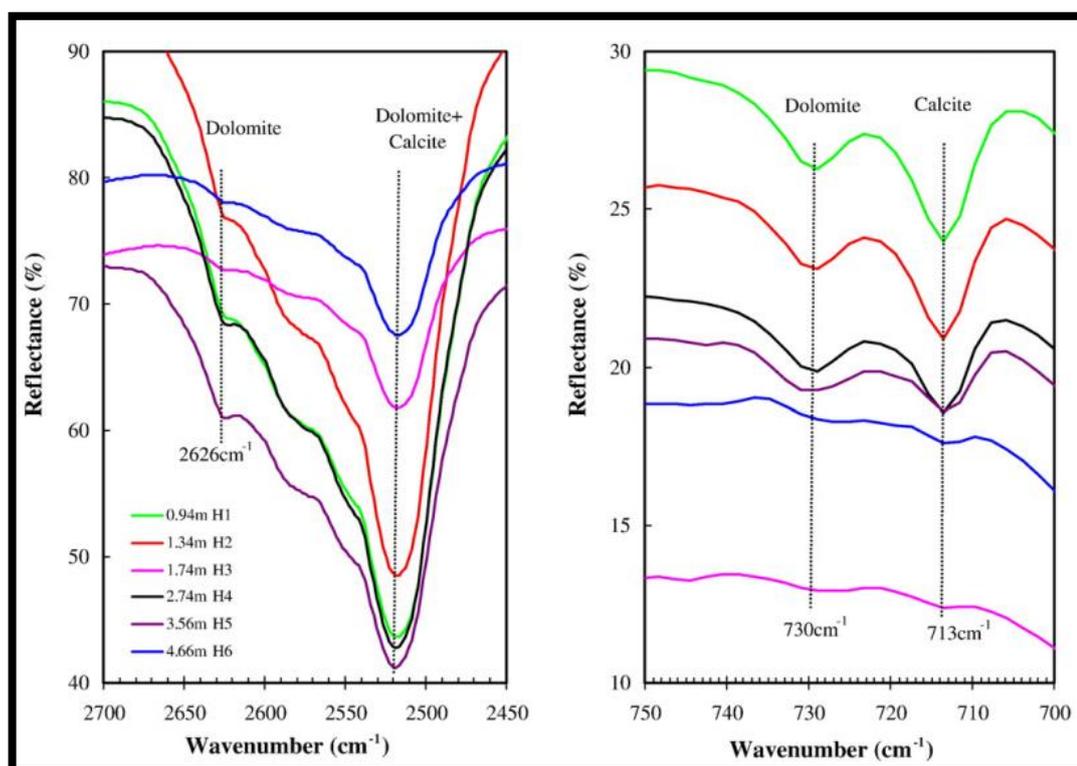


Figura 8 — Espectros FTIR de las capas H1 de Heinrich-H6 del sitio U1308, que muestra las dos características de absorción FTIR de diagnóstico de dolomita a 2626 cm^{-1} y 730 cm^{-1} para diferentes eventos H. Tomada de (Junfeng et al., 2013).



3.2.5. Colorimetría

3.2.5.1. Colorimetría en fibra de alpaca

Entre las fibras de animales, la alpaca es la que se presenta en más tonalidades de colores naturales que cualquier otro ganado productor de fibras. Hay hasta 22 colores naturales diferentes de Alpaca que van del blanco al negro e incluyen diferentes tonos de marrones y grises (**Morante et al., 2009**).

Aunque la percepción del ojo humano puede agrupar 22 colores diferentes en la fibra de alpaca, se recomienda agrupar animales en solo nueve colores básicos: blanco, intensidad del leonado claro X, Y o Z (LFX, LFY, LFZ), marrón claro, oscuro marrón, marrón oscuro negro, negro y gris (**Cruz, 2017**).

Dado que la percepción del color tiene componentes físicos y psicológicos según lo establecido por la Comisión Internacional de Iluminación, es necesario considerar estos factores que influyen en el observador a la hora de asignar un color de pelaje en las alpacas.

Hetrick y col. (2013) Explica que una forma de calificación visual subjetiva del color se utiliza para la asignación de color y esta percepción se correlaciona con la medición instrumental, que utiliza el espacio tridimensional del color vertiendo valores de luminosidad (L^*), eje rojo / verde (a^*), eje amarillo / azul (B^*). A partir de estos valores (L^* , a^* y B^*), la percepción de la apariencia del color responde a modelos matemáticos para comprender mejor las magnitudes, denotado como un "modelo de apariencia del color" (**Fairchild, 2005**). Entre los modelos comunes utilizados para describir el color, tenemos el tono, el valor de croma y la diferencia de colorímetro (**Hetrick y col., 2013**).

Los primeros avances con respecto a la influencia del color en los rasgos de la fibra fueron reportados por (**Cruz et al., 2017**), este trabajo complementaría la investigación realizada sobre la producción de fibra en colores naturales con características textiles, el objetivo planteado fue la producción de fibra (**Gutierrez et al., 2011; Cruz et al., 2017**) y reducir el porcentaje de medulación como posible causa de prurito (**Pinares et al., 2018 y 2019; Cruz et al., 2017**). Por lo tanto, este estudio abordaría la posibilidad de implementar un programa de mejoramiento genético con el objetivo de reducir el diámetro de la fibra y el porcentaje de medulación



bajo la definición incompleta de los colores naturales de la fibra de alpaca. Los valores del espacio tridimensional como L^* , a^* , b^* y C_{ab}^* , h_{ab}^* , ΔE se calcularon según lo descrito por **Martínez (2011)**, donde, bajo el espacio de color tridimensional, L^* describe la ligereza, a^* describe la saturación de color de rojo a verde y b^* describe saturación de color de amarillo a azul. Conceptos para describir la apariencia del color a partir de los valores del espacio tridimensional donde: Chroma (C_{ab}^*) es el color de un área juzgada en proporción a la brillo de un área iluminada de manera similar que parece blanca o muy transmisiva; la ecuación es $C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$. El tono (h_{ab}^*) es el atributo de una sensación visual según el cual un área se asemeja a uno de los colores percibidos denotados como rojo, amarillo, verde, y azul, o una combinación de ellos; la ecuación es $h_{ab}^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$. La diferencia de color (ΔE) se expresa como el relativo distancia entre dos puntos de referencia, y la ecuación es $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ (**Martínez, 2011**).

3.2.5.2. Colorímetro PCE – CSM7

El colorímetro PCE – CSM7 portátil es un instrumento versátil. Permite medir diferentes parámetros. Al encender el colorímetro PCE – CSM7 portátil, este realiza una calibración automática en blanco y negro. Presenta un diseño ergonómico y tiene una interfaz de usuario sencilla. Al tener una baja incertidumbre en la medida, este medidor de color es adecuado para el uso profesional y facilita considerablemente el trabajo de productores y otros usuarios. Las empresas de producción son conscientes que la calidad de sus productos debe permanecer constante. En controles de calidad el colorímetro PCE – CSM7 portátil ofrece la mejor fiabilidad, cuando se trata de cumplir y observar las exigencias ópticas. En la producción de elevadas cantidades, es necesario que todos los productos presenten la misma óptica. El colorímetro PCE – CSM7 portátil cubre un amplio rango de colores para las mediciones. El aparato es capaz de transferir los datos medidos a un software, que ayuda posteriormente al usuario en la valoración de una serie de mediciones. (**Martínez, 2011**)

Características

- Acumulador ion-litio recargable



- Calibración automática en blanco y negro
- Rendimiento estable
- Grado de blanco
- Medición de diferentes colores
- Aplicación en muchas superficies
- Uso sencillo
- Tiene grado de amarillez

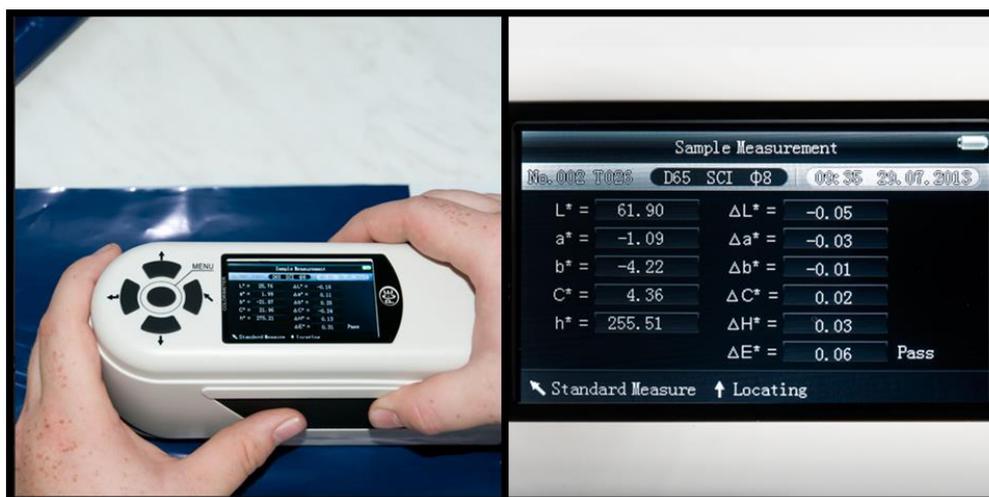


Figura 9 — Colorímetro PCE – CSM7. Tomada de Manual técnico de uso del Colorímetro PCE – CSM7

3.3. Marco conceptual

a) Fibra

Filamento de origen natural, artificial o sintético, apto para ser hilado y tejido, que generalmente presenta gran finura y buena flexibilidad.

b) Alpaca

Mamífero rumiante parecido a la llama, pero de unos 90 cm de altura en la cruz, de pelo rizado muy largo y fino, generalmente blanco o gris; habita en los Andes, donde se cría en rebaños para aprovechar su lana y su carne.

c) Lavado

Limpiar una cosa mojándola o empapándola con agua u otro líquido.

d) Lipasa

Es una proteína (enzima) secretada por el páncreas dentro del intestino delgado. Ayuda a que el cuerpo absorba la grasa descomponiéndola en ácidos grasos.

e) Enzima

Una enzima es una molécula que actúa como catalizador biológico, acelerando la velocidad de reacciones químicas específicas en los organismos vivos.

f) Concentración

La concentración se refiere a la proporción en la que se encuentran las sustancias disueltas (solute) en relación con una o varias sustancias disolventes (solvente).

g) Detergentes

Son productos de limpieza que tienen la propiedad de disolver la mugre mediante un agente limpiador (agente surfactante); envuelven la suciedad y ayudan a eliminarla.

h) Vellón

Conjunto de fibras finas y gruesa de alpaca que se le quita posterior a la esquila.

i) Temperatura

Es una magnitud referida a las nociones de calor el cual puede ser medido haciendo uso de un termómetro. Es un parámetro físico importante, este parámetro incide positivamente o negativamente en la actividad biológica en general.

j) Titanatos Inorganicos

Son compuestos químicos que contienen titanio (Ti) y oxígeno (O), junto con otros elementos. Estos compuestos a menudo se encuentran en forma de sales, y están presentes en varios tipos de arcilla.

k) Enzima Libre

Es un tipo de enzima (lipasa) cuya función es romper enlaces de lípidos, estos se encuentra en solución acuosa. Se obtiene en laboratorio a partir del cultivo llamado: cultivo sumergido.

l) Enzima Biopelícula

Son enzimas lipasas obtenidas en laboratorio, estos se encuentra en solución acuosa. Son obtenidos mediante el cultivo llamado: cultivo por adhesión a superficies.

m) Maleabilidad en fibra

Es una propiedad importante que determina cómo se puede manipular y trabajar la fibra durante la fabricación de productos textiles.

n) Trabajabilidad en fibra

Es una propiedad importante que influye en la facilidad y eficiencia con la que las fibras pueden ser procesadas y transformadas en productos textiles.



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Tipo y nivel de investigación

- **Tipo:** Esta investigación es de tipo exploratorio, porque permite resolver un problema y está dentro de los estudios experimentales. Para esta investigación se evalúa la efectividad del uso de lipasas en el lavado de fibra de alpaca.
- **Nivel:** Es de nivel explicativo porque se manipuló variables independientes a condiciones controladas, los cuales responden a los resultados que se obtuvo.

4.2. Diseño de investigación

Para el presente trabajo de investigación se estableció el diseño experimental, seguiremos la secuencia del siguiente diagrama de bloques que detalla de forma general todo el proceso del trabajo de investigación, tal cual indica la figura 10.

Las figuras 11, 12 y 13 detallan de manera más específica todos los objetivos planteados en el trabajo de investigación.



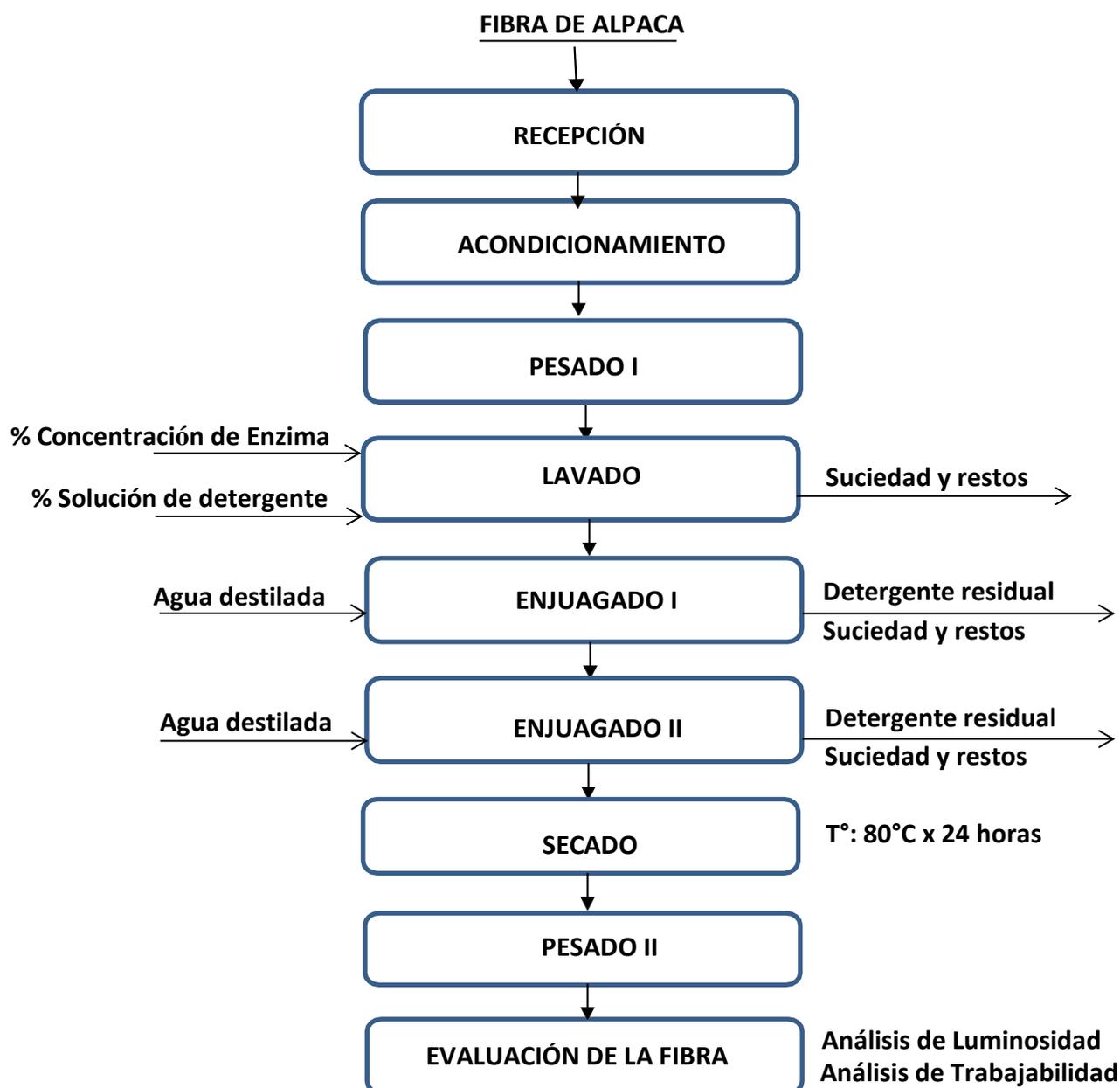


Figura 10 — Diagrama de Bloques para lavado de fibra de alpaca.

Del diagrama de bloques de la Figura 10, se establece la descripción de todas las etapas:

DESCRIPCIÓN DE ETAPAS

- **RECEPCIÓN:** Se acopió 2 vellones de fibra de alpaca Suri y Huacaya de la comunidad de Iscahuaca, ubicada en el distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes Departamento de Apurímac, se procedió a la recepción en el laboratorio de biotecnología de la EAPIA, con pesos de 10,5 libras y 11 libras para fibra de alpaca Huacaya y Suri respectivamente.



- **ACONDICIONAMIENTO:** Se hizo una ligera selección, se procedió al extendido de los vellones, de los cuales se extrajo material extraño adherido a la fibra, se llevó la fibra sucia (seleccionada) a bolsas de polipropileno para su respectivo pesado.
- **PESADO I:** La fibra sucia (alpaca Suri y Huacaya) seleccionada en bolsas de polipropileno, se pesó con una aproximación a los 10 gramos (rango: 10g +/- 0.4g), un total de 20 muestras para ambas fibras (Huacaya y Suri).
- **LAVADO:** Para este proceso la fibra de alpaca (Huacaya y Suri) se lavó con una mezcla de solución de detergente (500ml de agua destilada y 1,5g de detergente) y concentración ([]) de enzima, a una temperatura de 35°C con una remoción de 60 rpm (revoluciones por minuto), por un periodo de 5 minutos.
- **ENJUAGADO I y II:** Para estos dos procesos (ENJUAGADO II, proceso repetitivo del ENJUAGADO I), se removió las muestras de fibra de alpaca (lavada) a 60 rpm, con agua destilada (500ml) y a una temperatura de 20°C, con una duración de 1 minuto, todo esto con el fin de retirar la mezcla usada en el lavado (solución de detergente, concentración de enzima, suciedad y restos).
- **SECADO:** Las muestras de fibra (Huacaya y Suri) enjuagada se llevaron en bandejas de aluminio a la estufa para su respectivo secado, a una temperatura de 80°C, con una duración de 24 horas.
- **PESADO II:** Las muestras de fibra (Huacaya y Suri) secas, se pesaron por segunda vez para analizar la variación de peso después de los procesos de lavado y secado.
- **EVALUACIÓN DE LA FIBRA:** Para este proceso se utilizó el Espectrofotometro Infrarrojo FTIR, el cual determinó de manera cualitativa los componentes que se encontraron dentro de la suciedad, además se hizo un análisis físico - visual para determinar la calidad de la fibra de alpaca.

Los objetivos formulados dentro de esta investigación se da de acuerdo al esquema detallado en la figura 11, figura 12 y figura 13.



- Para la caracterización de la suciedad de fibra de alpaca.

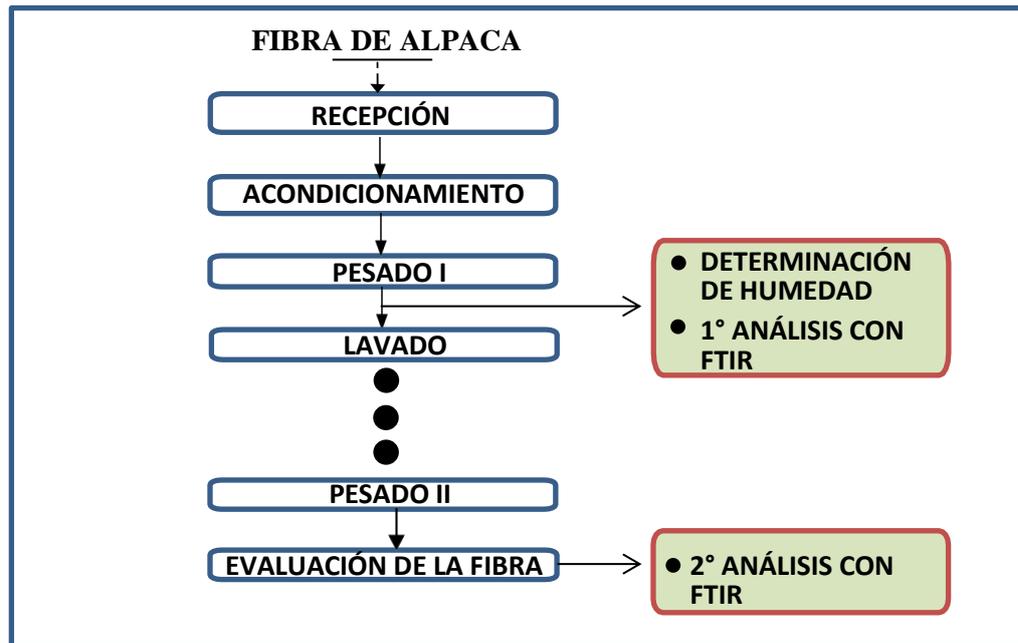


Figura 11 — Esquema para la caracterización de la suciedad de fibra de alpaca.

- Para el establecimiento de un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas .

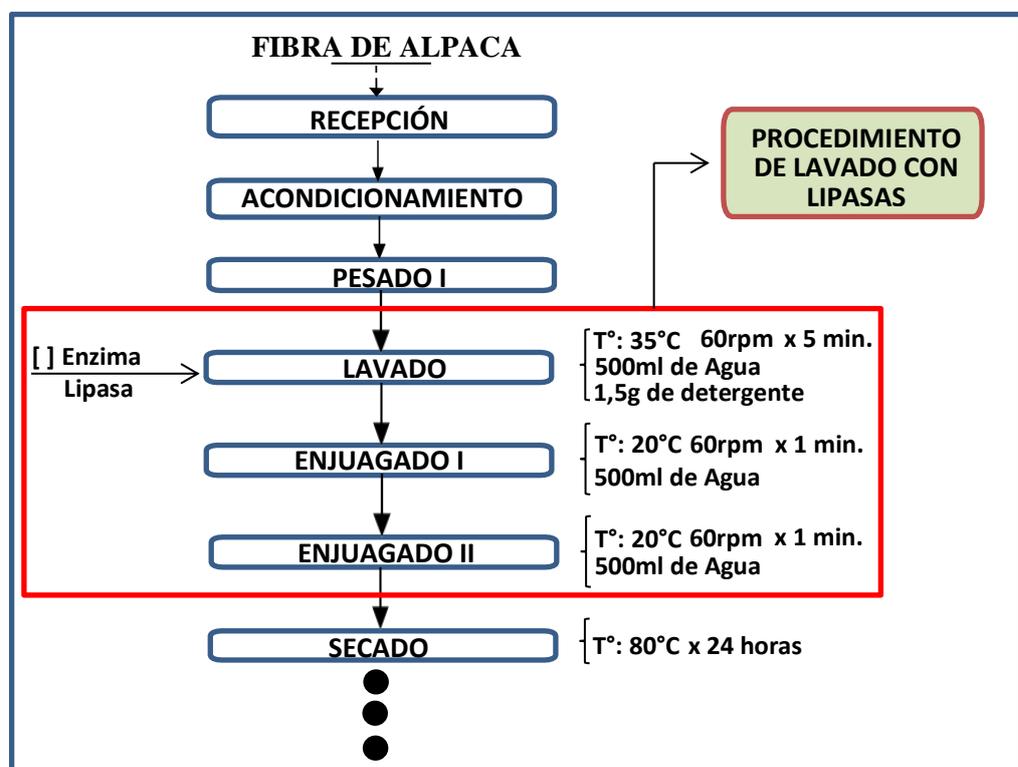


Figura 12 — Esquema para el establecimiento de un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas . Dato: [] simbología de concentración.



- Para la determinación de la calidad de la fibra de alpaca (luminosidad de fibra) lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

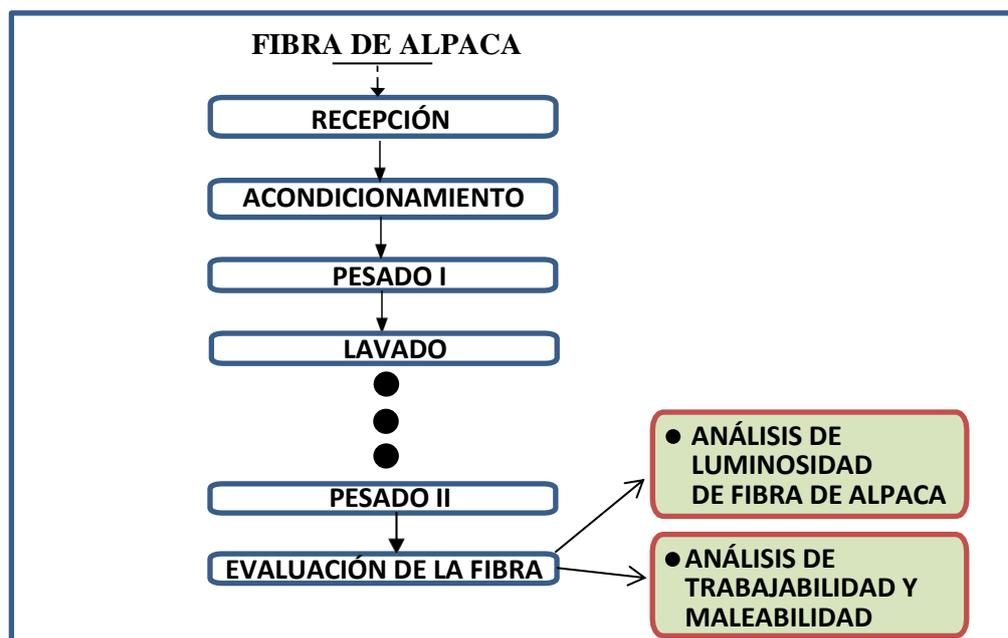


Figura 13 — Esquema para determinar la luminosidad de fibra de alpaca, lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Para los ensayos experimentales realizados en este trabajo de investigación, se utilizó la fibra de alpaca Suri y Huacaya que se encuentran en los centros de acopio de la comunidad de Iscahuaca, distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes, región de Apurímac.

4.3.2. Muestra

Para realizar los ensayos experimentales de este trabajo de investigación se utilizó dos vellones de fibra de alpaca Suri con un peso total de 11 libras y longitud de mecha de 15 cm aproximadamente. También se utilizó dos vellones de fibra de alpaca Huacaya con un peso total de 10.5 libras y longitud de mecha de 11 cm aproximadamente. Cabe detallar que las fibras tenían un color blanco y beige característico para ambas variedades, además estas alpacas rondaban los tres años de edad y ya habiendo tenido una primera trasquila, finalmente la recolección de la fibra se efectuó en el mes de abril del 2021.



Tabla 6 — Características de la muestra

	CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA	
	HUACAYA	SURI
Peso del vellón	10.5 Libras	11 Libras
Largo de mecha	11 cm en promedio	15 cm en promedio
Grasa en vellón	Regular	Regular
Edad aproximado	3 años	3 Años
Color	Blanco	Beige

Dato: (*) El color de fibra de alpaca Huacaya y Suri, se tomaron de acuerdo al tipo de color según NTP 231.300:2014.

4.3.2.1. Método de muestreo

El método utilizado fue el de aleatorio simple.

4.4. Procedimiento

4.4.1. Procedimiento para caracterizar la suciedad de la fibra de alpaca

4.4.1.1. Recolección de fibra

Se acopió la fibra de alpaca Suri y Huacaya de la comunidad de Iscahuaca con coordenadas UTM: 685611.00 mE y 8394029.00 mS en la zona 18L a una altitud de 4193 msnm, que está ubicada en el Distrito de Cotaruse, Provincia de Aymaraes Departamento de Apurímac. Exactamente se extrajo dos vellones de fibra de cada especie de alpaca, el cual se llevó al laboratorio de Biotecnología de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

4.4.1.2. Para la determinación de humedad (% de Humedad)

De los vellones de fibra de alpaca Suri y Huacaya se extrajeron 3 muestras para cada caso (6 en total) para hallar el contenido o porcentaje de humedad se utilizó el método estándar de determinación de humedad por secado en estufa de acuerdo a la norma ASTM D1576 – 12, el cual se fundamenta en coger muestras próximos a los 3 gramos (el caso de nuestro trabajo) y se controla en la etapa de secado en la estufa a una temperatura de 80 ± 2 °C hasta que tengamos un peso constante, la tabla 7 indica el correcto llenado para determinar el porcentaje de humedad, dicho esto, todos estos datos se llenó en la parte de resultados.

Para determinar el contenido de humedad el cálculo se basó en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(PH - PS)}{PS} \times 100$$

Dónde:

PH = Peso de muestra de fibra PS = Peso de muestra de fibra seca

Tabla 7 — Para la determinación del % de humedad

Muestra	Peso de muestra de fibra (g) (PH)	Peso de muestra de fibra seca (g) (PS)	% de Humedad
a			
b			
c			

4.4.1.3. Análisis con Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (Ft-Ir)

Para la medición de los espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) de las fibras de alpaca (variedad Suri y Huacaya) se realizó en el modo de reflectancia total atenuada (ATR) utilizando un equipo Espectrómetro Nicolet iS20 FTIR de la Marca Thermo Scientific, con una resolución de escaneo de 4 cm⁻¹ y 16 escaneos por muestra entre 400 cm⁻¹ y 4000 cm⁻¹ de longitud de onda. Los datos se analizaron mediante el software OMNIC SPECTRA.

Para lo cual se tomó 10 gramos aproximadamente de cada muestra seca y se puso en el equipo para poder leer sus espectros. Se midieron los espectros de fibra sucia, fibra lavada con enzima comercial en dos concentraciones, fibra lavada con enzima producida (Biopelícula y sumergida - Libre).

4.4.2. Procedimiento para establecer un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas comerciales.

4.4.2.1. Para la selección de la temperatura de lavado

Para seleccionar una temperatura adecuada de lavado se siguió el siguiente procedimiento:

a. Lavado de fibra de alpaca a temperatura de 20°C

- Se pesó 10 gramos(aproximado) de cada variedad de fibra de alpaca por triplicado.
- Se realizó el lavado respectivo con una solución de agua detergente (1.5 g de detergente en 500ml de agua destilada) a temperatura ambiente (20°C).
- Se procedió a agitar a 60 rpm por durante 5 minutos
- Luego se enjuagó usando 500 ml de agua agitando a 60rpm por durante 1 minuto, esta operación se realizó dos veces.
- Las muestras se llevaron a una estufa a 80°C x 24 horas para el secado.
- Finalmente se procedió al pesado, donde los datos fueron reportados usando la Tabla 8, el cual se llenó en la sección de resultados.

Tabla 8 — Porcentaje promedio de suciedad de fibra de alpaca lavada a 20°C

Variedad De Fibra	N° de Muestra	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad Retirada (g) C = A-B	% de Suciedad Retirada	Promedio de Suciedad Retirada (%)
Huacaya						
Huacaya						
Suri						
Suri						

b. Lavado de fibra de alpaca a la temperatura de 35°C

- Se utilizó una muestra de cada variedad.
- Se realizó el lavado con el mismo procedimiento anterior, pero ahora con una temperatura de 35°C, usando la misma solución de detergente - agua, agitación y tiempo. Los datos fueron reportados utilizando la Tabla 9. Dentro de los cuales se llenó en la sección de resultados.

Tabla 9 — Porcentaje promedio de suciedad de fibra de alpaca lavada a 35°C

Variedad De Fibra	N° de Muestra	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad Retirada (g) C = A-B	% de Suciedad Retirada
Huacaya					
Suri					



4.4.2.2. Lavado con adición de lipasas para determinar el peso retirado de suciedad de la fibra de alpaca

- Tratamientos en el lavado de fibra

Se hicieron 20 tratamientos con tres repeticiones cada uno, de los cuales tuvimos 60 observaciones (30 para fibra de alpaca Suri y 30 para fibra de alpaca Huacaya), se detalla en la tabla 10.

Tabla 10 – Tratamientos en el lavado de fibra de alpaca

	TRATAMIENTO	DETERGENTE	ENZIMA LIPASA	TEMPERATURA	CODIGO DE MUESTRA
FIBRA DE ALPACA SURI	1	1.5g	-	35 °C	A
	2	1.5g	-	35 °C	B
	3	1.5g	Lipasa 1ml	35 °C	1
	4	1.5g	Lipasa 1ml	35 °C	2
	5	1.5g	Lipasa 0.5ml	35 °C	3
	6	1.5g	Lipasa 0.5ml	35 °C	4
	7	1.5g	Biopelícula 40ml	35 °C	5
	8	1.5g	Biopelícula 40ml	35 °C	6
	9	1.5g	Libre 40ml	35 °C	7
	10	1.5g	Libre 40ml	35 °C	8
FIBRA DE ALPACA HUACAYA	11	1.5g	-	35 °C	C
	12	1.5g	-	35 °C	D
	13	1.5g	Lipasa 1ml	35 °C	9
	14	1.5g	Lipasa 1ml	35 °C	10
	15	1.5g	Lipasa 0.5ml	35 °C	11
	16	1.5g	Lipasa 0.5ml	35 °C	12
	17	1.5g	Biopelícula 40ml	35 °C	13
	18	1.5g	Biopelícula 40ml	35 °C	14
	19	1.5g	Libre 40ml	35 °C	15
	20	1.5g	Libre 40ml	35 °C	16

Dato: (*) Para las muestras a,b,c y d, de la tabla 10 no se le añadió ninguna enzima lipasa, para los otros tratamientos se utilizaron soluciones de: 0.5ml y 1ml de Lipasa comercial, 40ml de enzima Biopelícula y 40ml de enzima Libre. (**) La de enzima Biopelícula y Libre, son producidas en laboratorio (ANEXO1).

Selección y pesado de fibra de alpaca

- Seleccionamos los vellones de fibra de alpaca “uniformes” a la vista y tacto, tanto para la variedad Huacaya como Suri.
- Luego se procedió a pesar y a separar 10 muestras de cada variedad (20 en total) con pesos aproximados a 10 gramos, con los cuales se



realizó el lavado a 35°C.

- Para el lavado de la fibra se trabajó con una solución de 500 ml de agua, 1.5g de detergente comercial y lipasas.
- Para el uso de Lipasas se usaron tres tipos, en volúmenes de 0.5ml, 1ml y 40ml, que se muestran en la tabla 11. Las lipasas usadas fueron:
 - a) Lipasa comercial
 - b) Lipasa producida en laboratorio por adhesión de superficies (Biopelícula)
 - c) Lipasa producida en laboratorio por sistema sumergido (Libre)

Las fichas técnicas y el procedimiento de producción se muestran en el ANEXO N°1

- Se aplicó un agitado de forma circular con una madera prismática (20cm x 3cm x 1.5cm) a 60 rpm, por durante 5 minutos, para cada muestra.
- Terminado el proceso de agitado manual se procedió a prensar la fibra de alpaca con las manos y eliminar la solución agua – detergente.
- Se hizo dos operaciones de enjuagado por duplicado en 500 ml de agua con un agitado de forma circular a 60 rpm por durante 1 minuto.
- Terminamos con el secado a 80°C x 24 horas y luego acabamos con el pesado de la fibra seca. Los resultados se reportó utilizando la tabla 11, para luego llenarlos en los resultados.



Tabla 11 — Porcentaje promedio de suciedad retirada de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa.

TIPO	Código de Muestra	Con Enzima	Peso de muestra de fibra sucia (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad (g) C = A-B	% de Suciedad Retirada	Promedio de Suciedad Retirada (%)
SURI	A	-					
	B	-					
SURI	1	Lipasa 1 ml					
	2	Lipasa 1 ml					
SURI	3	Lipasa 0.5 ml					
	4	Lipasa 0.5 ml					
SURI	5	Biopelícula (40ml)					
	6	Biopelícula (40ml)					
SURI	7	Libre (40ml)					
	8	Libre (40ml)					
HUACAYA	C	-					
	D	-					
HUACAYA	9	Lipasa 1 ml					
	10	Lipasa 1 ml					
HUACAYA	11	Lipasa 0.5 ml					
	12	Lipasa 0.5 ml					
HUACAYA	13	Biopelícula (40ml)					
	14	Biopelícula (40ml)					
HUACAYA	15	Libre (40ml)					
	16	Libre (40ml)					

Dato: (*) Para las muestras a,b,c y d, de la tabla 11; no se le añadió ninguna enzima, solamente se realizó el lavado con solución agua – detergente.

4.4.3. Procedimiento para determinar la calidad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

4.4.3.1. Determinación de la luminosidad de la fibra de alpaca

- Se procedió a seleccionar una muestra de fibra de cada caso de la tabla anterior.
- Para lograr determinar su luminosidad, utilizamos el colorímetro (**Colorímetro PCE – CSM7**), el cual obtiene variables como L, a y b (parámetros de medición de color).
- El análisis se hizo por quintuplicado esto para poder determinar un promedio final y así optimizar un color real, los datos se pusieron en: *Tabla para llenado de variables (L, a y b) según Colorímetro*

del ANEXO 2.

(*) Se añadió una lectura de color tanto para muestras originales de fibra Huacaya como de Suri, como se muestra en el ANEXO 3.

4.4.3.2. Determinación de la trabajabilidad y maleabilidad de la fibra de alpaca

- Se utilizó parte de la muestra seleccionada de fibra de alpaca, el cual mediante la ayuda de nuestra vista y el tacto de las manos pudimos determinar el nivel de trabajabilidad y maleabilidad de la fibra, los resultados se reportó utilizando la Tabla 12.

Tabla 12 — Nivel de Trabajabilidad y Maleabilidad de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa.

N°	TIPO	Con Enzima	TRABAJABILIDAD	MALEABILIDAD
1	Suri	-		
2	Suri	Lipasa 1 ml		
3	Suri	Lipasa 0.5 ml		
4	Suri	Biopelic. (40ml)		
5	Suri	Libre (40ml)		
6	Huacaya	-		
7	Huacaya	Lipasa 1 ml		
8	Huacaya	Lipasa 0.5 ml		
9	Huacaya	Biopelic. (40ml)		
10	Huacaya	Libre (40ml)		

Dato: (*) La muestra 1 (Suri) y 6 (Huacaya), de la tabla 12 no se le añadió ninguna enzima, solamente se realizó el lavado con solución agua – detergente. La Trabajabilidad y Maleabilidad medimos de acuerdo a 5 niveles: Muy alto, Alto, Regular, Bajo, Muy Bajo; de los cuales están llenados en el apartado de resultados.

4.5. Técnicas e instrumentos

4.5.1. Instrumentos

Para la determinación de humedad, selección de temperatura de lavado, la adición de lipasas y la determinación del color, etc. Se optó por utilizar los siguientes instrumentos:

- Espectrofotómetro Infrarojo (FTIR) **Marca:** Thermo SCIENTIFIC- Smart TR + PC : LG – DELL
- Espectrómetro Nicolet iS20 FTIR **Marca:** Thermo Scientific,

- Colorímetro **Marca:** PCE – CSM7 **modelo** alemán.
- Microscopio óptico
- Estufa **Marca:** Memmert **Modelo:** B20
- Baño María **Marca:** Memmert
- Balanza analítica **Marca:** SARTORIUS
- Desecador
- Biker de 1 litro
- Bandejas de aluminio y plástico
- Cuchara
- Tijera
- Cuchara removedor

(* Para la visualización de la superficie de la fibra de alpaca amplificada se tomó como equipo al microscopio óptico de cuatro lentes.

(* Cabe resaltar que el equipo Espectrofotómetro Infrarojo (FTIR) se utilizó para la determinación de los componentes químicos de la fibra después de ser lavada.

(* Para la determinación del color de la fibra de alpaca se utilizó el colorímetro “COLORIMETER PCE-CSM7” modelo alemán.

4.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05 usando un software estadístico STAT GRAFIC, para identificar la significancia de las variables en estudio.



CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de resultados

5.1.1. Caracterización de la suciedad de la fibra de alpaca

- La fibra de alpaca fue recolectada en el departamento de Apurímac provincia de Aymaraes, distrito de Cotaruse en la comunidad de Izcahuaca exactamente a una altitud de 4193 msnm en la zona 18L y a las coordenadas UTM: 685611.00 mE y 8394029.00 mS. Entre las cuales se observaron dos variedades de vellones de alpaca (Suri y Huacaya) que tenían aproximadamente tres años de edad.

Para determinar la humedad se extrajeron 3 muestras de vellón de fibra de alpaca de cada variedad, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 13 — Porcentaje (%) promedio de humedad y desviación estándar de fibra de alpaca Huacaya

Muestra	Peso de muestra de fibra (g)	Peso de muestra de fibra seca (g)	% de Humedad	%Promedio de Humedad	Desviación estándar	Limite Máximo
a	2.0716	1.8585	10.2867	10.4753	0.16899	10.6443
b	2.6306	2.3537	10.5261			Limite Mínimo
C	3.0519	2.728	10.6131			10.3063

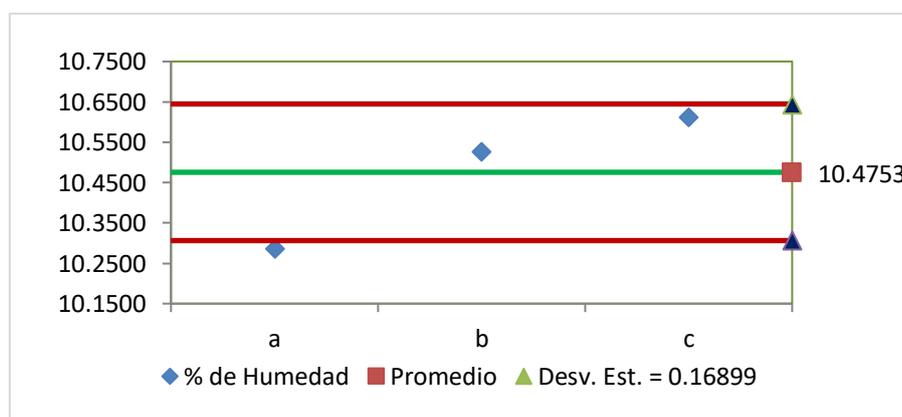


Figura 14 — Desviación estándar para la fibra de alpaca Huacaya.



Tabla 14 — Porcentaje (%) de humedad y desviación estándar de fibra de alpaca Suri.

Muestra	Peso de muestra de fibra (g)	Peso de muestra de fibra seca (g)	% de Humedad	% Promedio de Humedad	Desviación estándar	Limite Máximo
a	2.2926	2.0912	8.7848	8.7654	0.48451	9.2499
b	1.3891	1.2742	8.2715			Limite Mínimo
C	2.421	2.1973	9.2400			8.2809

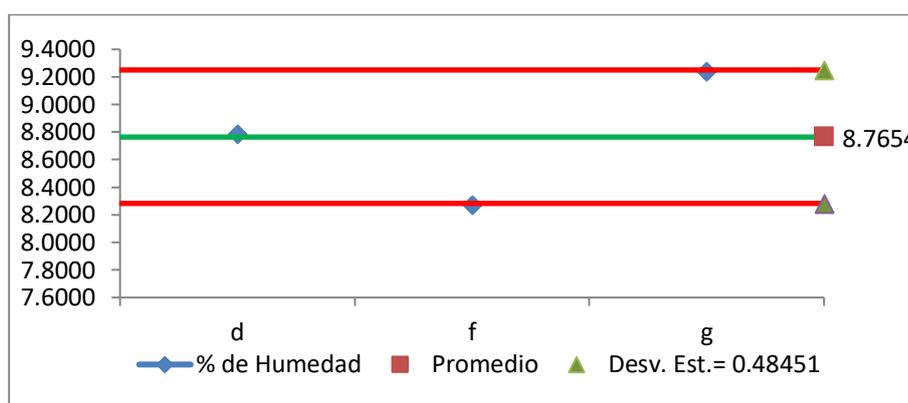


Figura 15 — Desviación estándar para la fibra de alpaca Suri.

- La fibra de alpaca tanto Suri como Huacaya contiene impurezas orgánicas e inorgánicas (restos de tierra, pastos, broza, talluelos, estiércol, etc.). Esto debido al pastoreo extensivo y la intemperie que se da en la comunidad de Iscahuaca. Se tomaron los pesos de la fibra para cada tipo de alpaca con su respectiva suciedad el cual se detalla en la Tabla 15 y para su respectiva caracterización de la fibra (suciedad) se puede ver en la Tabla 16.

Tabla 15 — Peso de fibra y de suciedad (promedio)

	PESO DE FIBRA INICIAL PROMEDIO (g)	PESO DE SUCIEDAD PROMEDIO (g)
SURI	10.34	2.08
HUACAYA	10.48	2.54



Tabla 16 — Caracterización de la fibra de alpaca Suri y Huacaya

	IMPUREZAS NATURALES		IMPUREZAS ADQUIRIDAS	
	GRASAS	ESTIÉRCOL, ORINA	RESTOS DE HOJAS, SEMILLAS, PAJAS, GRAMA SECA	TIERRA, POLVO
SURI	0.3%	15%	9.7%	75%
HUACAYA	0.2%	15%	24.8%	60%

Cuando se hizo la caracterización de fibra de alpaca recién acopiada de variedades Huacaya y Suri, se demostró la presencia de tierra en la fibra, esto se explica porque generalmente la alpaca está a la intemperie, camina por el campo y está en contacto con el suelo, además el polvo de la zona se acumula en sus vellones generando suciedad en la fibra. El estiércol que es celulosa en forma de biomasa vegetal, está presente en la fibra por que el animal excreta en sus mismos criaderos convencionales, los excrementos se secan y entran en contacto con la fibra cuando el animal duerme. Los otros componentes que están junto a la fibra (talluelos, pastos, orina, insectos, etc.) Son consecuencias del pastoreo tradicional que se da a las alpacas, la acumulación de estos restos se da porque está en una zona altoandina, contiene bastante pasto.

La diferencia de porcentajes en la caracterización de cada tipo de fibra de alpaca se debe exclusivamente a la forma (curvatura de fibra), la fibra de alpaca Huacaya por ser enredado, el cual presenta ondas y rizos, aparte de acumular tierra en su superficie, siempre tiende a retener bastante estiércol y cuerpos extraños, mientras que la fibra de alpaca Suri por ser más suave y liso en esta solo se impregna tierra y estiércol en mayor proporción.



Figura 16 — Fibra sucia de alpaca Huacaya y Suri.

- **Caracterización de la suciedad utilizando Espectrofotómetro Infrarrojo (FTIR)**

Con el fin de monitorear el retiro de los ácidos grasos de la fibra en el proceso de lavado se realizaron lecturas de la fibra en el espectrofotómetro infra rojo FTIR-ATR, con un barrido de 400 a 4000 cm^{-1} de longitud de onda.

En la Figura 17, al barrer los espectros infrarrojos de las fibras sucias de ambas variedades de alpaca, se nota la misma tendencia del espectro, esto indica que hay coincidencia en la mayoría de compuestos que componen la fibra, existiendo una fuerte diferencia del espectro en la región de 1050 cm^{-1} , en esta región se encuentran alojados los enlaces de tipo COOH, característico de los ácidos grasos, al existir variación en la altura de los picos, indica que hay mayor concentración de este tipo de enlace en la variedad Huacaya que en la variedad Suri, en otras palabras la concentración de ácidos grasos es mayor en la fibra de la variedad Huacaya. Del mismo modo se han encontrado con ayuda de la biblioteca del equipo los siguientes compuestos en la fibra.

Tabla 17 — Compuestos existentes en la fibra sucia

GRUPO FUNCIONAL Y/O GRUPOS DE COMPUESTOS	Región de longitud de onda	Observaciones
Fosfatos inorgánicos	2700 a 3000 cm^{-1}	Componente presente en la tierra , que está en la fibra
Titanatos inorgánicos	500 a 700 cm^{-1}	Componentes químicos presentes en la arcillas, es posible que en los sitios donde pernoctan pastorean los animales exista betas de arcilla que se adhiere a la fibra
Esteres aromáticos	3200 a 3600 cm^{-1}	Compuesto relacionado con los acidos grasos que hay presente en la fibra de alpaca
Sulfóxidos Aromaticos	1200 a 1300 cm^{-1}	Componente de las orinas o estiercol que existe adherida a la fibra.
POSIBLES COMPUESTOS PRESENTES IDENTIFICADOS POR EL FTIR		
Suero animal agrupado	Librería: Sigma biological sample	Compuesto presente en las orinas y excretas de animales
Polvo de opio en KBr	Librería: Geordgia state cime lab sample	Compuesto presente en tierra y polvo
Colagenasa tipo VII	Liberia: Sigma biological sample	Compuesto presente en la fibra de alpaca
Kempide	Liberia: Sigma biological sample	Compuesto presente en excretas de animales
Celulosa	Librería HR Noclet Sampler library	Presente en las excretas de los animales que consumen pastos o vegetales.

En la figura 18 se muestran los espectros de los diferentes tratamientos a los que se le sometió a la variedad Huacaya, mostrándose que en la región del pico del espectro comprendido entre 1100 a 900 cm^{-1} , los efectos de la variación de ácidos grasos contenidos en esta región, se ve que los enlaces característicos de ellos ácidos grasos que son – COOH; varía en función del tipo de lavado que se le ha



dado, esto nos demuestra la efectividad del uso de lipasas para poder retirar los ácidos grasos contenidos en la fibra. También se debe notar en esta figura que las otras regiones del espectro tienen la misma tendencia pero en distintas posiciones del espacio, lo que también demuestra que junto a los ácidos grasos existe el retiro de otros componentes que componen la suciedad, finalmente en la región visible del espectro de 500 a 700 cm^{-1} hay también cambios respecto a la fibra sucia, esto traerá como consecuencia mejor luminosidad a la fibra lo que se verificará midiendo este parámetro con un colorímetro más adelante.

Finalmente en la figura 19, de la misma manera se presentan los espectros infrarrojos de la variedad Suri, cuando se le somete a los mismos tratamientos de lavado de la fibra, debe notarse que en la región donde están los enlaces de los ácidos grasos que son característicos hay variaciones entre cada tratamiento, esto va a permitir demostrar que cada tratamiento tiene una eficacia diferente con respecto a la disminución de estos enlaces y por consiguiente la ruptura de la estructura del ácido graso y liberación de la suciedad en la fibra.

El resto de áreas de las regiones del espectro también nos muestran variaciones que se relacionan con la disminución de toda la suciedad de la fibra.



Las lecturas del Espectrofotómetro de las fibras tanto Huacaya como Suri se dan continuación:

Los espectros que se han conseguido con el espectrofotómetro FT-IR

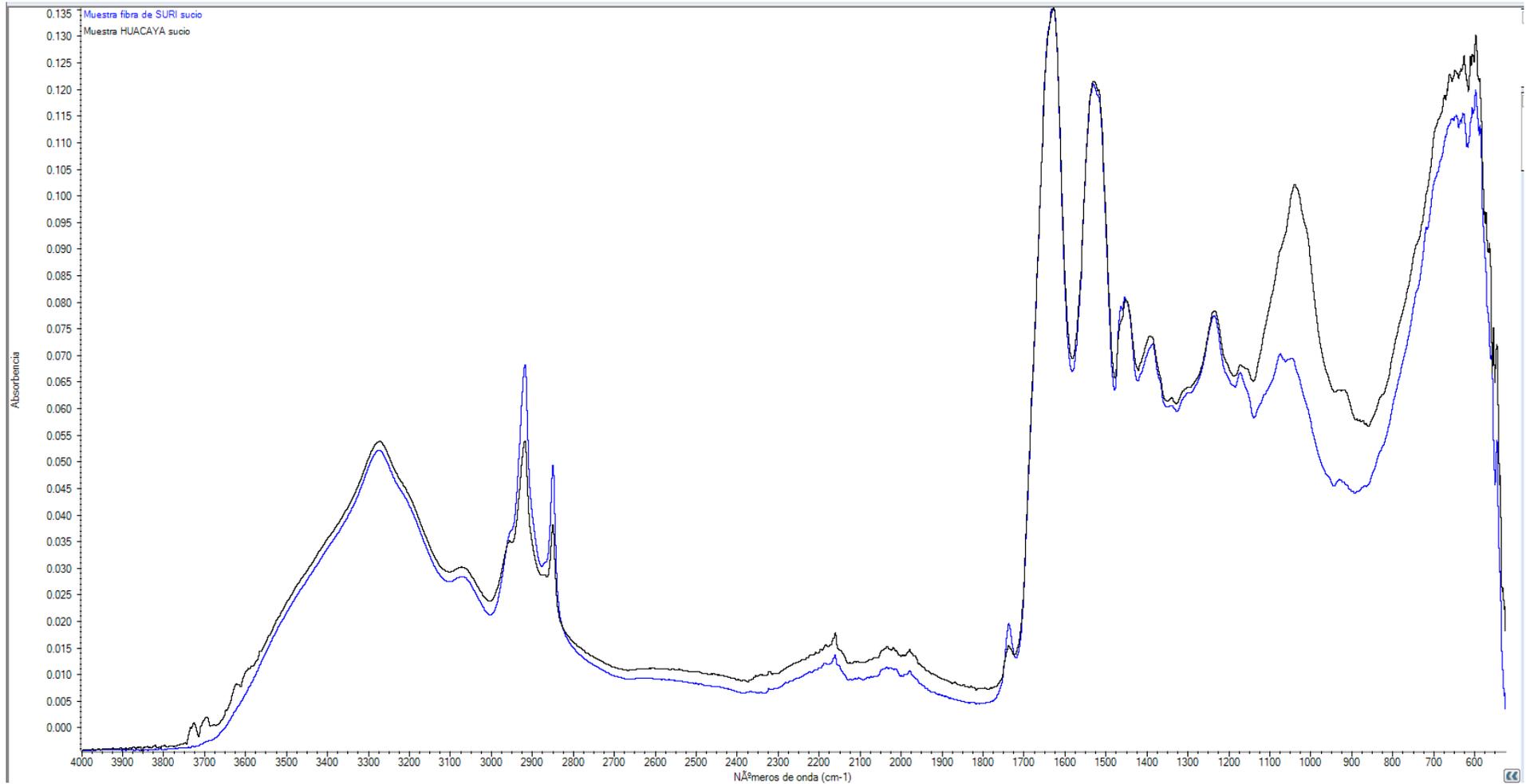


Figura 17 — Espectros de fibra de alpaca sucia variedad Suri y Huacaya. Tomado de Base de datos de Espectrómetro Nicolet iS20 FTIR

En la figura17, se observa los espectros de las fibras de alpaca variedad Suri y Huacaya ambas fibras se encuentran sucias y secas sin ningún tratamiento, presentan coincidencia de espectro en la mayoría de regiones del espectro infra rojo, con dos marcadas diferencias, el primero en el rango de longitud de onda de 1100 a 900 cm^{-1} y el segundo en el rango de 2300 a 1900 cm^{-1} .

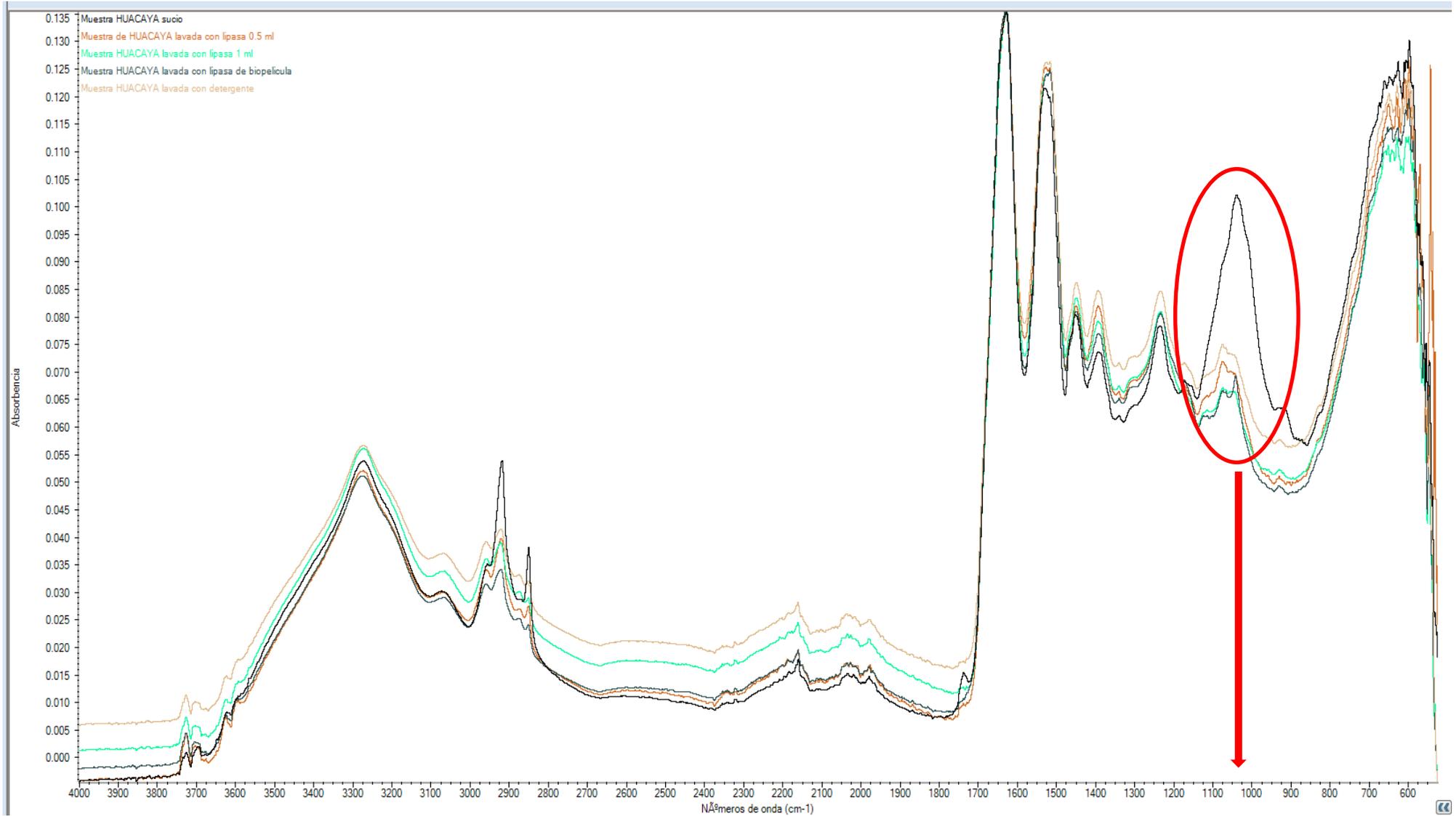


Figura 18 — Espectros de fibra de alpaca variedad Huacaya sucio y lavados con distintos tratamientos. Tomado de Base de datos de Espectrómetro Nicolet iS20 FTIR

En la figura 18, se observa los espectros de las fibras de alpaca variedad Huacaya con los distintos tratamientos de lavado comparándolos con la fibra sucia, existe en el espectro una marcada diferencia en la región del rango de longitud de onda de 1100 a 900 cm⁻¹, donde se observa una reducción del espectro, mientras que en la segunda región de estudio hay incremento de las longitudes de onda.

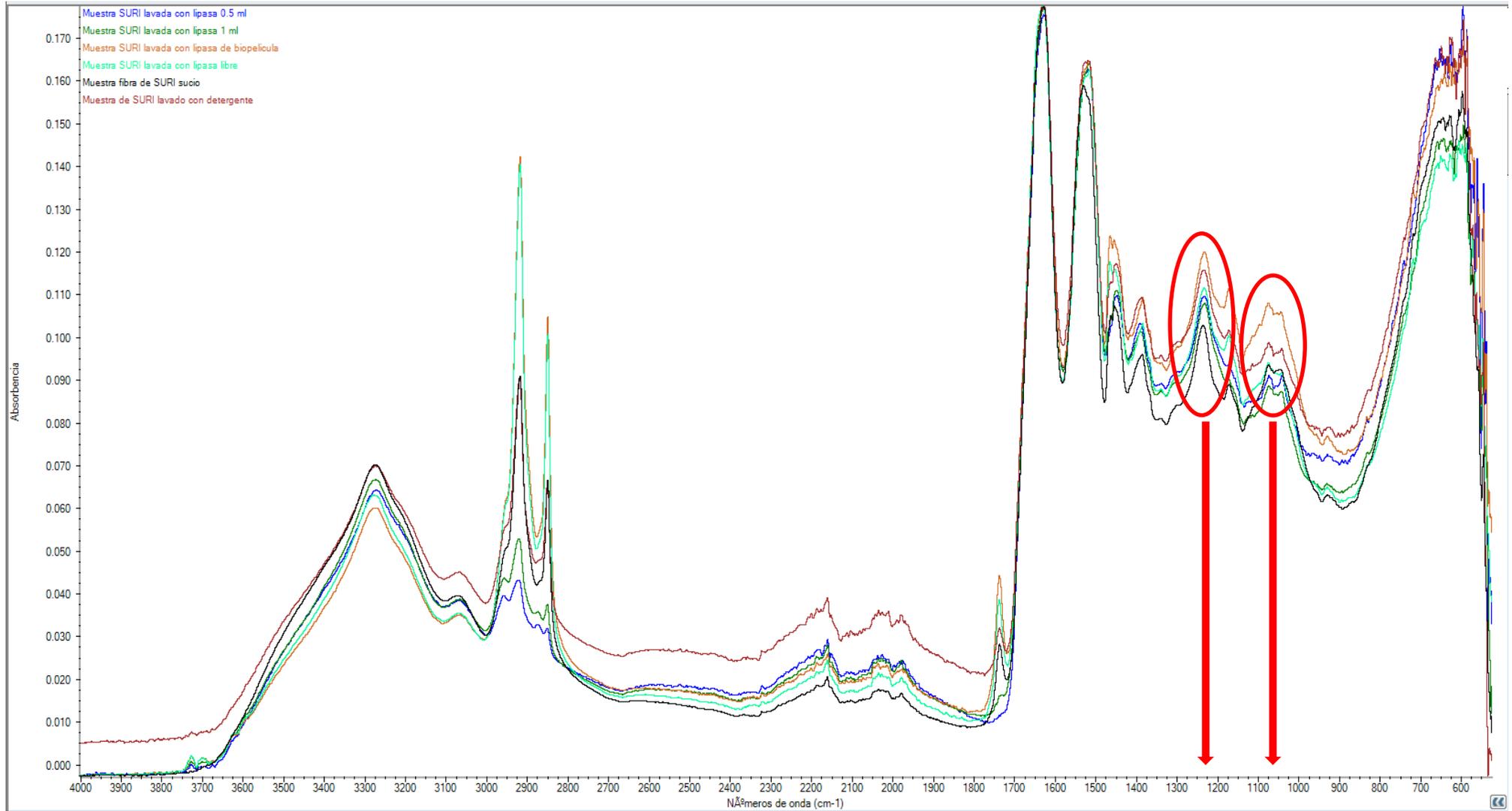


Figura 19 — Espectros de fibra de alpaca variedad Suri sucio y lavados con distintos tratamientos. Tomado de Base de datos de Espectrómetro Nicolet iS20 FTIR

En la figura 19, se observa los espectros de las fibras de alpaca variedad Suri, donde los espectros de muestran sin un patrón determinante de comportamiento en la región del rango de longitud de onda de 1100 a 900 cm⁻¹, donde se observa una reducción del espectro, mientras que en la segunda al igual que la fibra de la variedad Huacaya hay incremento de las longitudes de onda.

5.1.2. Establecimiento de un procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas comerciales

- ANOVA para la suciedad retirada y establecimiento de temperatura

ANOVA Multifactorial - Suciedad retirada

Variable dependiente: Suciedad retirada

Factores:

Muestra: dos variedades de Fibra (Huacaya y Suri)

Tratamiento: lavado a dos temperaturas

Número de casos completos: 8

Tabla 18 — Análisis de Varianza para suciedad retirada - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Muestra	0.602418	1	0.602418	6.93	0.0464
B:Tratamiento	0.0117275	1	0.0117275	0.13	0.7285
RESIDUOS	0.43486	5	0.086972		
TOTAL (CORREGIDO)	1.04901	7			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Según la metodología del trabajo se realizó una prueba de dos lavados a temperaturas de 20°C y 35°C (ANEXO 3), el ANOVA indica (tabla 9) que las variedades de fibra influyen en el lavado y en la temperatura no hay diferencia estadística.

- Se determinó que la mejor manera de selección de “temperatura de lavado”, fue la opción visual, por ello el lavado a 35°C de fibra de alpaca demuestra una mejor apreciación al tacto, mejor color y maleabilidad.





Figura 20 — Fibra sucia de alpaca Huacaya.

- Inicialmente en la recolección de una porción de fibra de alpaca Huacaya muestra residuos sólidos minúsculos que se encuentra en aquellas zonas de pastoreo de camélidos sudamericanos, aparte del color con tendencia a pardo no natural a la fibra blanca real de la alpaca, y con una textura dura áspera debido a la tierra y estiércol que está adherida a la fibra.



Figura 21 — Fibra de alpaca Huacaya lavada a 35 °C.

- Cuando la prueba de lavado a 20°C se cambia a 35°C prosiguiendo con la solución agua - detergente, nos muestra un ligero cambio de color, un poco más blanco y con una tendencia al tacto más elástico.

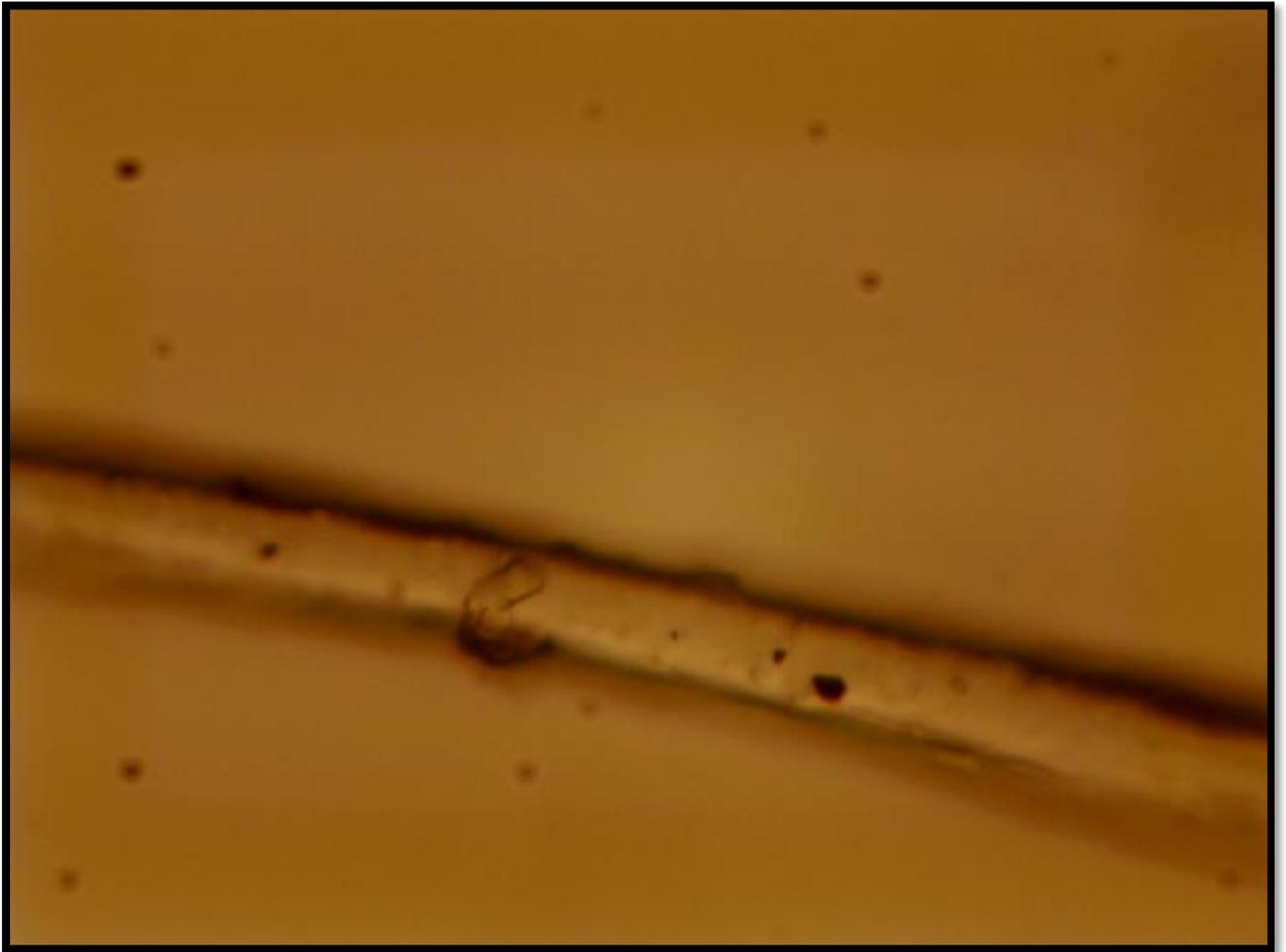


Figura 22 — Fibra de alpaca Huacaya con cristales lavada a 20 °C vista por el microscopio.

- Las fibras de alpaca Huacaya llevada a condiciones del lavado a temperatura de 20 °C (Figura 22), secadas en la estufa y luego vistas en el microscopio muestran contenido de microcristales del detergente utilizado en el lavado, el cual resalta notoriamente en el microscopio.

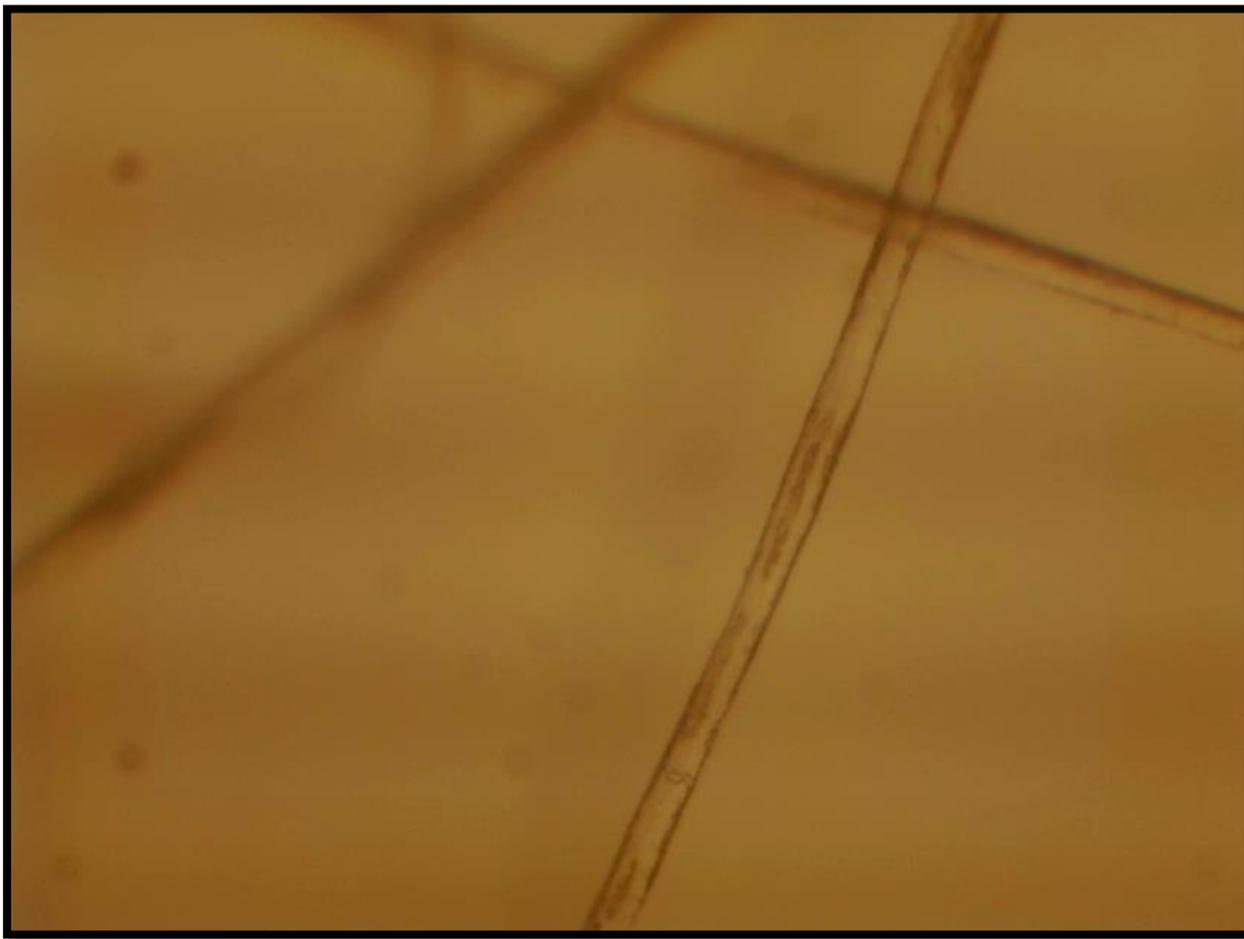


Figura 23 — Fibra de alpaca Suri con cristales lavada a 20 °C vista por el microscopio.

- Para el caso de fibras de alpaca Suri lavadas a las mismas condiciones que las fibras de alpaca Huacaya (20 °C) tal como muestra la Figura 23, secadas en estufa y luego vistas en el microscopio también resalta pocos residuos de microcristales del detergente utilizado en el lavado. Caso contrario ocurre cuando la fibra de alpaca (Suri o Huacaya) que se ha lavado a 35°C demuestra tener una limpieza libre de microcristales (Figura 24).

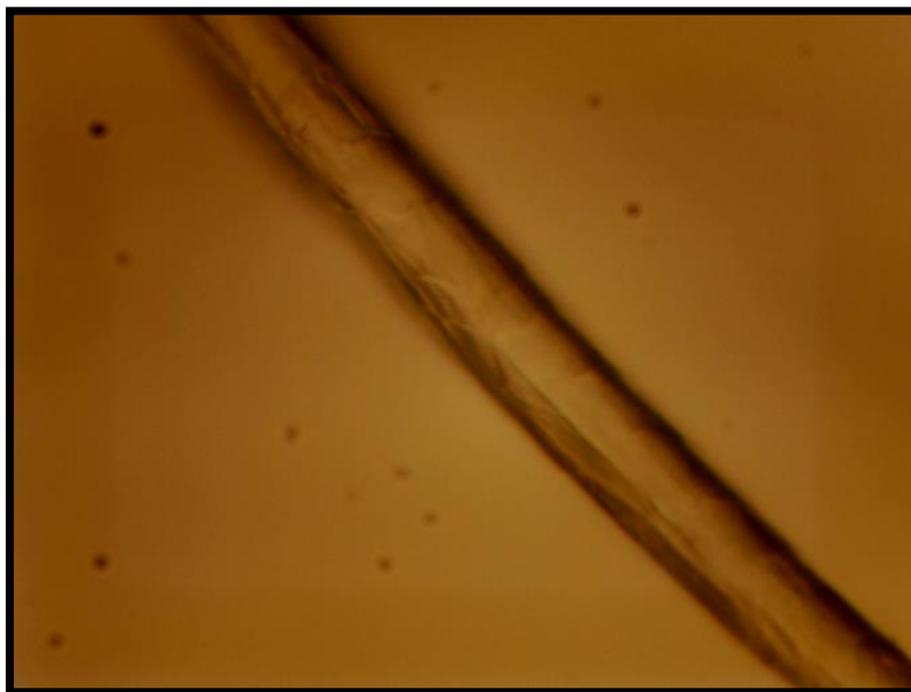


Figura 24 — Fibra de alpaca Huacaya lavada a 35 °C vista por el microscopio.

5.1.3. Evaluar la calidad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

Variación de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

- La fibra de alpaca lavada convencionalmente solo con el uso de solución detergente – agua a una temperatura de 35°C nos determinó para el caso de la fibra Suri, dos resultados donde la “**muestra a**” nos indica que el 16.4800% es suciedad mientras y para la “**muestra b**” obtenemos un 15.9240% de suciedad, en la variedad de fibra Huacaya para la “**muestra c**” se obtuvo un 19.7858% de suciedad, mientras que para la “**muestra d**” nos da un 19.8036%, tal como nos muestra la Tabla 19.

Tabla 19 — Porcentaje (%) de suciedad retirada de fibra de alpaca Suri y Huacaya.

TIPO	N° de Muestra	Con Enzima	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad retirada (g) C = A-B	% Suciedad Retirada
SURI	a	-	10.0649	8.4062	1.6587	16.4800
	b	-	10.3372	8.6911	1.6461	15.9240
HUACAYA	c	-	10.3650	8.3142	2.0508	19.7858
	d	-	10.1507	8.4062	1.6587	16.4800

- La tabla 20, indica pesos y porcentajes de suciedad, observamos que a diferencia del lavado convencional a 35°C solamente con el uso de detergente, nos muestra una variación del porcentaje de suciedad de la fibra, tanto en variedad de alpaca Suri como de Huacaya.

Viendo solo a la variedad de fibra de alpaca Suri tenemos: un promedio de suciedad (%) sin la adición de lipasas de 16.2020%, mientras que cuando agregamos 1ml de lipasa comercial se obtuvo un 19.5023% de suciedad, cuando se añade 0.5 ml de esa misma lipasa comercial se tiene como resultado un 20.3870% de suciedad, también se ve un cambio cuando se agrega 40ml enzima biopelícula obteniéndose 21.1173% de suciedad y por último cuando agregamos 40ml de enzima Libre se tiene un 19.6808%.

Los resultados no son ajenos cuando trabajamos con fibra de alpaca Huacaya a las mismas condiciones, para el primer lavado por duplicado sin la adición de enzima obtenemos 19.7947% en promedio de suciedad, cuando agregamos 1ml de lipasa comercial nos da 23.5287% de suciedad, pero cuando agregamos la mitad de la misma enzima (0.5ml) nos resulta 24.2237%, mientras se añade 40ml de enzima Biopelícula obtenemos un promedio del 24.1747% de suciedad, en cuanto a la adición de 40ml de enzima libre se tiene 22.3890% de suciedad.



Tabla 20 — Porcentaje (%) de suciedad retirada en el proceso de lavado de fibra de alpaca Suri y Huacaya con la adición de lipasas.

TIPO	N° de Muestra	Con Enzima	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad (g) C = A-B	% Suciedad Retirada	Promedio de Suciedad Retirada (%)
SURI	a	-	10.0649	8.4062	1.6587	16.4800	16.2020
	b	-	10.3372	8.6911	1.6461	15.9240	
SURI	1	Lipasa 1 ml	10.3048	8.2623	2.0425	19.8209	19.5023
	2	Lipasa 1 ml	10.3958	8.4015	1.9943	19.1837	
SURI	3	Lipasa 0.5 ml	10.0137	7.9112	2.1025	20.9962	20.3870
	4	Lipasa 0.5 ml	10.398	8.3415	2.0565	19.7778	
SURI	5	Biopelícula (40ml)	10.2128	8.0003	2.2125	21.6640	21.1173
	6	Biopelícula (40ml)	10.4659	8.3130	2.1529	20.5706	
SURI	7	Libre (40ml)	10.6367	8.4707	2.1660	20.3635	19.6808
	8	Libre (40ml)	10.0994	8.1807	1.9187	18.9982	
HUACAYA	c	-	10.3650	8.3142	2.0508	19.7858	19.7947
	d	-	10.1507	8.1405	2.0102	19.8036	
HUACAYA	9	Lipasa 1 ml	10.3687	7.7873	2.5814	24.8961	23.5287
	10	Lipasa 1 ml	10.3378	8.0468	2.2910	22.1614	
HUACAYA	11	Lipasa 0.5 ml	10.6849	8.0487	2.6362	24.6722	24.2237
	12	Lipasa 0.5 ml	10.2813	7.8369	2.4444	23.7752	
HUACAYA	13	Biopelícula (40ml)	10.3992	7.877	2.5222	24.2538	24.1747
	14	Biopelícula (40ml)	10.284	7.806	2.4780	24.0957	
HUACAYA	15	Libre (40ml)	10.6085	8.2268	2.3817	22.4509	22.3890
	16	Libre (40ml)	10.4837	8.143	2.3407	22.3270	

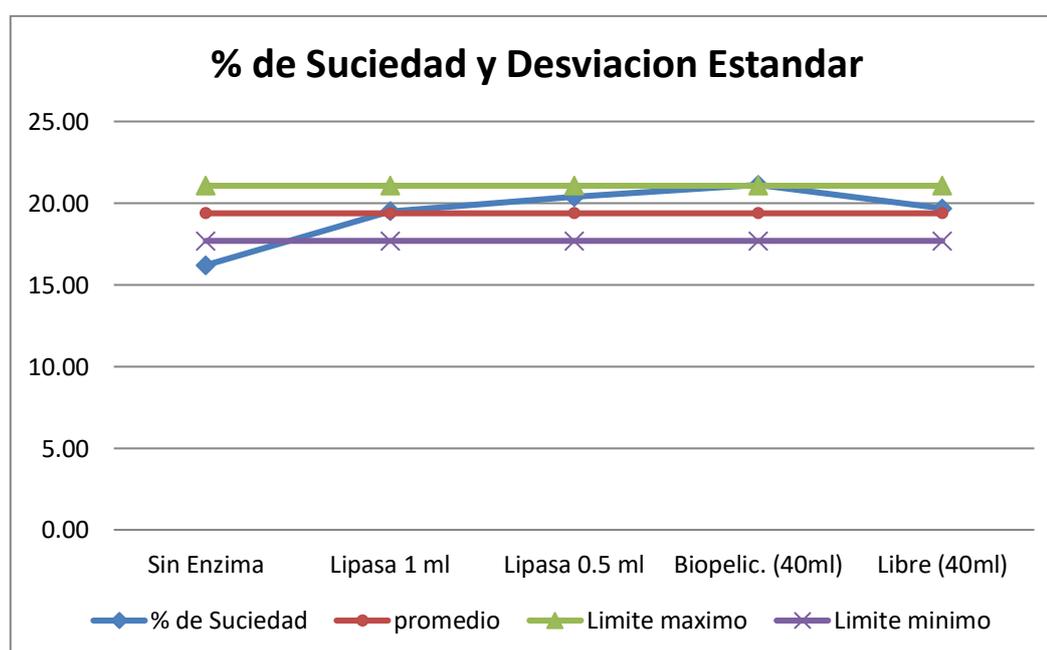


Figura 25 — Gráfico del porcentaje (%) promedio de suciedad eliminada (Fibra Suri) de los distintos tratamientos y Desviación Estándar.

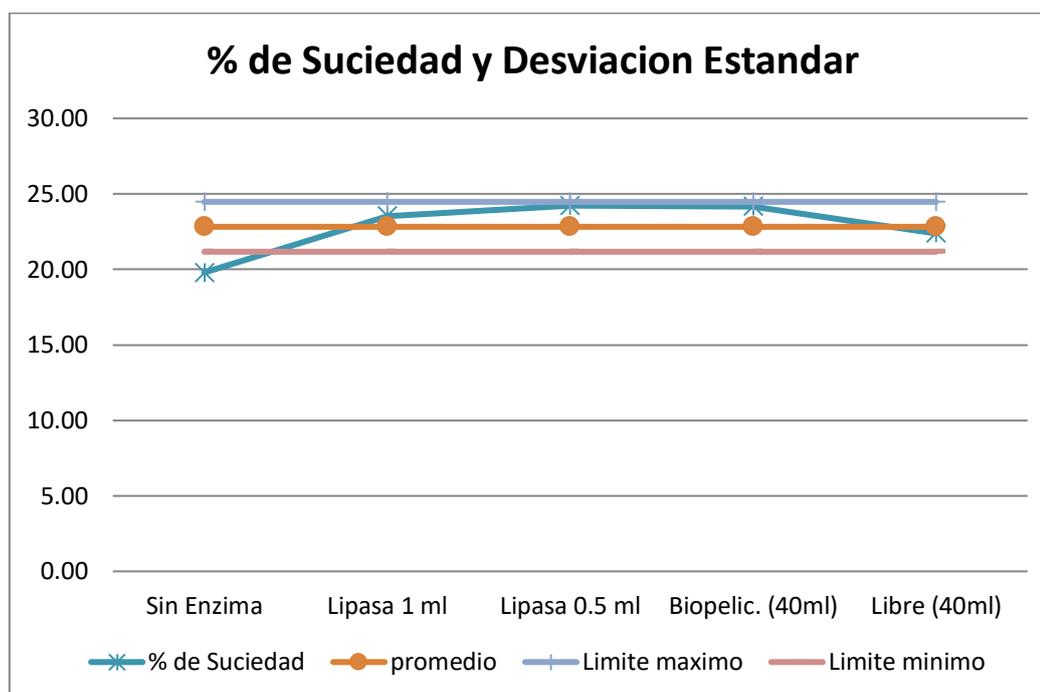


Figura 26 — Gráfico del porcentaje (%) promedio de suciedad eliminada (Fibra Huacaya) de los distintos tratamientos y Desviación Estándar.

- ANOVA para la determinación de la luminosidad

ANOVA Multifactorial - Luminosidad

Variable dependiente: Luminosidad

Factores:

FIBRA

TRATAMIENTO

Número de casos completos: 60

Tabla 21 — Análisis de Varianza para Luminosidad - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:FIBRA	158.503	1	158.503	7.35	0.0090
B:TRATAMIENTO	1410.18	5	282.037	13.08	0.0000
RESIDUOS	1142.5	53	21.5567		
TOTAL (CORREGIDO)	2711.19	59			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Según la tabla 21, ANOVA nos indica que la fibra y los tratamientos influyen significativamente en la luminosidad de la fibra.



Luminosidad del al fibra de alpaca

La figura 27 muestra que el 20,3870% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 0,5ml de lipasa comercial, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 37,69 en promedio.



Figura 27 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 0.5ml de Lipasa.

La figura 28 muestra que el 19.5023% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 1ml de lipasa comercial, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 36,16 en promedio.



Figura 28 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 1ml de Lipasa.

La figura 29 muestra que el 21.1173% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 40ml de enzima Biopelícula, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 30,66 en promedio.



Figura 29 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 40ml de Biopelícula.

La figura 30 muestra que el 19.6808% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 40ml de enzima Libre, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 26.73 en promedio.



Figura 30 — Fibra de alpaca Suri lavado a 35°C con 40ml de Libre.

La figura 31 muestra que el 24.2237% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 0.5ml de Lipasa comercial, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 29.96 en promedio.



Figura 31 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 0.5ml de Lipasa.

La figura 32 muestra que el 23.5287% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 1ml de Lipasa comercial, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 36.86 en promedio.



Figura 32 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 1ml de Lipasa.

La figura 33 muestra que el 24.1747% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 40 ml de enzima Biopelícula, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 23.98 en promedio.

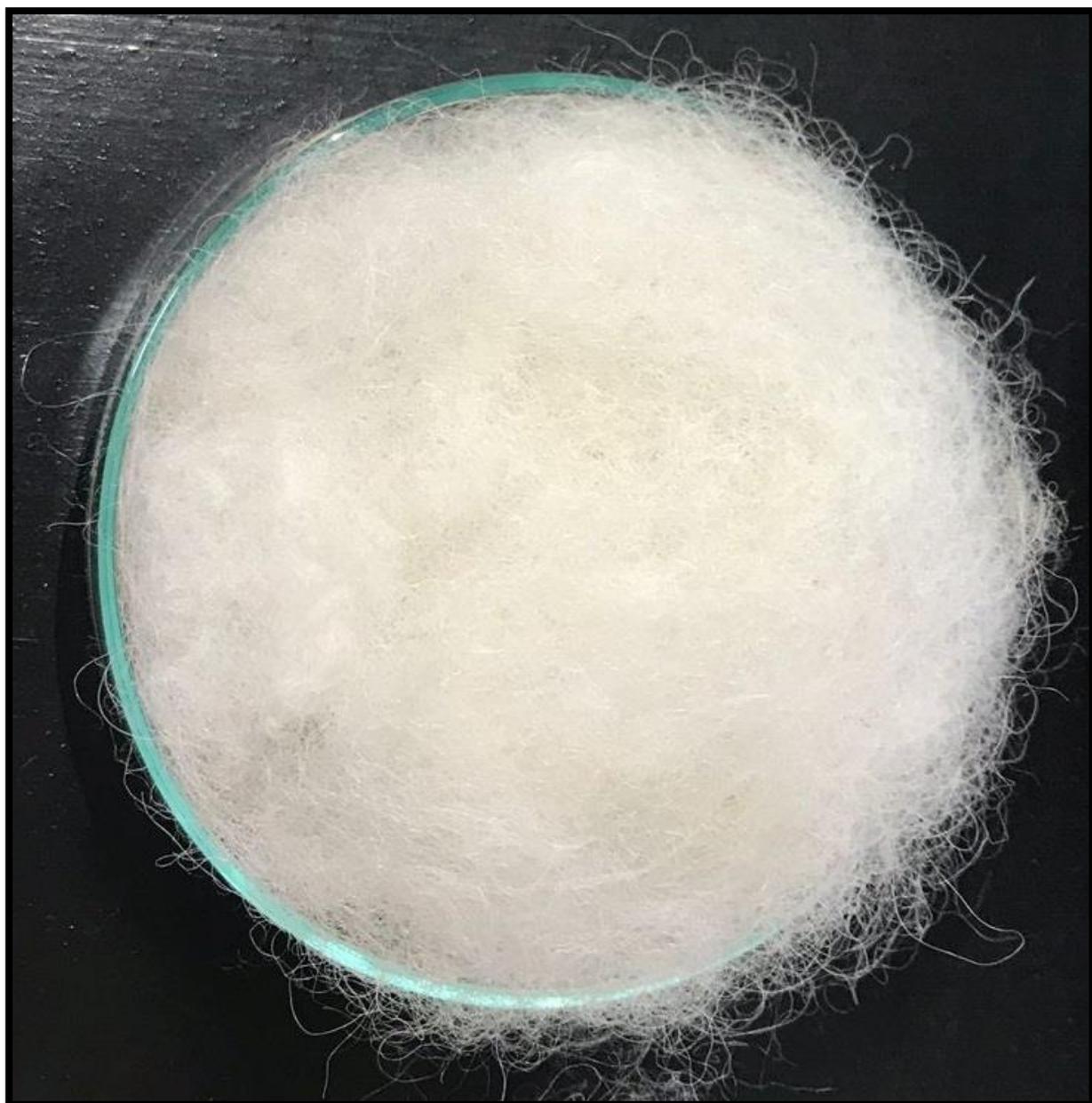


Figura 33 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 40ml de Biopelícula.

La figura 34 muestra que el 22.3890% en promedio, representa la cantidad de suciedad, que fueron retirados a partir de la adición de 40 ml de enzima Libre, además que la luminosidad de dicha fibra es de: 24,40 en promedio.

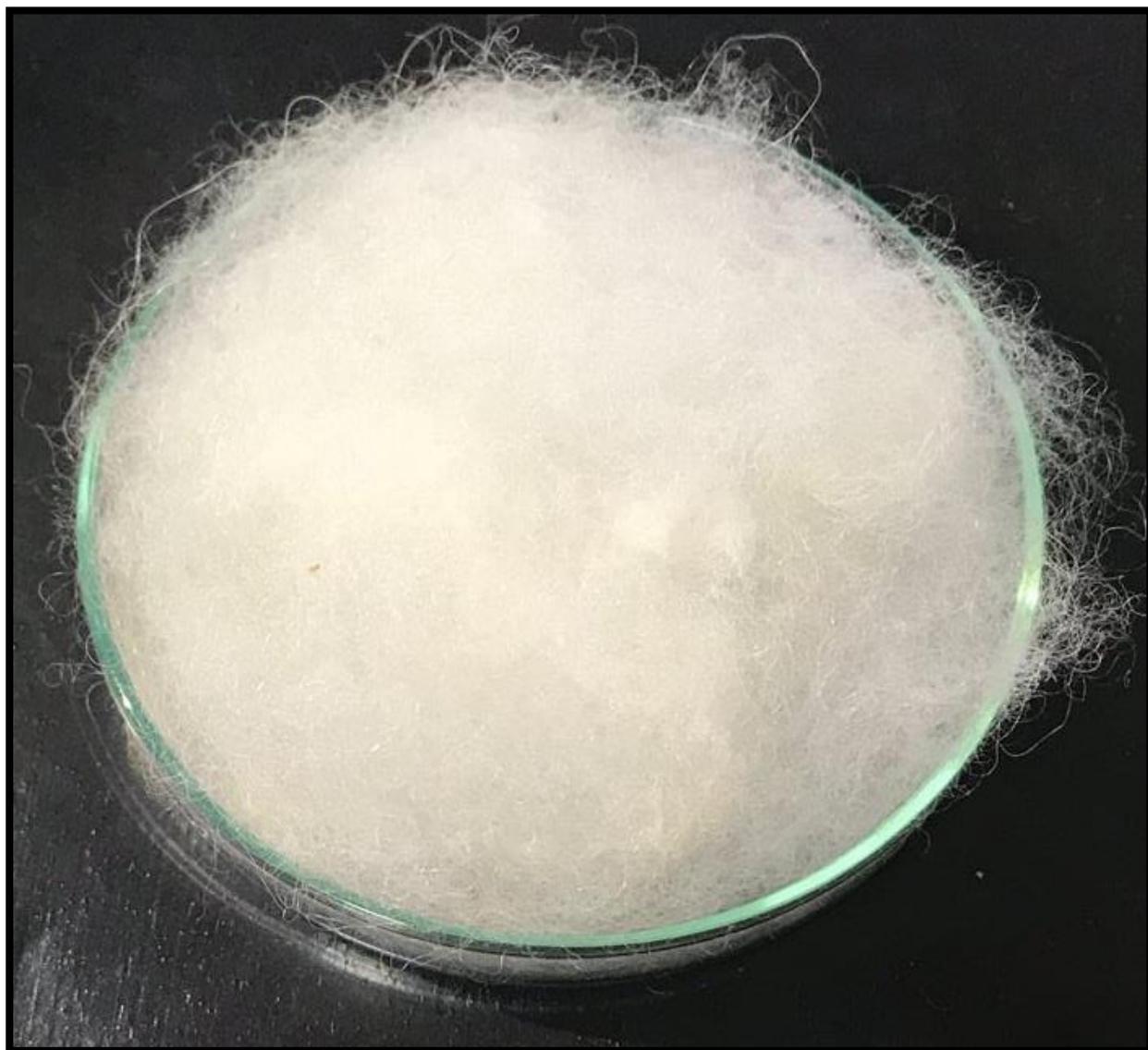


Figura 34 — Fibra de alpaca Huacaya lavado a 35°C con 40ml de Libre.

Trabajabilidad y maleabilidad de la fibra de alpaca

La Tabla 22, reporta el nivel de trabajabilidad y maleabilidad de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa, entre los cuales demuestra resultados favorables. Cuando en el lavado de fibra de tipo Suri se agrega 40 ml de enzima Libre y Biopelícula los resultados de trabajabilidad y maleabilidad después del secado es “Muy Alto” para ambos casos, mientras que en la fibra Huacaya cuando se le agrega 40ml de enzima libre y 40ml de



Biopelícula los resultados de trabajabilidad y maleabilidad después del secado es “Alto” para ambos. Se detalla los demás resultados en la tabla 22.

Tabla 22 — Nivel de Trabajabilidad y Maleabilidad de fibra de alpaca lavada a 35°C con adición de lipasa.

N°	TIPO	Con Enzima	TRABAJABILIDAD	MALEABILIDAD
1	Suri	-	Alto	Alto
2	Suri	Lipasa 1 ml	Alto	Alto
3	Suri	Lipasa 0.5 ml	Alto	Alto
4	Suri	Biopelícula (40ml)	Muy alto	Muy alto
5	Suri	Libre (40ml)	Muy alto	Muy alto
6	Huacaya	-	Muy Bajo	Muy Bajo
7	Huacaya	Lipasa 1 ml	Regular	Regular
8	Huacaya	Lipasa 0.5 ml	Regular	Regular
9	Huacaya	Biopelícula (40ml)	Alto	Alto
10	Huacaya	Libre (40ml)	Alto	Alto

Dato: (*) La muestra 1 (Suri) y 6 (Huacaya), no se le añadió ninguna enzima, solamente se realizó el lavado con solución agua – detergente. La Trabajabilidad y Maleabilidad medimos de acuerdo a 5 niveles: Muy alto, Alto, Regular, Bajo, Muy Bajo.

5.2. Discusión

5.2.1. Caracterización de la suciedad de fibra de alpaca

Contenido de humedad

- Los valores promedio de humedad de las muestras de fibra de alpaca Suri y Huacaya fueron de $8.7654\% \pm 0.48451$ y de $10.4753\% \pm 0.16899$ respectivamente; son valores por debajo en comparación con lo que detalla **Wang et al. (2003)** para toda fibra de alpaca (variedad Suri y Huacaya), quienes aseguran que el contenido de humedad en la fibra de alpaca es por lo común de 12%; y **Carpio (1991)**, afirma que el contenido de humedad es del 14%. Sin embargo, los valores encontrados en la presente investigación están por encima del contenido de humedad establecido por la NTP.231.301:2014, donde se afirma un 8% como máximo para todas las variedades de fibra de alpaca. Estas diferencias se atribuyen, primero a las condiciones de crianza y de pastoreo extensivo que están inmersos dichos animales, y segundo a las diferentes técnicas de selección y acondicionamiento que se le da a la fibra, si bien es cierto que **Wang et al. (2003)** y **Carpio (1991)** inician su



investigación con grandes volúmenes de fibra no seleccionada, que además poseen demasiadas impurezas impregnadas en la superficie que contienen bastante humedad, por ello que los resultados del contenido de humedad son altos, también indicar que la no selección se debe al carácter netamente de pérdidas y rendimientos de fibra. Para el caso de esta investigación especificar que se hizo con una minúscula selección y acondicionamiento, debido a la cantidad ínfima utilizada (10 gramos aproximadamente) que también es un detalle muy importante a mencionar. Para el caso de la NTP.231.301:2014 se hace uso de una serie de parámetros de selección, acondicionamiento y cantidad de fibra, es por ello que los resultados sugeridos acerca del contenido de humedad demuestran ser ajustados al real óptimo. Comparando los resultados obtenidos con los establecidos por la NTP.231.301:2014 y por los autores antes mencionados, podemos reportar que se encuentran dentro del rango establecido.

Impurezas en la fibra de alpaca

- La fibra de alpaca recolectada de la zona de Izcahuaca inicialmente se mostró con un aspecto no agradable al contacto con las manos, con un alto grado de suciedad, con restos de estiércol, componentes pequeños (talluelos de hierba seca, tierra, etc.) impregnados en la fibra, con un olor característico y con una tonalidad desde el color crema pardo hasta un color blanco pardo tal y como muestra la figura 20, esta condición de la fibra hace referencia netamente al pastoreo extensivo y la crianza rústica y tradicional que se practica en esta zona. En concordancia con lo que reporta **Wang et al. (2003)** al afirmar que la fibra de alpaca contiene grasas (provenientes de las glándulas sebáceas), impurezas orgánicas (orina, excremento, componentes orgánicos del suelo), suint (secreción de las glándulas sudoríparas), impurezas inorgánicas (arcilla y arena), materia vegetal y agua, aunque en proporciones diferentes a las presentes en la lana de oveja, ya que contiene menos grasa y suint.
- Si bien la investigación tuvo como uno de los objetivos determinar la calidad de la fibra, necesariamente tuvimos que centrarnos en el inicio del proceso, en el cual utilizamos fibras sucias que pasaron por la etapa de lavado, también es importante señalar que la suciedad impregnada en la fibra de alpaca tuvo que ser retirada por un sistema no complejo pero con parámetros establecidos para muestras de pequeñas cantidades. Para poder retirar la suciedad se planteó



utilizar primero agua, pero para darle más eficiencia se aumentó temperatura, como también detergente, es entendido que estos tienen un poder emulsionante (acción de limpieza) que se usa para eliminar suciedad. En el procesamiento de la fibra de alpaca, la etapa de lavado es muy importante, la fibra recolectada inicialmente contenía bastante impureza en su superficie (figura 20), en paralelo también se planteó la eliminación de esa suciedad utilizando componentes y parámetros tales que sean eficientes en el proceso: la manipulación de agua a 35°C fue la primera (figura 21), seguido de la mezcla de detergente comercial con la adición de lipasas (para la eliminación de grasas), estas se dan con el único propósito de retirar por completo la suciedad adheridas en el la fibra de alpaca. Lo que se concuerda con lo que reporta **Wang et al (2003)**, en un estudio sobre las propiedades y calidad de la fibra de alpaca en su procesamiento, indican que la adición de agua es insuficiente para desalojar la suciedad de la fibra, principalmente debido a la ineficiente humectación y altas tensiones superficiales involucradas por el contenido graso de la fibra. Sin embargo, la adición de agua caliente por encima del punto de fusión (35°C) la cera la hace maleable y permite el acceso a los compuestos tensioactivos que se les pueda agregar. La adición de detergente con compuestos tensioactivos y surfactantes es un fenómeno complejo que implica la humectación, la adsorción, la suspensión y la disolución de material no polar (es decir la suciedad) en micelas. Implica la eliminación de la suciedad (cera o grasa de lana y material particulado como suciedad y escamas de piel) de lana grasosa. Por lo tanto, la detergencia está dirigida en la eliminación de contaminantes por la acción de los tensioactivos y surfactantes. Los surfactantes son sustancias químicas con propiedades especiales en el agua, sus moléculas tienen dos partes, una es atractivo al agua (hidrofílico) y la otra parte no lo es (hidrofóbico). Generalmente, los tensioactivos no iónicos son los mejores detergentes, principalmente debido a sus propiedades dispersantes y el hecho de que no se ven afectados significativamente por el agua dura y temperatura.

Análisis con Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (Ft-Ir)

- Respecto a los espectros infra rojos obtenidos de las fibras de alpaca variedades Suri y Huacaya, que se observa en la figura 17, al comparar los espectros de las dos variedades Suri y Huacaya, ello nos indica la presencia de proteínas, estas dos áreas de barrido de espectros son casi idénticas en todas



la regiones sobre todo en la región de 1650 a 1500 cm^{-1} , con respecto a lo mencionado y en concordancia lo que reporta **Abdullah et all. (2018)**, ellos argumentan que los grupos amidas de las proteínas en fibra de alpaca se sitúan en esta área (estiramiento enlace N/H), se observa así mismo en los espectros donde están los tratamientos de lavado que esta área no sufre ningún cambio, esto indica que el proceso de lavado no causa ninguna modificación en estos grupos amidas, por lo que las proteínas de la fibra de alpaca se conservan adecuadamente y supone que el proceso de lavado no causa alteraciones a considerar en la integridad y propiedades funcionales de la fibra.

Por otra parte la región del rango de longitud de onda de 1100 a 900 cm^{-1} , según el espectro que está en anexos de grupos funcionales en esa región están compuestos inorgánicos a base de titanios y sulfatos inorgánicos, estos compuestos están presentes en la tierra y en el proceso de lavado se observa claramente que reducen, por lo que el proceso de lavado se comprueba con estos espectros, esto se verifica la biblioteca de espectros FTIR del muestreador de fase condensada Nicolet™.

5.2.2. Procedimiento de lavado de fibra de alpaca utilizando lipasas comerciales

- De acuerdo al proceso de lavado de la fibra de alpaca, la temperatura utilizada fue de 35°C debido a varios criterios, primero que la acción de limpieza es mejor en comparación con un lavado a una temperatura de 20 °C, esto debido a que los resultados visuales y propiedades de la fibra post secado así lo confirman, el segundo criterio a tomar en cuenta es que a vista en el microscopio la fibra mostró una mejor limpieza en referencia de un lavado a 20 °C el cual muestra restos de microcristales propios del detergente (Figuras 22, 23 y 24). La temperatura de lavado de la fibra de alpaca es importante así como puntualmente manifiesta **Wang et al (2003)**, ellos indican que la eliminación de los componentes de la suciedad de la fibra de alpaca se da primero con el sudor o “suint” (cloruro de potasio del sudor) que es fácilmente soluble en agua, luego están varios ácidos grasos libres de cadena corta y larga, los que son solubles en agua tibia (mayores a 30°C), luego se encuentra la orina seca, esta tenderá a eliminarse en los mismos procesos que el suint hasta cierto punto. Ellos también mencionan que los compuestos tensoactivos y surfactantes presentes en el detergente son accesibles a los ácidos grasos de cadena larga (ceras) gracias a que el agua caliente entra en contacto con la cera (punto de fusión de 35°C) y estos a la



vez se hacen maleable y fácil de mezclarse. Si bien el proceso de lavado a nivel de mezcla de componentes y reacciones químicas indica que es un fenómeno complejo (humectación, adsorción, suspensión, disolución, etc.), todo esto implica la eliminación de la suciedad de la fibra de alpaca.

- Dado el procedimiento de lavado de fibra de alpaca que fue realizado en el presente trabajo, el cual solamente tomamos parámetros a nivel de la cantidad de muestra, es decir que para 10 gramos de fibra de alpaca utilizamos una solución de detergente, solución de lipasas, agitado a 60 rpm por dos minutos, etc.; esto con el simple hecho de que tomamos criterio en base a la cantidad de fibra y a la guía de material bibliográfico, esto demuestra lo que dice **Saldaña (2017)**, quien afirma que el proceso de lavado se da en recomendación de la bibliografía utilizada argumentando que también se toma en cuenta el criterio de la persona responsable del proceso, esto según a su experiencia y la literatura usada, también señala que gracias a ello se proporcionara una metodología acorde para todo el proceso de lavado.

5.2.3. Evaluación de la calidad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

Variación de suciedad de la fibra de alpaca lavada convencionalmente y con el uso de lipasas.

- Los datos reportados en la Tabla 20, responden al actuar de la lipasa en el lavado de fibra de alpaca, si bien hay una gran diferencia si comparamos las dos variedades (Suri y Huacaya), dado esto por el simple hecho que si mencionamos términos de racialidad y forma de la fibra; por lo contrario tenemos que admitir que el patrón de retiro de suciedad en ambas variedades es similar, es decir que a medida que agregamos lipasa a la solución de detergente para lavar la fibra, esto nos dará resultados óptimos en términos de retiro de suciedad, demostrando que hay efectividad de las lipasas con respecto a las grasas presentes en la fibra de alpaca. En concordancia con lo antes mencionado **Leeder et al. (1985)**, citado por **Bunsel (2018)** reporta que la fibra de alpaca posee una capa química (probablemente monocapa) de ácido graso en la superficie de la fibra. Esta capa es responsable de la naturaleza



hidrofóbica de la fibra de los animales y afecta el comportamiento de procesamiento, rendimiento de acabado (teñido) y propiedades de uso final (estéticas) como el tacto, la suavidad, la contracción por lavado, etc. La eliminación de esta capa permite especificar y controlar todas las propiedades superficiales. La principal acción de la lipasa es de romper ácidos grasos y separarlos de la fibra como nos indica (**Bornscheuer, 2002; Gupta et al., 2004**), citado por **Bunsel (2018)** las lipasas son éster hidrolasas carboxílicas que rompen los enlaces éster de los acilglicéridos mediante la adición de una molécula de agua, dando lugar a ácidos grasos libres y glicerol.

Trabajabilidad y maleabilidad de la fibra de alpaca Suri y Huacaya

- De acuerdo a los resultados reportados en la tabla 22, la trabajabilidad y maleabilidad toman valores en función a cinco niveles: muy alto, alto, regular, bajo y muy bajo; estos tomados de acuerdo a criterio técnicos de medición. Si bien en los resultados se extrajo 4 de los 5 niveles (muy alto, alto, regular y muy bajo) a diferentes condiciones de adición de enzimas, se destaca que los añadidos por enzimas hechas en laboratorio (Libre y Biopelícula) para los dos tipos de fibra de alpaca (Suri y Huacaya) reportan tener mejor nivel de trabajabilidad y maleabilidad (muy alto y alto). **Wang et al (2003)** indica que: “La trabajabilidad en fibras de camélidos sudamericanos, es un indicador que muestra la facilidad con la que una fibra puede ser procesada o manipulada durante la fabricación de productos textiles”. Se trata de una propiedad que afecta la eficiencia y la calidad de los procesos de hilado, tejido y otras técnicas de transformación de fibras. También asevera que: “La maleabilidad en fibras de animales, especialmente en el ámbito textil, la maleabilidad se refiere a la capacidad de la fibra para ser estirada, retorcida o comprimida sin que se rompa o se debilite significativamente”. Cuando una fibra es maleable, es más fácil trabajar con ella durante el proceso de tejido, hilado o cualquier otro proceso de fabricación textil. La maleabilidad también puede influir en la calidad del tejido final y en las características del producto textil, como su resistencia, flexibilidad y durabilidad.

Dicho esto, los conceptos establecidos por **Wang et al (2003)** concuerdan con los niveles establecidos para los parámetros de medida de la calidad de la fibra de alpaca (trabajabilidad y maleabilidad).



Luminosidad de la fibra de alpaca Suri y Huacaya

- Los valores reportados de la luminosidad con el colorímetro PCE – CSM7, tanto para fibra de alpaca Suri como Huacaya (ver ANEXO 9) responden en primer lugar al fenotipo de la especie, ósea que dependen mucho de la variedad, en segundo lugar talvez no tan relevante pero si muy importante, es la manipulación de la fibra en el equipo (colorímetro), si bien el equipo es muy sofisticado y con muy alta precisión, el simple hecho de la mala manipulación de la muestra, este arrojará valores no incoherentes pero si muy alejados a lo real. En tercer y último lugar dependerá de factores externos como la intemperie al cual fue sometido el animal, también de un correcto lavado de la fibra. Estos factores influyen en la luminosidad de la fibra, esto lo afirmamos después de un análisis post resultados, con ello de alguna manera y en síntesis aseveramos lo que reporta **AGROBANCO UNALM (2012)**, el cual indica que: “La coloración normal de la fibra, depende de factores raciales, ambientales, etc., fibras blancas, deben exhibir brillo o lustro como signo de un normal crecimiento, poco daño por intemperie y suficiente protección natural dada por la grasa de la fibra.” Según a los resultados de la investigación se confirma que la luminosidad de la fibra también dependerá del lavado y con la adición de lipasas.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La caracterización de la fibra de alpaca (Huacaya y Suri) recién recolectada de la zona de Iscahuaca, nos mostró el contenido de impurezas tanto orgánicas e inorgánicas. En tal sentido el porcentaje de impurezas naturales fue del 15.3% para fibra de alpaca Suri, mientras las impurezas adquiridas fue del 84.7% para la misma variedad de alpaca. Para la fibra de alpaca Huacaya el porcentaje de impurezas naturales fue de 15.2% mientras que las impurezas adquiridas fue de 84.8%. Utilizando Espectrometría Infra Roja FTIR, se determinó que en la fibra de alpaca (sucia) de las dos variedades, existe grupos funcionales como los fosfatos inorgánicos indicador de presencia de tierra, titanatos inorgánicos indicador de presencia de arcillas, esterres aromáticos indicador de presencia de ácidos grasos, sulfóxidos aromáticos indicador de presencia de orinas o estiércol que está adherida a la fibra.
- Se estableció que el proceso de lavado para la fibra de alpaca (Huacaya y Suri) a una temperatura de 35°C con muestras que rondan los 10g, necesariamente se utiliza una solución de detergente (1,5g de detergente comercial por 500ml de agua), y la adición de lipasas (enzima Libre y Biopelícula) en diferentes concentraciones; el lavado también emplea parámetros como el removido (60rpm por 2 minutos) de la fibra sucia con la solución de detergente y lipasa, el proceso culmina con dos réplicas de enjuague en 500ml de agua destilada a 20°C con una remoción de 60rpm por 1 minuto.
- La calidad de la fibra (post lavado y secado) se midió en base a parámetros como la luminosidad, trabajabilidad y maleabilidad. Concordante a lo manifestado el orden de la luminosidad el cual demuestra la tendencia más al blanco, para la fibra de alpaca Suri fue: en primer lugar la fibra lavada con 0.5ml de lipasa; en segundo lugar la fibra lavada con 10ml de lipasa; en tercer lugar la fibra lavada con 40ml de enzima Biopelícula; en cuarto lugar la fibra lavada que se agregó enzima, y en último lugar fibra lavada con 40ml de enzima Libre. Para el caso de la fibra de



alpaca Huacaya, el orden con tendencia más al blanco fue; en primer lugar la fibra lavada pero sin la adición de enzima, en segundo lugar la fibra lavada con 1ml de lipasa; en tercer lugar la fibra lavada con 0.5ml de lipasa; en cuarto lugar la fibra lavada con 40ml de enzima Libre y en último lugar la fibra que fue lavada con 40ml de enzima Biopelícula.

El nivel de trabajabilidad y maleabilidad dependerán de la adición de lipasa, es “Alto” y “Muy alto” en la fibra de alpaca Huacaya y Suri respectivamente, cuando estas fibras estén a condiciones de lavado de 35°C. Bajarán el nivel para ambos tipos de fibra, siempre y cuando no se agregue lipasa en proceso de lavado.

6.2. Recomendaciones

- Dentro de la caracterización de fibra de alpaca, necesariamente se debe tener en cuenta aspectos como: la selección y la homogenización de muestras (las fibras deben ser similares en tamaño, forma, peso, suciedad, etc.) todo esto para su correspondiente evaluación, así evitaremos no alterar el comportamiento de resultados.
- Se debe optimizar el proceso de lavado de fibra de alpaca utilizando equipos de lavado acordes al peso de las muestras, siempre considerando parámetros como temperatura, la remoción y el tiempo de lavado.
- Para poder evaluar la calidad de la fibra de alpaca siempre debemos considerar patrones de muestra, esto para poder realizar comparaciones y consecuentemente determinar criterios de evaluación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLAH AL FARUQUE, RECHANA REMADEVI, XUNGAI WANG, MARYAM NAEBE. 2019. "Preparation and characterisation of mechanically milled particles from waste alpaca fibres" Rev. Powder Technology 342 (2019) 848–855 DOI <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.049>
- ACEVES DIEZ, A. E., & CASTAÑEDA SANDOVAL, L. M. (2012). *Producción biotecnológica de lipasas microbianas, una alternativa*. Recuperado el 19 de Marzo de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/1698/169825291001.pdf>
- AGROBANCO UNALM (2012). "Asistencia técnica dirigida en caracterización y clasificación de fibra de alpaca." pp.28. Lima – Perú. www.agrobanco.com.pe
- ASHOKKUMAR, R., RAMASWAMY, M., 2014. *Cribado fitoquímico por espectroscópico FTIR análisis de extractos de hojas de plantas medicinales indias seleccionadas*. En t. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 3 (1), 395-406. Bak
- BAKER, MJ, TREVISAN, J., BASSAN, P., BHARGAVA, R., BUTLER, HJ, DORLING, KM, FIELDEN, PR, FOGARTY, SW, FULLWOOD, Nueva Jersey, Heys, KA, Hughes, C., Lasch, P., Martin-Hirsch, PL, Obinaju, B., Sockalingum, GD, Sulé-Suso, J., Strong, RJ, Walsh, MJ, Wood, BR, Gardner, P., Martin, FL, 2014. *Utilización de la espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier para analizar materiales biológicos*. Nat. Protocolos. 9 de octubre de 1771-1791. <https://doi.org/10.1038/nprot.2014.110>.
- BEN BACHA, ABIR., y otros. *Evaluation of a novel thermo-alkaline*. Arabia Saudita: s.n., 2016.
- BERTHOMIEU, C., HIENERWADEL, R., 2009. *Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)*. Photosynth. Res. 101, 157-170. <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>.
- BUITRAGO, MF, GROEN, TA, HECKER, CA, SKIDMORE, AK, 2016. *Cambios en la temperatura espectros difusos de las plantas causados por la temperatura y el estrés hídrico*. ISPRS J. Photogramm. Sensores remotos 111, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.11.003>.
- BUNSELL, A. *Handbook of properties of textile and technical fibers*. Second edition, 2018. pp. 1054. Editorial: Elsevier. Reino Unido (2018)
- BUREAU, S., COZZOLINO, D., CLARK, CJ, 2019. *Contribuciones de la transformada de Fourier espectroscopia frared (FT-MIR) al estudio de frutas y hortalizas: una revisión*. *Postharv. Biol. Technol.* 148, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.0003>



- BUSTINZA, V. (2001). *La alpaca, conocimiento del gran potencial andino*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 343 pág.
- CRUZ, A., 2017. *Parámetros genéticos de caracteres funcionales y secundarios en alpacas*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- DE LOS RÍOS, E. *Producción textil de fibras de camélidos sudamericanos en el área altoandina de Bolivia, Ecuador y Perú*. s.l. : Organización de las Naciones Unidas para el, 2006.
- DIVAKAR. (2013). *Transformacion de la enzima* . doi:10.1007./978-81-322-0873-0
- EURING, D., Löffke, C., Teichmann, T., Polle, A., 2012. *La fertilización con nitrógeno ha difdiferencial miffectos sobre la asignación de N y la lignina en dos Populus especies con ecología contrastante*. Árboles- Struct. Funct. 26 de octubre de 1933-1942. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0761-0>.
- FRANK E, HICK M, GAUNA C, LAMAS H, RENIERI C AND ANTONINI M 2016. Phenotypic and genetic description of fibre traits in South American domestic camelids (llamas and alpacas). *Small Ruminant Research* 61, 113–129.
- FREIRE, J. *Uso de detergente biodegradable más bicarbonato de sodio en el lavado de fibra de alpaca (Vicugna pacos)*”, Riobamba, Ecuador - 2021. Trabajo de Titulación (Título de Ingeniero en Industrias Pecuarias). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021. 75 pp.
- GARCÍA J. Y MONTOYA L. (2017). *Evaluación de la incorporación de enzimas proteasas en un detergente líquido para la remoción de manchas de sangre, aplicando la metodología de diseño de productos químicos*. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Colombia.
- GUTIÉRREZ, JP, VARONA, L., PUN, A., MORANTE, R., BURGOS, A., CERVANTES, I., PÉREZ-CABAL, MA, 2011. *Parámetros genéticos para el crecimiento del diámetro de la fibra en alpacas*. *Journal of Animal Science* 89, 2310–2315.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. & MENDOZA, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- HETRICK, EM, VANNOY, J., MONTGOMERY, LL, PACK, BW, 2013. *Integrating tristimulus colorimetría en el desarrollo farmacéutico para la selección del color y el control de la apariencia física: un enfoque de calidad por diseño*. *Revista de Ciencias Farmacéuticas* 102, 2608–2621.
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2012) *IV Censo Nacional Agropecuario 2012.(CENAGRO 2012)*. INEI. Lima. Perú.
- IZARRA, M. L., SANTAYANA, M. L., VILLENA, G. K., Y GUTIÉRREZ-CORREA, M.



- (2010). Influence of inoculum concentration on cellulase and xylanase production by *Aspergillus niger*. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, XIII (2).
- JACHO M. (2018). *Capacidad de eliminación en residuos orgánicos en limas-k a nivel del tercio coronal, medio y apical utilizando ultrasonido vs limpieza manual en dientes uniradiculares. Estudio in vitro*. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Odontología
- JUNFENG, JI. YUN, GE. WILLIAM, BALSAM. DAMUTH, JOHN E. CHEN, JUN RAYMO, ME, 2008. *Identificación rápida de dolomita utilizando un espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR): un método rápido para identificar eventos de Heinrich en el sitio IODP U1308, PA1008*.doi: 10.1039 / 2008PA001071.
- KIZZURBLOOD. (26 de Abril de 2017). Obtenido de kizzurblood: http://kizzurblood.blogspot.com/2012/06/2_913.html
- MARTÍNEZ, F., 2011. *Diseño de un colorímetro triestímulo a partir de una cámara CCD-RGB*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España
- MCGREGOR. BA, TUCKER, DJ. *Affect of nutrition and origin on the amino acid, grease and suint composition and colour of cashmere and guard hairs*, *J Appl Polym Sci* 117:409e420, 2010.
- MCGREGOR, BA. *Weathering, fibre strength and colour properties of processed white cashmere*, *J Text Inst* 107:1193e1202, 2016.
- MIRANDA, L. *Efecto del diámetro medular en el teñido en fibras de alpaca Huacaya*, Arequipa - 2022. Tesis doctoral (Doctora de Ingeniería de Procesos). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2022. 103 pp.
- MORANTE, R., GOYACHE, F., BURGOS, A., CERVANTES, I., PÉREZ-CABAL, MA, GUTIÉRREZ, JP, 2009. *Mejoramiento genético para la producción de fibra de alpaca en el altiplano peruano: la experiencia de Pacamarca*. Información sobre recursos zoogenéticos 45, 37–43.
- MORENO, C., 2015. *Ingeniería de la síntesis de triglicéridos de ácidos omega-3 y de antioxidantes protectores catalizados por lipasas*. Madrid.
- NARANJO. (2015). *Obtención de enzimas lipasas para el desdoblamiento de grasas y aceites de la industria*. Guayaquil.
- PARIONA, J. *Rendimientos de Categorización y Clasificación de fibra de alpaca (Vicugna pacos)*, Lima - 2017. Tesis (Magister en Scientiae en Producción Animal). Lima: Universidad Agraria La Molina, 2017. 81 pp.
- PAZ, P. Y GARCIA, E. *Obtención de enzimas lipasas fúngicas, para complemento en la producción de jabones y detergentes usados en la hidrólisis de lípidos*, Guayaquil -



2017. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2017. 95 pp.
- PINARES, R., GUTIÉRREZ, G., CRUZ, A., BURGOS, A., GUTIÉRREZ, JP, 2019. *Variabilidad fenotípica del porcentaje de fibras meduladas en el vellón de alpaca Huacaya*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 30, 699–708.
- PINARES, R., GUTIÉRREZ, GA, CRUZ, A., MORANTE, R., CERVANTES, I., BURGOS, A., GUTIÉRREZ, J. P., 2018. *Heredabilidad de la medulación de fibras individuales en alpacas peruanas*. Investigación sobre pequeños rumiantes 165, 93–100.
- QUISPE, E., RODRÍGUEZ, T., IÑIGUEZ, L. y MUELLER, J. (2009). *Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica*. Animal Genetic Resources Information; 45,1.14.
- RAMOS, V., 2018. *Parámetros foliculares de tres regiones corporales y su relación con características de la fibra de alpaca (Vicugna pacos)*. Revista de Investigaciones de la Escuela de Pos grado UNA – Puno. Vol. 7 (Nº 4), 774 – 778. Puno, Perú.
- REQUENA, J; et al. *Rendimiento al lavado de la fibra clasificada de alpaca huacaya (Vicugna pacos)*, Huancavelica - 2019. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Zootecnista). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2019. 70 pp.
- RIBEIRO DA LUZ, B., 2006. *Retotal atenuada de espectroscopia de reflectancia de hojas de plantas: una herramienta para estudios ecológicos y botánicos*. Nuevo Phytol. 172, 305-318. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01823.x>.
- ROSAS. A., 2011. *Study of the main characteristics of greasy alpaca fiber and the conditions of its washing process*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/169>
- SALDAÑA, L. *Categorización, Clasificación y Procesamiento Industrial de la fibra de alpaca*, Lima - 2015. Tesis (Título de Ingeniero Zootecnista). Lima: Universidad Agraria La Molina, 2017. 76 pp.
- SANKARAN, S., MAJA, JM, BUCHANON, S., EHSANI, R., 2013. *Huanglongbing (enverdecimiento de los cítricos) detección mediante técnicas de imagen térmica, infrarroja cercana y visible*. Sensores 13, 2117-2130. <https://doi.org/10.3390/s130202117>.
- SHARMA, D., 2001. *Producción, purificación, caracterización y aplicaciones de lipasas*.
- SMITH, BC, 2011. *Fundamentos de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier*, segundo edición. Prensa CRC; Taylor & Francis Group, Boca Raton, Londres, Nueva York. <https://doi.org/10.1201/b10777>.
- SHARMA, PUSHPINDER., y otros, y otros. *Purification and characterization of lipase by*.



- Nauni, Solan. : s.n., 2017.
- TALARI, ACS, MARTÍNEZ, MAG, MOVASAGHI, Z., REHMAN, S., REHMAN, IU, 2017. *Avances en la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de tejidos biológicos*. *Apl. Spectrosc. Apocalipsis* 52, 456-506. <https://doi.org/10.1080/05704928.2016..1230863>.
- TRAORÉ, M., KAAL, J., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., 2018. *Diffdiferenciación entre pinares según especie y lugar de cultivo utilizando FTIR-ATR*. *Wood Sci. Technol.* 52, 487-504. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0967-9>.
- TREJO, W. 2017. *Clases del curso Producción de Camélidos Sudamericanos*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- USMAN, K., AL-GHOUTI, MA, ABU-DIEYEH, MH, 2019. *La evaluación del cadmio, tolerancia y bioacumulación de cromo, cobre y níquel por la planta arbustiva Tetraena qataranse*. *Sci. Rep.* 2019 (9), 5658. <https://doi.org/10.1038/s41598-01942029-9>.
- VILLENA, G. K., Y GUTIÉRREZ-CORREA, M. (2006). Production of cellulase by *Aspergillus niger* biofilm developed on polyester cloth. *Letters in Applied Microbiolog*, 43, 262-268.
- WANG XUNGA, WANG LIJING AND XIU LIU 2003. *The Quality and Processing Performance of Alpaca Fibres*. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation



ANEXOS

ANEXO 1. Para la producción de Lipasas en laboratorio.

Tipo de Cultivo

Con el fin de producir lipasas se procedió a desarrollar dos tipos de cultivo: cultivo sumergida (micelio libre) y cultivo por adhesión a superficies.

Los cultivos se efectuaron por 120 horas a 35°C en agitación de tipo orbital (175 rpm)

A. Cultivo Sumergido

Para este tipo de cultivo, se tomaron 4 matraces con 70 ml del medio de cultivo y se inocularon el 3% v/v de la suspensión de esporas de *A niger* (2,1 ml). Luego se procedió a pasar a una incubación por 120 horas a una Temperatura de 35°C con agitación orbital a 175 rpm. Izarra et al. (2010)

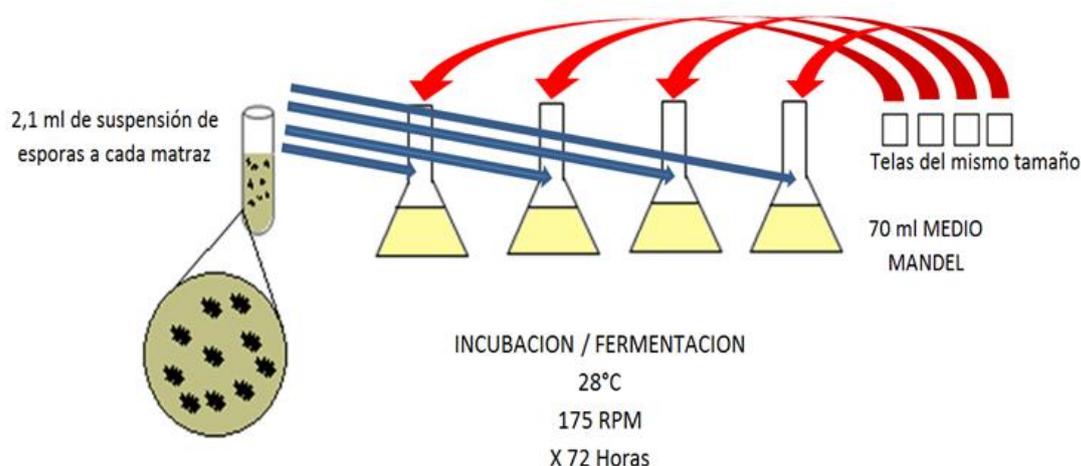


Figura 35 — Cultivo sumergido. Elaborado por el investigador

B. Cultivo por adhesión a superficies

Para este tipo de cultivo se procedió a inocular con 2,1 ml de la suspensión de esporas de *A. niger* directamente sobre una matriz de sujeción (tela poliéster) con unas dimensiones de 3.1 x 3.1 cm de lado, en cuatro matraces que contenían 70 ml de agua estéril, se agitaron a 175 rpm por 15 minutos y se efectuó dos lavados con el mismo procedimiento, luego las telas se transfieren cada uno a matraces que contienen 70 ml del medio de cultivo para iniciar el cultivo por adhesión (Villena y Gutiérrez, 2006).



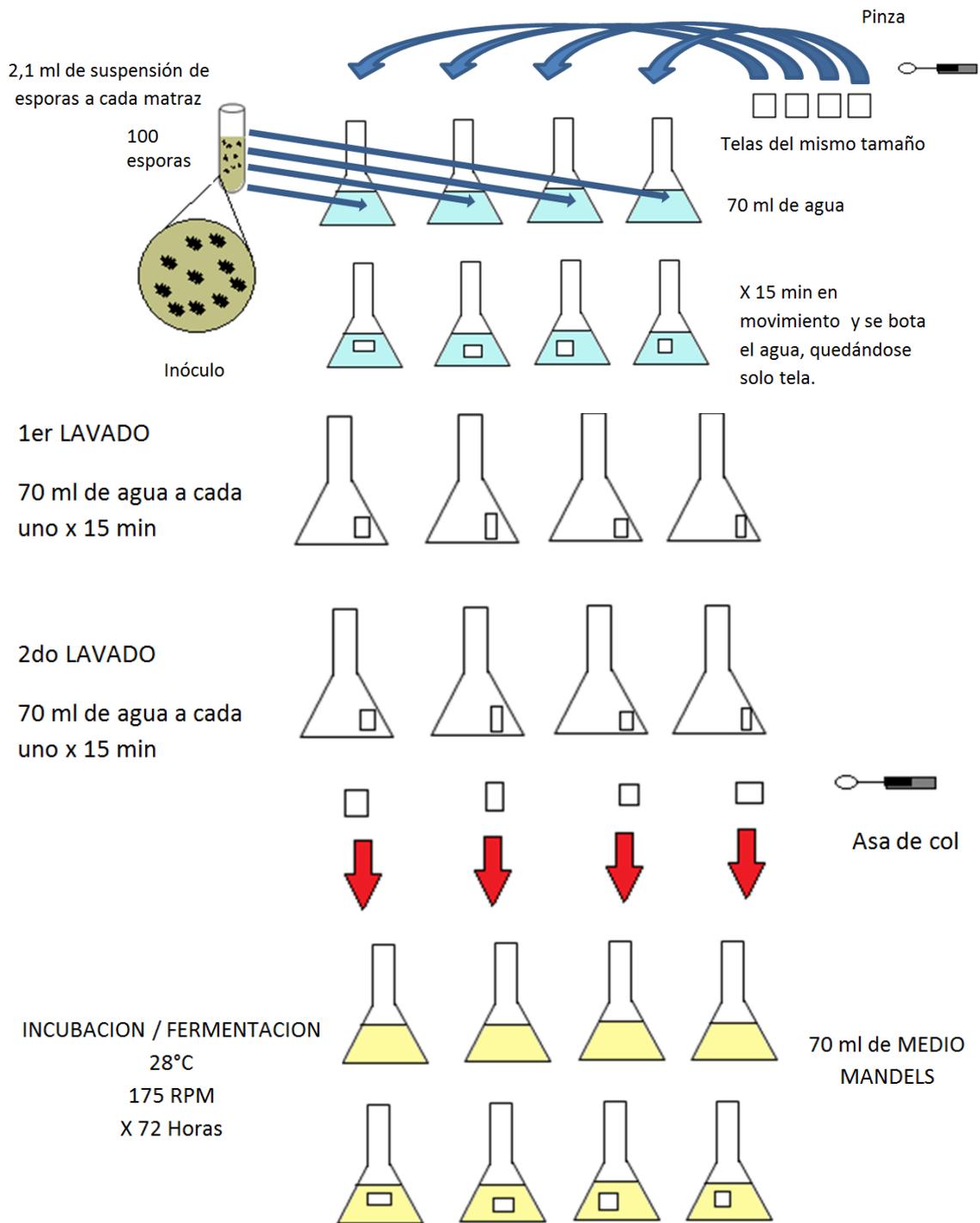


Figura 36 — Cultivo por adhesión a superficies. Elaborado por el investigador

ANEXO 2. Tabla para llenado de variables (L, a y b) según Colorímetro

FIBRA	CARACTERISTICAS	VARIABLE	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	PROMEDIO
SURI O HUACAYA	T° de lavado	L						
	Con adición de lipasa	a						
	Muestra N°	b						

ANEXO 3. Tabla (fibra sucio original) para llenado de variables (L, a y b) según Colorímetro

FIBRA	CARACTERISTICAS	VARIABLE	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	PROMEDIO
SUCIO ORIGINAL	-	L						
	-	a						
	-	b						

ANEXO 4. Tablas del proceso de lavado a temperaturas de 20°C y 35°C

HUACAYA Lavado a T° Ambiente

N° de Muestra	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad (g) C = A-B	% Suciedad Retirada
H1	10.2304	7.7616	2.4688	24.1320
H2	10.8678	7.982	2.8858	26.5537

SURI Lavado a T° Ambiente

N° de Muestra	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad (g) C = A-B	% Suciedad Retirada
S1	10.4275	8.3573	2.0702	19.8533
S2	10.1981	8.3975	1.8006	17.6562

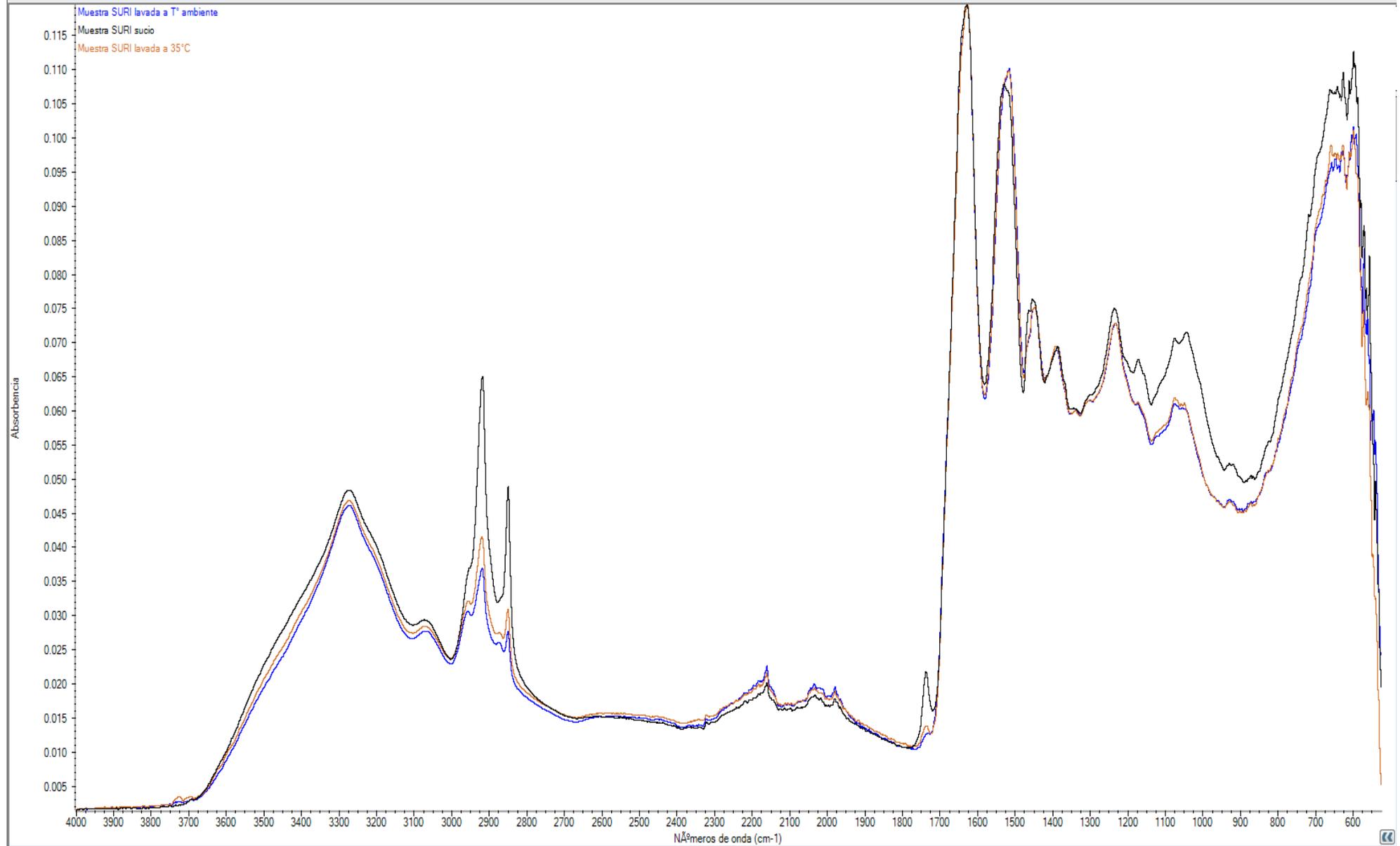
HUACAYA Lavado a 35 °C

N° de Muestra	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad (g) C = A-B	% Suciedad Retirada
H3	10.4469	8.209	2.2379	21.4217

SURI Lavado a 35 °C

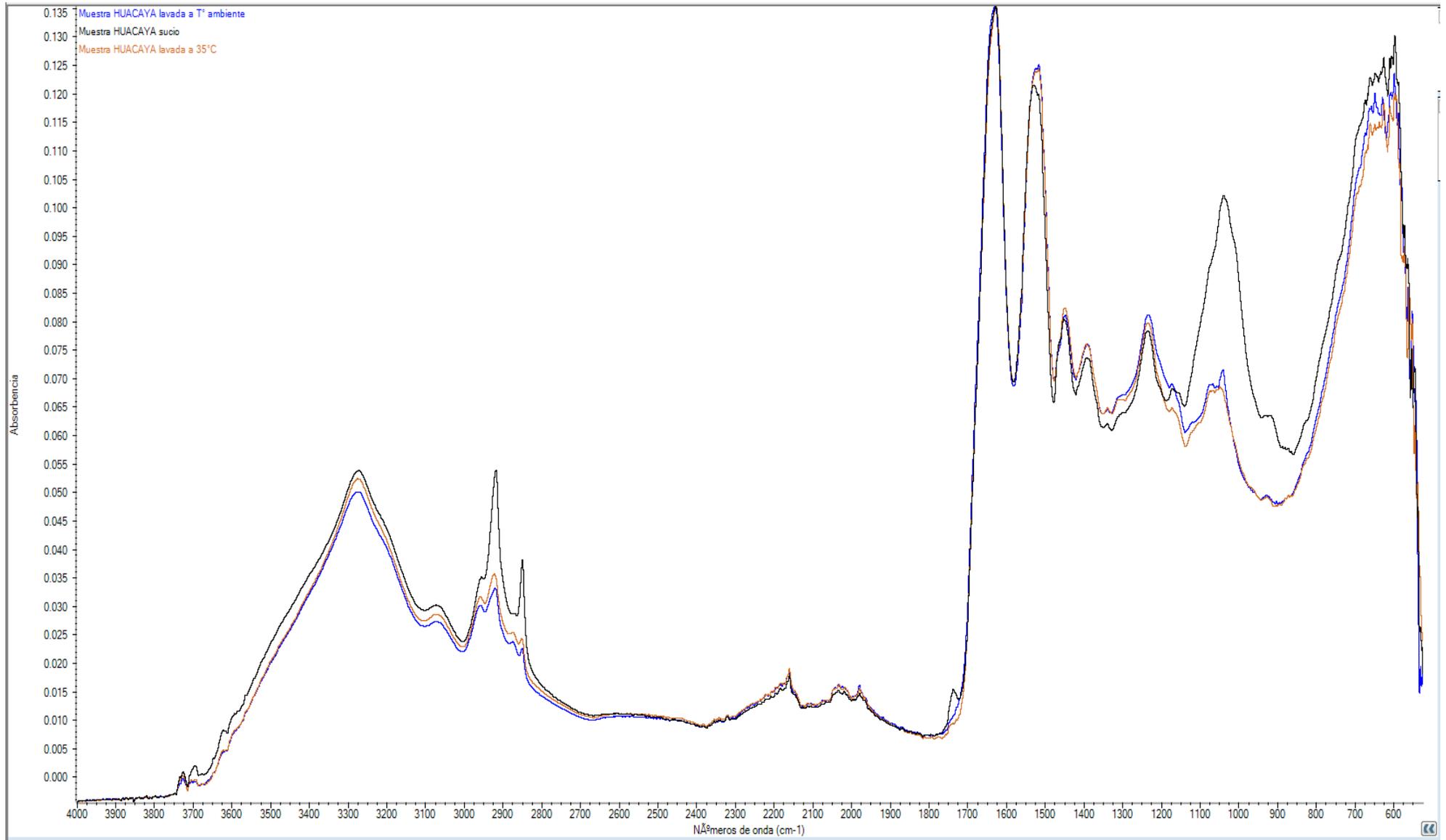
N° de Muestra	Peso de muestra sucia de fibra (g) A	Peso de fibra lavada seca (g) B	Suciedad (g) C = A-B	% Suciedad Retirada
S3	10.5448	8.4591	2.0857	19.7794

ANEXO 5. Espectros de fibra de alpaca variedad Suri lavados a T° ambiente y 35°C



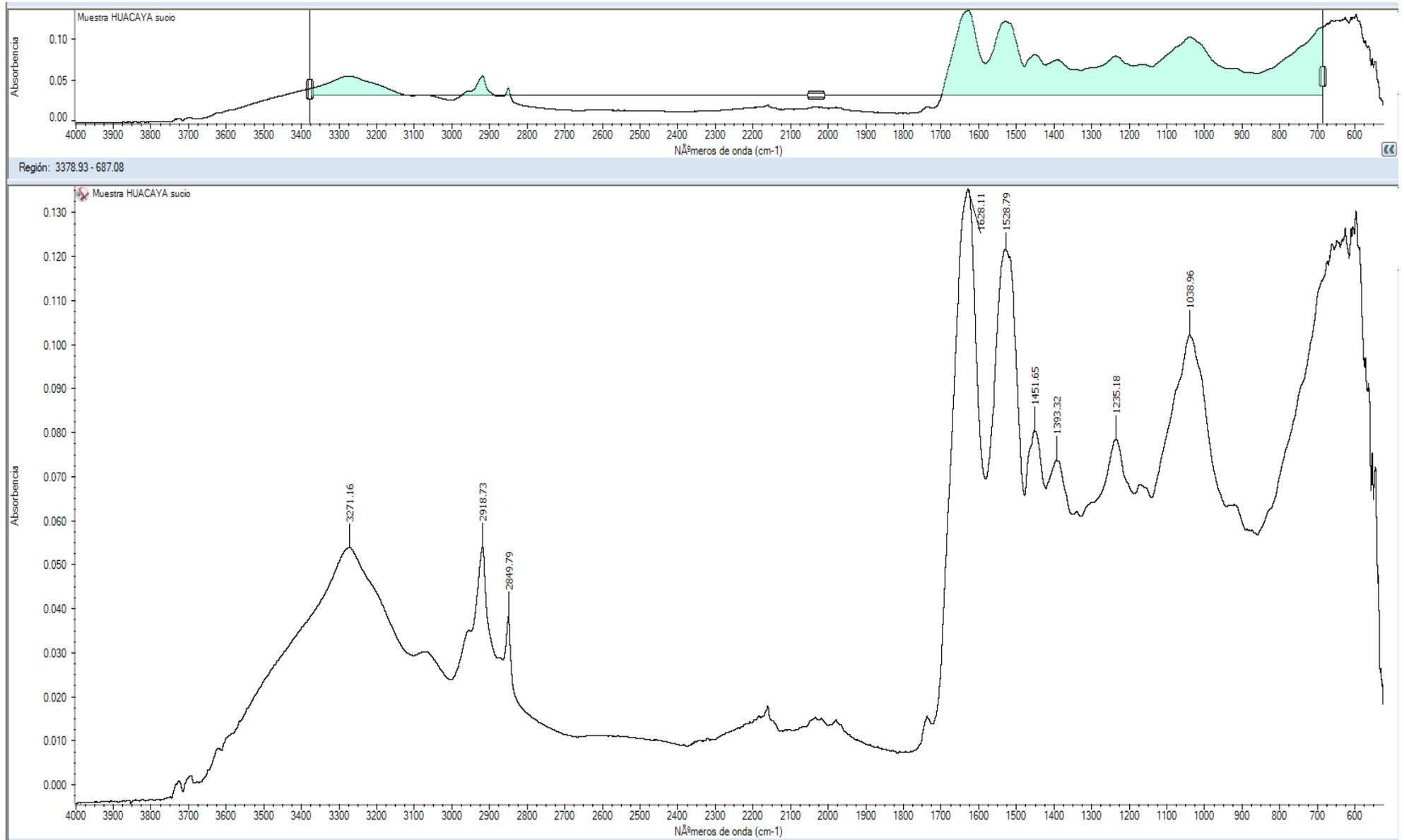
Dato: (*) Los picos coloreados representan la asignación de los grupos funcionales existentes en la fibra de alpaca Suri con muestras diferentes: 1) Muestra de fibra de alpaca lavada a T° ambiente (color azul); 2) Muestra de fibra de alpaca sucia (color negro); 3) Muestra de fibra de alpaca lavada a 35°C (color marrón).

ANEXO 6. Espectros de fibra de alpaca variedad Huacaya lavados a T° ambiente y 35°C



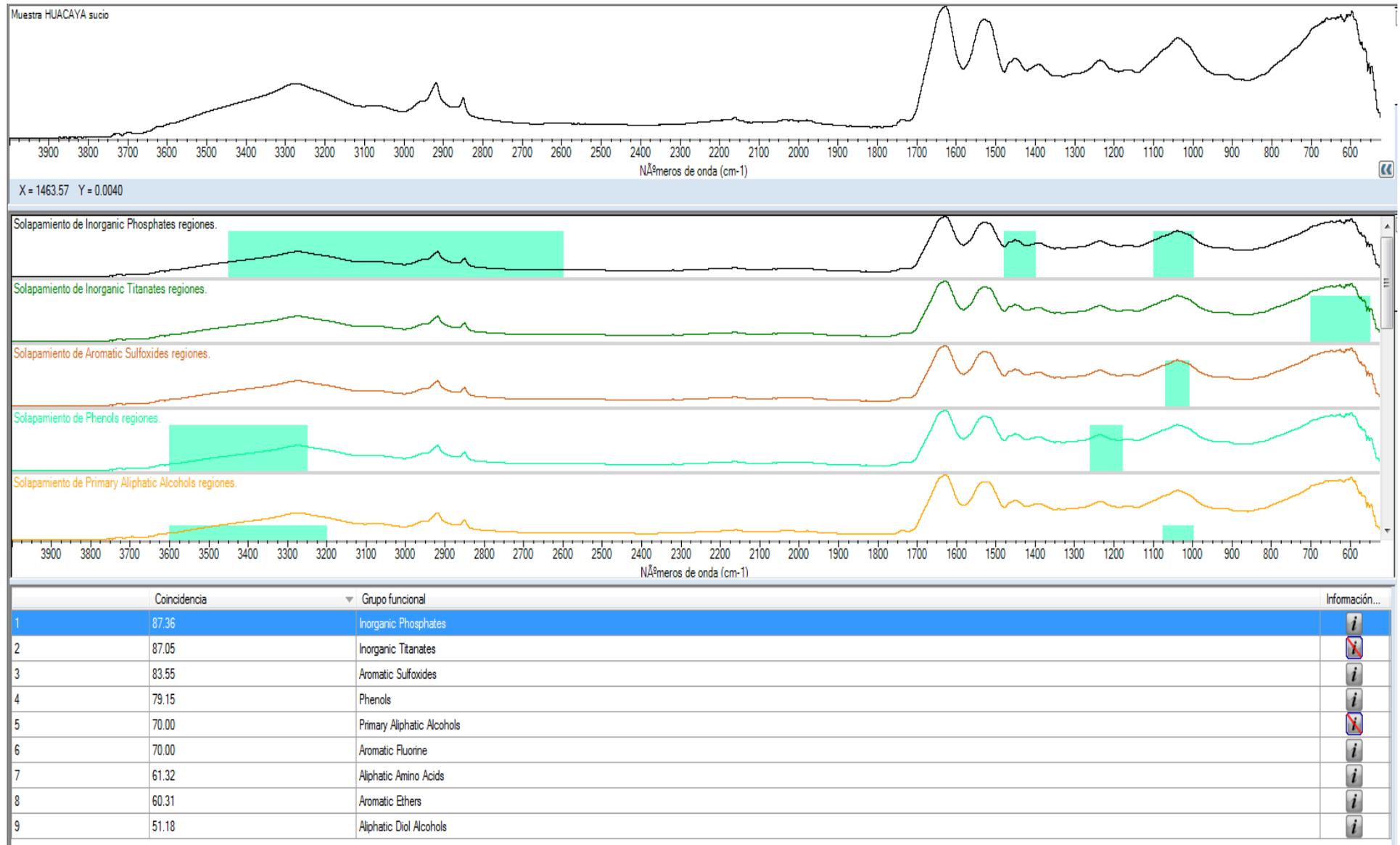
Dato: (*) Los picos coloreados representan la asignación de los grupos funcionales existentes en la fibra de alpaca Huacaya con muestras diferentes: 1) Muestra de fibra de alpaca lavada a T° ambiente (color azul); 2) Muestra de fibra de alpaca sucia (color negro); 3) Muestra de fibra de alpaca lavada a 35°C (color marrón).

ANEXO 7. Espectros con picos más resaltantes en fibra de alpaca variedad Huacaya



Dato: (*) Los picos representan la asignación de los grupos funcionales existentes en la fibra de alpaca Huacaya, por ejemplo el pico con valor de Numero de onda 3271.16 cm⁻¹ representa fosfatos inorganicos presentes en la fibra sucia de alpaca Huacaya.

ANEXO 8. Grupos funcionales que destacan en el en Espectro de fibra de alpaca variedad Huacaya



Dato: (*) Valores de coincidencia (%) de grupos funcionales en el barrido de espectros de la fibra de alpaca Huacaya (sucia).

ANEXO 9. Resultados de variables (L, a y b) para determinar la luminosidad de la fibra de alpaca

			DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	PROMEDIO
SURI SUCIO ORIGINAL	-	L	31.17	31.87	27.21	29.72	28.13	29.62
	-	a	2.78	2.75	2.42	2.22	1.81	2.40
	-	b	6.63	6.70	5.48	5.25	4.47	5.71
SURI	Lav. 35° C	L	31.32	41.42	30.24	29.98	29.78	32.55
	-	a	2.01	2.83	1.85	1.60	1.43	1.94
	Muestra: 24	b	6.99	12.06	6.82	5.92	5.45	7.45
SURI	Lav. 35° C	L	33.78	43.20	37.76	37.70	36.00	37.69
	Con Lipasa (0.5ml)	a	1.43	1.15	1.96	2.26	1.21	1.60
	Muestra: 21	b	5.56	6.28	8.42	8.45	5.45	6.83
SURI	Lav. 35° C	L	35.39	37.47	35.99	43.67	28.26	36.16
	Con Lipasa (1ml)	a	1.44	1.48	1.61	2.09	2.34	1.79
	Muestra: 03	b	7.31	9.01	7.99	8.78	7.55	8.13
SURI	Lav. 35° C	L	33.02	28.34	30.46	27.63	33.86	30.66
	Con Enz. Biopelicula	a	1.45	1.13	1.71	1.76	1.45	1.50
	Muestra: 19	b	6.31	4.19	5.82	5.52	6.11	5.59
SURI	Lav. 35° C	L	27.36	24.92	34.08	24.69	22.58	26.73
	Con Enz. Libre	a	1.06	1.87	0.86	2.36	3.70	1.97
	Muestra: 03	b	3.43	3.69	4.68	4.40	4.10	4.06
HUACAYA SUCIO ORIGINAL	-	L	21.21	14.02	22.07	23.43	18.89	19.92
	-	a	7.09	8.77	5.46	4.13	8.26	6.74
	-	b	6.55	8.77	5.27	5.31	5.12	6.20
HUACAYA	Lav. 35° C	L	40.09	42.85	31.92	37.96	41.03	38.77
	-	a	0.97	1.14	1.65	1.42	1.51	1.34
	Muestra: 20	b	6.03	6.37	6.43	6.43	7.56	6.56
HUACAYA	Lav. 35° C	L	28.08	29.23	27.40	34.88	30.23	29.96
	Con Lipasa (0.5ml)	a	1.34	1.20	1.46	1.16	1.42	1.32
	Muestra: 07	b	4.46	4.66	4.22	5.24	4.92	4.70
HUACAYA	Lav. 35° C	L	39.65	39.93	34.77	37.41	32.55	36.86
	Con Lipasa (1ml)	a	0.67	0.83	2.50	2.24	0.94	1.44
	Muestra: 01	b	5.11	5.76	7.88	9.67	4.22	6.53
HUACAYA	Lav. 35° C	L	21.65	23.84	29.00	23.70	21.69	23.98
	Con Enz. Biopelicula	a	5.78	3.18	2.21	3.91	7.47	4.51
	Muestra: 19	b	6.34	5.10	6.28	5.64	8.56	6.38
HUACAYA	Lav. 35° C	L	19.18	22.69	23.62	27.34	29.17	24.40
	Con Enz. Libre	a	11.37	5.96	3.59	2.15	1.13	4.84
	Muestra: 03	b	8.81	7.73	5.19	5.44	4.43	6.32

Dato: (*) Lav. : Lavado; Enz. : Enzima



ANEXO 10. Galería de fotos del proceso de investigación



Figura 37 — Pesado de muestra de fibra

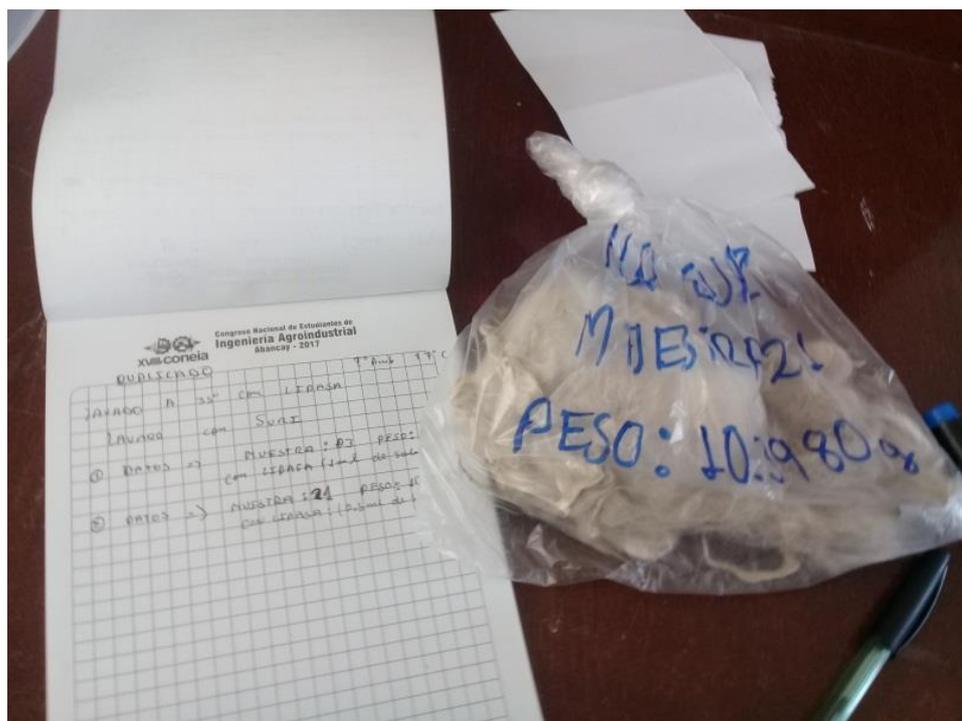


Figura 38 — Apunte de datos del pesado de muestra de fibra

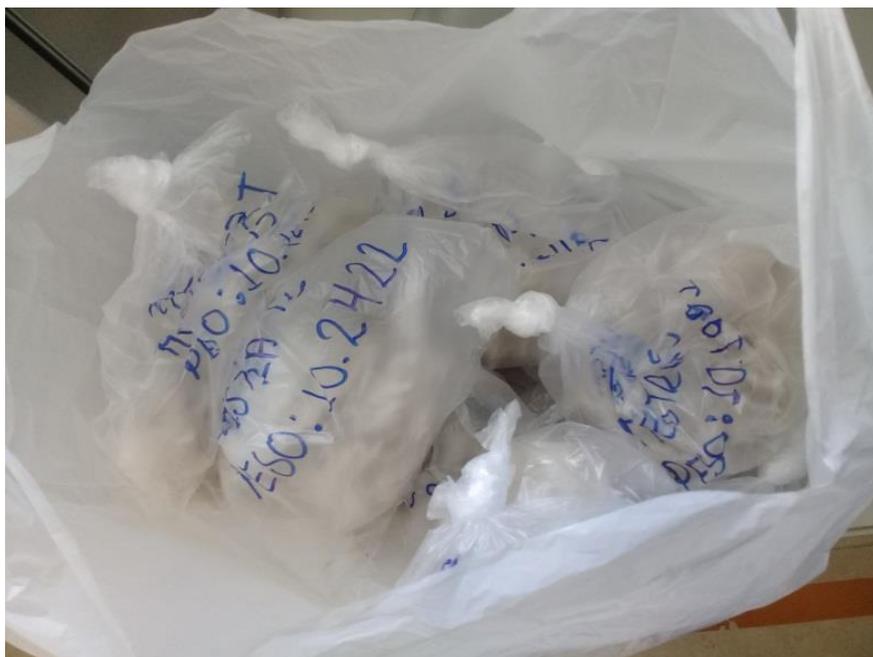


Figura 39— Separado de muestras de fibras pesadas



Figura 40— Medición de 500 ml de agua



Figura 41— Pesado de 1.5g de detergente



Figura 42— Separado de 1.5g de detergente



Figura 43— Calentado hasta 35°C de la solución de detergente - agua



Figura 44— Control de temperatura de la solución de detergente



Figura 45— Medición volumétrica de enzima lipasa



Figura 46— Adición de enzima a la solución detergente



Figura 47— Lavado de muestra fibra a 35°C a 60 rpm



Figura 48— Enjuagado de muestra fibra a 20°C y 60rpm

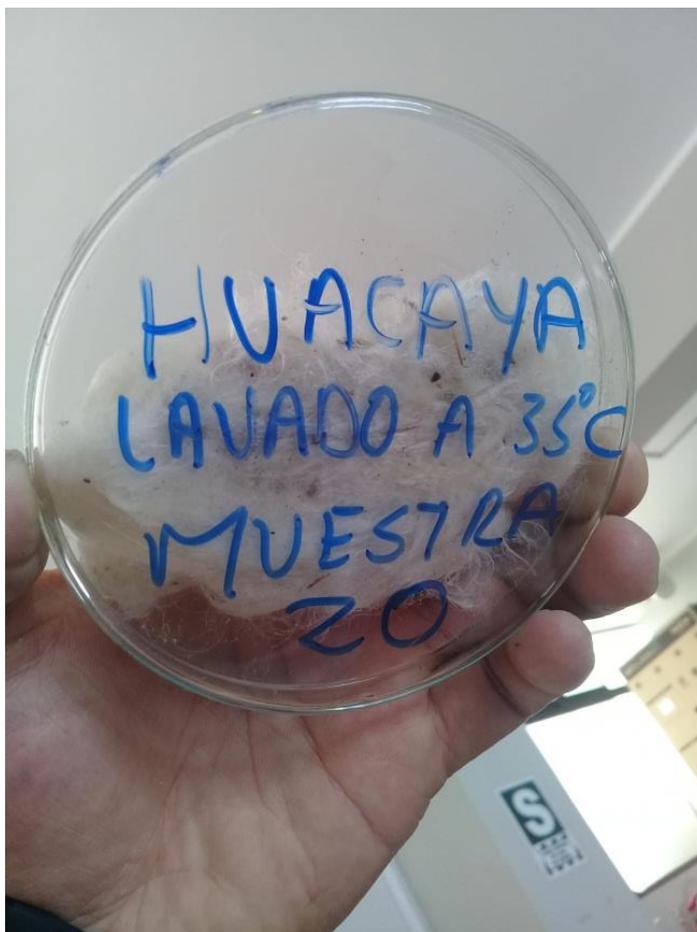


Figura 49— Rotulado de muestra de fibra después del lavado



Figura 50— Muestras de fibras lavadas listas para el secado a 80 ° C en la estufa



Figura 51— Muestras de fibras en el desecador



Figura 52— Muestra de fibra después del lavado y secado