



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
RECTORADO - VICERECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TÉCNOLOGÍA



REVISTA CIENTÍFICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL

Nº 6/2025

Revista Científica de la Carrera de **Ingeniería Textil Nº 6**

EL ALTO - BOLIVIA
2025

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

Autoridades

Dr. Carlos Condori Titirico Ph. D.

RECTOR

Dr. Efrain Chambí Vargas Ph. D.

VICERRECTOR

Dr. Antonio S. López Andrade Ph. D.

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

M. Sc. Enrique Ponce

PROFESIONAL EN INVESTIGACIÓN - DICYT

Ing. Marco Antonio Bohorquez Llave

DECANO DEL ÁREA DE INGENIERÍA “Desarrollo Tecnológico Productivo”

Ing. Jonny Henry Yampara Blanco

DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL

Ing. Sandro Efraín Centellas Lima Ph.D.

COORDINADOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA TEXTIL

COMITÉ REVISOR

M.Sc. Ing. Freddy Tarqui Ayala - Revisor interno

Ing. Sergio Perez Limachi - Revisor externo

DEPÓSITO LEGAL

4-3-55-19 P.O.

IMPRESIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Imprenta BALTAZAR

Dir: Calle 25 de mayo N°777 entre c/ Isaac Arias y c/ 10 Zn. Villa Dolores.

El Alto – Bolivia

Cel.: 73263579

La información presentada como ARTÍCULO CIENTÍFICO en la edición actual es de entera responsabilidad de sus autores

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin previa autorización de los autores

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre 2025

El Alto – Bolivia

Presentación

La Dirección de Investigación, Ciencia y Tecnología de la UPEA se enorgullece en presentar este nuevo número de la Revista Científica de la carrera de Ingeniería Textil, un espacio dedicado a la difusión de investigaciones innovadoras y relevantes en el ámbito textil, promoviendo el conocimiento, la tecnología y la sostenibilidad en esta importante industria.

Este número refleja el compromiso de la carrera con la excelencia académica y la investigación aplicada, abordando temas que contribuyen al desarrollo de soluciones tecnológicas, sostenibles y económicas. Los artículos incluidos destacan por su rigor científico y por ofrecer perspectivas recientes en áreas como la categorización artesanal textil, el patronaje y los métodos de lavado de lana ovina.

En el presente número, el lector encontrará seis artículos que exploran desde la obtención sostenible de fibras naturales hasta el desarrollo de visión artificial aplicado a textiles y la mejora de procesos de tintorería en el sector. Estos trabajos no solo muestran la capacidad investigativa de los docentes y estudiantes, sino también su compromiso con los desafíos globales y locales.

Agradezco a los autores, revisores y colaboradores por su esfuerzo y dedicación en la elaboración de este número. Invitamos a nuestra comunidad académica y profesional a participar activamente en las próximas ediciones de esta revista, consolidando a la Carrera de Ingeniería Textil como un referente en la generación y difusión de conocimiento científico.

Dr. Ing. Antonio López Andrade Ph. D.
Director DICYT - UPEA

CONTENIDO

PÁG

1.- HACIA UN PATRONAJE ADAPTADO: CONTRAPOSICIÓN DEL ESTÁNDAR EUROPEO BURDA FRENTE AL BIOTIPO FEMENINO EN EL ALTO, BOLIVIA (19-23 AÑOS)

Jonny Henry Yampara Blanco

7

2.- COMPORTAMIENTO TINTOREAL DE COLORANTES REACTIVOS BIFUNCIONALES EN FIBRAS CELULOSICAS

Boris Ramallo – Acuña

16

3.- IMPERMEABILIZACIÓN DE TELAS REUTILIZANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO DILUIDO: UN ENFOQUE HACIA LA SOSTENIBILIDAD TEXTIL

Javier Astorga Sanjinés

26

4.- EFECTO DE LOS MÉTODOS DE LAVADO (CON RED ARTESANAL Y MECANIZADO INDUSTRIAL) SOBRE LA MERMA DE MASA DE LANA OVINA EN CUATRO RAZAS DIFERENTES

Maria Estela Ticona Cruz

39

5.- ENTRE COLORES Y SENSORES: EL PAPEL DE LA VISIÓN ARTIFICIAL EN LA MEJORA DE LA CALIDAD TEXTIL

Carla Karina Pérez Martínez

48

6.- SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN MULTIDIMENSIONAL DE LA ARTESANÍA TEXTIL ORIGINARIA EN BOLIVIA

Sandra Karina Aduviri Chambi

60

HACIA UN PATRONAJE ADAPTADO: CONTRAPOSICIÓN DEL ESTÁNDAR EUROPEO BURDA FRENTE AL BIOTIPO FEMENINO EN EL ALTO, BOLIVIA (19-23 AÑOS)

Towards An Adapted Pattern Design: Confronting The European Burda Standard Against The Female Body Type In El Alto, Bolivia (Aged 19-23)

Ing. Jonny Henry Yampara-Blanco
Docente de Ingeniería Textil – UPEA
jyampara@gmail.com

RESUMEN

La falta de estandarización en las Micro y Pequeñas Empresas (MYPEs) textiles de El Alto, Bolivia (4150 msnm), limita notablemente su eficiencia y expansión comercial, siendo la disfuncionalidad de la talla un problema estructural clave que afecta la competitividad del sector; por ello, este estudio se propuso cuantificar y contrastar las seis medidas antropométricas esenciales del biotipo femenino alto (N=40, entre 19 y 23 años) frente al sistema de patronaje europeo BURDA (T-40 y T-42), con el fin de identificar los ajustes técnicos necesarios para mejorar la adecuación y funcionalidad de las prendas. Se aplicó un estudio cuantitativo-comparativo de corte transversal, dividiendo la muestra según el Contorno de Busto (CB) en dos grupos, calculando medias locales y cuantificando la Desviación Absoluta (Δ) frente a los patrones de referencia. El análisis reveló una disparidad bidimensional estadísticamente significativa ($p < 0.05$), evidenciando la invalidez estructural del patrón europeo en el contexto morfológico alto. La desviación más crítica correspondió al Contorno de Cintura (CC), cuyo medio local fue hasta 7,7 cm mayor que el estándar europeo, lo que confirma un somatotipo más recto y cilíndrico adaptado a la altitud, mientras que el Balance Vertical (TD-TE) presentó un déficit crítico de hasta 1,55 cm, indicando un tronco particularmente más vertical que el patrón modelado. En cambio, la desviación del Ancho de Hombros (HH) fue mínima ($< 0,4$ cm), lo que descarta su relevancia en la disfunción del ajuste. Estos resultados subrayan que la incompatibilidad del patrón se asocia principalmente a diferencias circunferenciales y longitudinales vinculadas a la adaptación morfológica a la gran altitud, y proporcionan los ajustes técnicos esenciales (particularmente en CC y TD-TE) para corregir el patrón base, constituyendo un avance estratégico hacia la estandarización productiva y mejor competitividad del sector textil alto.

PALABRAS CLAVES

Antropometría, Estandarización Textil, Talla, Balance Vertical.

ABSTRACT

The lack of standardization in micro and small textile enterprises (MSMEs) in El Alto, Bolivia (4,150 meters above sea level), significantly limits their efficiency and

commercial expansion, with size dysfunctionality being a key structural problem affecting the sector's competitiveness. Therefore, this study aimed to quantify and compare the six essential anthropometric measurements of the female biotype in El Alto (N=40, aged between 19 and 23) with the European BURDA pattern system (T-40 and T-42), in order to identify the technical adjustments needed to improve the fit and functionality of garments. A quantitative-comparative cross-sectional study was applied, dividing the sample according to bust contour (BC) into two groups, calculating local means and quantifying the absolute deviation (Δ) from the reference patterns. The analysis revealed a statistically significant two-dimensional disparity ($p < 0.05$), evidencing the structural invalidity of the European pattern in the morphological context of the Altiplano. The most critical deviation corresponded to the Waist Contour (WC), whose local mean was up to 7.7 cm greater than the European standard, confirming a straighter and more cylindrical somatotype adapted to altitude, while the Vertical Balance (TD-TE) presented a critical deficit of up to 1.55 cm, indicating a particularly more vertical trunk than the modeled pattern. In contrast, the deviation in shoulder width (SW) was minimal (< 0.4 cm), ruling out its relevance in the dysfunction of the fit. These results underscore that pattern incompatibility is mainly associated with circumferential and longitudinal differences linked to morphological adaptation to high altitude, and provide the essential technical adjustments (particularly in CC and TD-TE) to correct the base pattern, constituting a strategic advance toward productive standardization and improved competitiveness in the textile sector in El Alto.

KEYWORDS

Anthropometry, Textile Standardization, Sizing, Vertical Balance

1. INTRODUCCIÓN

La estandarización de tallas constituye un pilar fundamental para la modernización, la eficiencia productiva y la expansión comercial de la industria de la confección a nivel global. En contextos como el de El Alto, Bolivia, donde las Micro y Pequeñas Empresas (MYPEs) son el motor económico textil, la ausencia de un sistema de tallaje localmente validado es una barrera estructural que limita la competitividad y obstaculiza la migración al comercio electrónico. Los problemas de ajuste son la principal causa del alto porcentaje de devoluciones, un fenómeno que impacta directamente en los costos logísticos y la

satisfacción del cliente (Alemany, 2023).

El desafío central de este estudio es contrastar el biotipo femenino alteño con el sistema de patronaje europeo utilizando la normativa europea y la tabla de medida de BURDA, utilizado como referente a nivel industrial. La selección de las seis medidas antropométricas esenciales (Contorno de Busto, Contorno de Cintura, Ancho de Hombros, Talle Delantero, Talle de Espalda y Largo de Manga) se justifica en que estas son reconocidas por normas internacionales, como la ISO 8559-2:2017, y por literatura técnica (Aldrich, 2015), como los puntos críticos de

control para el volumen, el balance y la caída de la sisa en el patrón de prendas superiores. El análisis riguroso de estas medidas es crucial para validar las proporciones corporales locales, que se asume difieren de los estándares importados debido a factores genéticos y la altitud sobre el nivel del mar (≈ 4000 m.s.n.m.).

Los avances de esta investigación radican en la cuantificación de las desviaciones por rangos de talla (CB ≈ 90 cm y CB ≈ 97 cm), ofreciendo una base de datos validada, esencial para el desarrollo de un patrón base localizado. La utilidad práctica del estudio es proporcionar a las MYPEs de El Alto el instrumento técnico (ajustes de medidas sobre la base de estándares) necesario para controlar su producción, reducir los costos de ajuste en prenda terminada y garantizar un ajuste de calidad que impulse su competitividad en la venta digital. Sin embargo, el estudio presenta una limitación relacionada con su alcance, ya que la muestra se concentra en un rango de edad específico (18-23 años), lo cual podría no ser completamente representativo de la totalidad de la población femenina alteña.

Por consiguiente, este trabajo se propuso los siguientes objetivos:

1. Cuantificar las medias antropométricas de seis medidas esenciales para el patronaje superior en dos grupos de tallas del biotipo femenino alteño.
2. Contrastar rigurosamente las medias locales frente a los estándares de BURDA Talla 40

y Talla 42 para determinar la magnitud de las desviaciones.

3. Identificar y analizar las desviaciones estadísticamente significativas en las proporciones secundarias que comprometen el ajuste de las prendas.
4. Identificar los ajustes técnicos necesarios en el patrón europeo, derivados de las desviaciones antropométricas, como paso fundamental para la estandarización productiva y la competitividad digital del sector textil en El Alto.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño del Estudio

La metodología de esta investigación se diseñó bajo un enfoque cuantitativo-comparativo con un diseño no experimental, de corte transversal. El estudio se basa en la medición precisa de dimensiones corporales (antropometría) para establecer el perfil morfológico de la muestra y contrastar sus parámetros clave con un valor fijo de referencia (el estándar de tallaje europeo). El alcance es principalmente comparativo y descriptivo, buscando cuantificar la desviación del morfotipo local respecto a la norma internacional (Hernández et al., 2014).

2.2 Población y Muestra

2.2.1 Población

La población objetivo de este estudio estuvo constituida por mujeres jóvenes residentes de la ciudad de El Alto, pertenecientes al morfotipo local, que se encuentran dentro de la franja etaria

económicamente activa y usuaria del mercado de confección.

2.2.2 Muestra y Criterios

Se trabajó con una muestra no probabilística por conveniencia de N=40 mujeres jóvenes.

- **Criterios de Inclusión:**
 - Mujeres con edades comprendidas entre 18 y 23 años.
 - Sujetos que residen de forma permanente en la ciudad de El Alto, Bolivia a 4150 msnm.

La muestra se dividió en dos subgrupos basados en los promedios de Contorno de Busto (CB) para alinear la comparación con las tallas de referencia más cercanas:

- **Grupo 1:** $\mu_{CB}=89.725$ cm (Contraste T-40).

- **Grupo 2:** $\mu_{CB}=96.9$ cm (Contraste T-42).

2.3 Variables del Estudio

2.3.1 Definición de los puntos de medida

La selección de los puntos de medida se basó en el reconocimiento de las dimensiones críticas definidas por la estandarización internacional para la construcción del patrón base de la parte superior (tórax y tronco), y específicamente las dimensiones circunferenciales, longitudinales y transversales.

Los puntos de medida incorporados en esta investigación, y sus definiciones de medición, se alinean con las directrices de la Norma Europea EN 13402-1 (*Términos, definiciones y procedimiento para la medición del cuerpo*) y la Norma ISO 8559-1 (*Definiciones antropométricas para la medición del cuerpo*).

Tabla 1
Dimensiones críticas para la construcción del patrón base de la parte superior

Punto de Medida	Definición y rol en el trazo	Importancia en la Norma Europea
Contorno de Busto (CB)	Medida tomada horizontalmente sobre la parte más prominente del busto. Define la semianchura del patrón y es la base para el cálculo de la sisa y la holgura de la prenda.	Es la dimensión clave para la designación de talla en el tronco superior (EN 13402), anclando la talla de la usuaria al patrón.
Contorno de Cintura (CC)	Medida tomada en el punto más estrecho del torso. Defina el talle y la forma del patrón en la cintura.	Es una dimensión corporal secundaria, esencial para el ajuste y el entalle de prendas estructuradas.
Largo Talle Delantero (TD)	Distancia desde el punto cervical o el punto más alto del hombro (dependiendo del sistema) hasta la línea de cintura, pasando por el ápice del busto.	Define la longitud vertical del cuerpo en la parte frontal y es la medida que incorpora la altura del volumen del busto.

Largo Talle Espalda (TE)	Distancia desde la séptima vértebra cervical (prominente) hasta la línea de cintura, siguiendo la columna.	Define la longitud vertical del cuerpo en la parte dorsal.
Equilibrio vertical (TD-TE)	Diferencia entre TD y TE. Es una medida derivada, no un punto de medida, pero crucial en el patronaje.	Es la métrica directa para determinar el ajuste y la inclinación del cuerpo.
Largo Manga (LM)	Distancia desde el punto acromial (hombro) hasta la muñeca, con el brazo ligeramente flexionado.	Determina la longitud final de la manga.
Ancho de Espalda (AE)	Distancia entre los puntos acromiales o las partes posteriores de los pliegues de la axila.	Define el ancho del patrón en la espalda y es crítica para la posición y profundidad de la sisa.
Ancho de Hombros (HH) / Hombro a Hombro	Distancia total entre los puntos acromiales.	Defina la anchura del escote y la inclinación de la costura del hombro.

Nota. Elaboración propia basada en las definiciones de las medidas corporales para patronaje (Aldrich, 2015) y el rol normativo de las dimensiones clave según la Norma Europea (Comité Europeo de Normalización, 2017).

2.3.2 Criterio de Selección de Tallas de Referencia

Las tallas de referencia fueron seleccionadas contrastando los

promedios de Contorno de Busto (CB) de la muestra con los CB del estándar europeo, garantizando la menor desviación posible:

Tabla 2

Adecuación de talla estándar de referencia con base en CB de muestra

Muestra Local (N=40)	Promedio CB Muestra (cm)	Talla Estándar de Referencia	CB Estándar (cm)
Grupo 1	89,7	Talla 40	92.0
Grupo 2	96,9	Talla 42	96.0

Nota. Elaboración propia a partir del contraste de la muestra local y el estándar europeo de referencia (BURDA / EN 13402).

2.3.3 Parámetro de Comparación (Estándar Europeo)

El parámetro de comparación se definió utilizando el sistema de tallaje comercial BURDA (ampliamente distribuido en Europa y alineado con los principios de EN 13402), complementado por los valores técnicos

de Talle Delantero (TD) y Talle Espalda (TE) que BURDA omite en sus tablas publicadas. Estos valores técnicos provienen de sistemas de patronaje estandarizados europeos (M. Müller & Sohn o equivalentes) que son bibliográficamente comparables.

Tabla 3
Estándar Europeo de Medidas de Referencia para Prendas Superiores (T-40 y T-42)

Dimensiones	Medida Esencial	Unidad	Estándar CB=92cm(T-40)	Estándar CB=96cm(T-42)	Base de la Medida
Circunferenciales (Volumen)	Contorno Busto (CB)	cm	92.0	96.0	BURDA / EN 13402
	Contorno Cintura (CC)	cm	74.0	78.0	BURDA / EN 13402
Longitudinales (Altura y Balance)	Largo Talle Delantero (TD)	cm	46.0	46.6	Estándar Técnico (Interpolado)
	Largo Talle Espalda (TE)	cm	42.0	42.25	Estándar Técnico (Interpolado)
	Largo Manga (LM)	cm	60.0	61.0	BURDA / Estándar Técnico
Transversales (Ancho)	Ancho Hombros (HH)	cm	40.5	41.0	Estándar Técnico

Nota. Elaboración propia con base en la Norma Europea EN 13402-1 (Comité Europeo de Normalización, 2017) y las tablas de tallas comerciales Burda (para Contornos), complementadas por los valores de Talle Delantero y Talle Espalda extraídos de sistemas de patronaje industrial estandarizado y citados en la literatura científica (Alemany et al., 2023).

2.3.4 Medidas Antropométricas Promedio de la Muestra

Con base en N=40 y los dos grupos definidos por el CB, la tabla 4 muestra los promedios de las medidas en estudio.

Tabla 4
Medidas Antropométricas Promedio de la Muestra Femenina de El Alto, Bolivia (N=40)

Dimensiones	Medida Esencial	Unidad	Promedio Muestra Grupo 1 (CB ≈90 cm / Ref. T-40)	Promedio Muestra Grupo 2 (CB ≈97 cm / Ref. T-42)
Circunferenciales (Volumen)	Contorno Busto (CB)	cm	89.7	96.9
	Contorno Cintura (CC)	cm	79.4	85.7
Longitudinales (Altura y Balance)	Largo Talle Delantero (TD)	cm	45.9	46.2
	Largo Talle Espalda (TE)	cm	42.8	43.4

	Largo Manga (LM)	cm	59.8	60.4
Transversales (Ancho)	Ancho Hombros (HH)	cm	40.1	41.4

Nota. CB = Contorno Busto, CC = Contorno Cintura, TD = Talle Delantero, TE = Talle Espalda, LM = Largo Manga, HH = Hombro a Hombro. Los promedios se presentan con dos decimales de precisión, calculados a partir de los datos recolectados en la ciudad de El Alto.

2.4 Procedimiento

La metodología se diseñó como un estudio **cuantitativo-comparativo** de corte transversal, ejecutado en tres fases rigurosas:

1. **Recolección y Preparación:** Se aplicó una técnica de antropometría directa por un único operador experto sobre una muestra no probabilística de mujeres jóvenes alteñas (18-23 años). La toma de las seis medidas esenciales (CB, CC, TD, TE, HH, LM) se realizó bajo las especificaciones técnicas de la ISO8559-2:2017 para garantizar la reproducibilidad y la minimización del error (tabla 1).
2. **Agrupación y Cuantificación:** La muestra se dividió en dos subgrupos utilizando el Contorno de Busto (CB) como la dimensión clave, alineando los promedios locales (CB $\approx$ 90 cm, CB $\approx$ 97 cm) a las tallas de referencia europeas BURDA (T-40 y T-42). Se calcularon las medias de cada medida esencial para cada grupo.

3. Contraste Estadístico y Cuantificación de Desviación:

Se utilizó la Prueba t de Student para una muestra para comparar cada media local frente al valor fijo del estándar europeo (complementado con valores TD/TE de patronaje industrial). El nivel de significancia se fijó en $p < 0.05$ para identificar la existencia de desviaciones estadísticamente significativas. Finalmente, se calculó la Desviación Absoluta (Δ) para determinar la magnitud de las diferencias en métricas críticas en las Dimensiones: Circunferenciales (Volumen), Longitudinales (Altura y Balance) y Transversales (Ancho).

Este procedimiento garantizó la solidez del contraste entre el morfotipo local y el patrón adoptado, permitiendo aislar y cuantificar las disparidades que invalidan la aplicación directa de los sistemas de tallaje europeos.

3. RESULTADOS

El contraste estadístico de las medias antropométricas de la muestra de El Alto (N=40) frente a los valores fijos del estándar europeo (BURDA / EN 13402)

confirmó la existencia de una disparidad morfológica bidimensional (circunferencial y longitudinal) que es estadísticamente significativa ($p<0.05$). Los resultados demuestran que el patrón europeo no es funcional para el biotipo local debido a dos desviaciones fundamentales: el somatotipo más recto y el déficit en el equilibrio vertical del torso.

Tabla 5

Desviación Absoluta de las Medidas Antropométricas de la Muestra de El Alto vs. Estándar Europeo

Dimensiones	Medida Esencial	Estándar T-40	Media Local G1	Δ (Estándar - Local)	Estándar T-42	Media Local G2	Δ (Estándar - Local)
Circunferenciales (Volumen)	Contorno Busto (CB)	92.0 cm	89.7 cm	+2.3 cm	96.0 cm	96.9 cm	-0.9 cm
	Contorno Cintura (CC)	74.0 cm	79.4 cm	-5.4 cm	78.0 cm	85.7 cm	-7.7 cm
Longitudinales (Altura y Balance)	Largo Talle Delantero (TD)	46.0 cm	45.9 cm	+0.1 cm	46.6 cm	46.2 cm	+0.4 cm
	Largo Talle Espalda (TE)	42.0 cm	42.8 cm	-0.8 cm	42.25 cm	43.4 cm	-1.15 cm
	Balance Vertical (Δ BV) (TD-TE)	4.0 cm	3.1 cm	+0.9 cm (Déficit)	4.35 cm	2.8 cm	+1.55 cm (Déficit)
	Largo Manga (LM)	60.0 cm	59.8 cm	+0.2 cm	61.0 cm	60.4 cm	+0.6 cm
Transversales (Ancho)	Ancho Hombros (HH)	40.5 cm	40.1 cm	+0.4 cm	41.0 cm	41.4 cm	-0.4 cm

Nota. Elaboración propia a partir del contraste de las medias de la muestra y el estándar (tablas 3 y 4).

3.2 Disparidad Circunferencial: Somatotipo Recto (Contorno Cintura)

La medida con la mayor desviación absoluta fue el **Contorno de Cintura (CC)**. La muestra local es sistemáticamente más grande, excediendo el estándar europeo entre 5.4

3.1 Cuantificación de la Desviación Absoluta (Δ)

La Tabla 5 presenta la Desviación Absoluta (Δ) para las seis medidas esenciales. Los valores negativos indican que la medida de la muestra local es mayor que el estándar de referencia, y los valores positivos indican que la medida local es menor que el estándar.

cm (T-40) y 7.7 cm (T-42). Este hallazgo confirma un **somatotipo local más recto o cilíndrico**, lo que anula la proporción de entalle (diferencia CB/CC) utilizada en los patrones europeos y requiere una adecuación en la progresión de las pinzas de cintura.

3.3 Disparidad Longitudinal: Déficit Crítico en el Balance Vertical (TD-TE)

La segunda desviación más crítica se identificó en la proporción del torso, medida por el Balance Vertical (TD-TE). Mientras el patrón europeo requiere un de 4 cm, la muestra local presenta un promedio de 2.8 a 3.1 cm. Esto representa un déficit crítico de hasta 1.55 cm en la T-42, impulsado por un Largo Talle Espalda (TE) proporcionalmente mayor. Este desequilibrio longitudinal es la causa principal de los defectos de ajuste estructural (pliegues en la espalda y desajuste de hombro/sisa) al usar el patrón europeo.

3.4 Disparidad Transversal (Ancho Hombros)

La desviación en el Ancho Hombros (HH) resultó ser mínima en ambas tallas. Por lo tanto, el HH no se considera un factor crítico de invalidez del patrón, confirmando que la problemática del ajuste es primordialmente circunferencial y longitudinal.

4. DISCUSIÓN

4.1 Contraste de las Disparidades Críticas a la Luz de la Adaptación

La investigación establece que la invalidez del patrón europeo es causada por dos fallos críticos, ambos respaldados por la fisiología de la altitud:

4.1.1 Disparidad Circunferencial: El Tórax Cilíndrico (CC)

El Contorno de Cintura (CC) presentó la mayor desviación absoluta, con la muestra local siendo hasta mayor que el estándar. Este hallazgo es coherente con

la literatura que describe la expansión de la caja torácica y el aumento de la capacidad pulmonar en poblaciones andinas, como una respuesta adaptativa a más de 4000 msnm. Dicha adaptación resulta en un tórax más cilíndrico y robusto (Greska, 1986), lo que reduce el factor de entalle esperado por los sistemas de patronaje europeo. La consecuencia técnica es que el patrón europeo resulta insuficientemente holgado en la cintura, incluso cuando el CB es correcto.

4.1.2 Disparidad Longitudinal: El Déficit Crítico del Balance Vertical (TD-TE)

La reducción del Balance Vertical (TD-TE) (déficit de hasta 1.55 cm) es un aspecto particularmente novedoso. Este valor implica que el tronco local es más vertical o menos inclinado de lo que el estándar asume, ya que el TE es proporcionalmente más largo. Esto tiene un significado estructural directo: el patrón europeo, diseñado para una mayor proyección de busto y una mayor diferencia TD-TE, es inadecuado para el biotipo alteño. El patrón falla en el punto más crítico para la caída de la prenda, creando una disfunción que no se corrige con ajustes menores de costura.

La desviación del Ancho Hombros (HH), siendo mínima (0.4 cm), demuestra que la problemática del ajuste no reside en la amplitud transversal del esqueleto, sino en la proporcionalidad tridimensional (volumen y verticalidad) del torso.

4.2 Limitaciones y Consecuencias para la Investigación Futura

4.2.1 Contraste de la Hipótesis de la Juventud

Se abordó la limitación potencial de la muestra joven (18-23 años), que minimiza la ptosis mamaria (lo que podría reducir el TD). Sin embargo, la magnitud del déficit observado (TD-TE=1.55 cm) es demasiado grande para atribuirse solo a la edad, contrastando con los estándares europeos que también modelan la figura adulta joven. Esto sugiere que la diferencia es morfológica y estructural, no un artefacto de la selección de edad.

4.2.2 Propuesta de Nuevas Hipótesis y Recomendaciones

El estudio establece el nexo de que la disfuncionalidad de la talla está respaldada por los datos de CC y TD-TE. La limitación del muestreo no probabilístico (N=40) exige cautela en la generalización total, pero no invalida la significancia de las diferencias encontradas.

Se propone la siguiente hipótesis para estimular la investigación futura:

Hipótesis: El Balance Vertical (TD-TE) reducido es un marcador antropométrico clave de la adaptación del tronco a la gran altitud en población femenina de la ciudad de El Alto.

Recomendaciones:

Para maximizar la utilidad de estos hallazgos, se proponen dos líneas de acción: la consolidación científica y la aplicación industrial.

Primero, es imperativo que futuras investigaciones expandan el tamaño muestral utilizando un muestreo probabilístico para validar los resultados a nivel poblacional y consolidar la hipótesis de que el Balance Vertical (TD-TE) reducido es un marcador antropométrico de la adaptación del tronco a la gran altitud.

Segundo, se recomienda la aplicación de los datos críticos en la corrección del patrón base local que debe enfocarse en aumentar el Contorno de Cintura (CC) en al menos 7.7 cm (para la talla T-42) y en reducir el TD-TE a 2.8 cm, permitiendo a las MYPEs el desarrollo de un Patrón Base Local funcional que elimine la disfuncionalidad de la talla.

5. CONCLUSIONES

Los objetivos de la investigación fueron logrados al cuantificar y contrastar las medidas antropométricas, revelando la **incompatibilidad estructural** del estándar europeo (BURDA/EN 13402) con el biotipo femenino de El Alto. Las conclusiones, derivadas directamente de los resultados y la discusión, son las siguientes:

1. **Invalidez Comprobada por Doble Disparidad Crítica:** El contraste estadístico verificó que la disfuncionalidad de la talla es causada por desviaciones estadísticamente significativas en dos dimensiones críticas, refutando la aplicación directa del patrón europeo.
2. **Disparidad Circunferencial (Somatotipo Recto):** El Contorno de Cintura (CC) es la

medida más comprometida, excediendo el estándar europeo hasta en 7.7 cm. Esto confirma un somatotipo local más robusto y cilíndrico que requiere una reducción de las pinzas de entalle o un aumento de la holgura en el patrón base.

3. **Disparidad Longitudinal (Déficit de Balance Vertical):**

Se identificó un déficit crítico en el Balance Vertical (TD-TE) de hasta 1.55 cm en la talla T-42. Esta desviación implica un tronco más vertical y un Talle Espalda (TE) proporcionalmente más largo en la muestra local, lo que requiere una modificación estructural del patrón para corregir los desequilibrios y los fallos de caída en el hombro y la sisa.

4. **Ajustes Técnicos para la Estandarización Productiva:**

Las desviaciones cuantificadas proveen el marco técnico para la estandarización. Para una adaptación funcional del patrón europeo, es fundamental: **a)** Corregir la proporción aumentando la circunferencia y **b)** Modificar la diferencia TD-TE para que se ajuste al valor local de aproximado de 3 cm.

6. CONFLICTOS DE INTERESES

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aldrich, W. (2015). *Metric Pattern Cutting for Women's Wear* (6th ed.). Wiley-Blackwell. (Esta obra de patronaje clásico enfatiza las medidas verticales y horizontales específicas para el trazo).

Alemany, S., Artacho, M. Á., & González, J. C. (2023). *Desarrollo de modelos estadísticos de predicción del ajuste y talla de prendas de ropa a partir de la percepción y características antropométricas del usuario* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Armstrong, H. J. (2013). *Patternmaking for Fashion Design* (5th ed.). Pearson.

BURDA. (2020). *Tabla internacional de medidas femeninas*. Revista BURDA Style.

Comité Europeo de Normalización (CEN). (2017). *UNE-EN 13402-1: (Designación de tallas de las prendas de vestir)*. Bruselas, Bélgica: CEN.

Greska, L. P. (1986). *Chest morphology of young Bolivian high-altitude residents of European ancestry*. *Human Biology*, 58(3), 437–443.

Heil, K., & Zúñiga, O. (2007). *Antropometría y ergonomía en poblaciones de altura*. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 24(4), 416–421.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México, México: McGraw Hill Education.

ISO 8559-2:2017. *Size designation of clothes – Anthropometric definitions for body measurement.* International Organization for Standardization.

M. Müller & Sohn. (2018). *Sistema Müller: Patronaje de Prendas Femeninas (Damen- und Mädchenbekleidung).* München: Deutsche Bekleidungs-Akademie.

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2017). *ISO 8559-2:2017: Size designation of clothes — Part 2: Primary and secondary body dimensions for garment size designations.* Ginebra, Suiza: ISO.

Schofield, N., & LaBat, K. (2005). Defining and testing the accuracy of body measurement systems. *Textile Research Journal*, 75(2), 128–133.

Yoon, J., & Kim, M. (2018). Anthropometric analysis and standardization of women's clothing sizes. *Fashion and Textiles*, 5(1), 12–27

COMPORTAMIENTO TINTOREAL DE COLORANTES REACTIVOS BIFUNCIONALES EN FIBRAS CELULOSICAS

Dyeing Behavior of Bifunctional Reagent on Cellulose Fibers

Boris Ramallo – Acuña
Universidad Pública de El Alto
bramallo4944@gmail.com

RESUMEN

Las fibras celulósicas, especialmente el algodón, continúan siendo de gran relevancia en la industria textil debido a su carácter renovable, confort y percepción ecológica. Sin embargo, su teñido eficiente plantea desafíos asociados a la mala igualación e hidrólisis de los colorantes reactivos. Los colorantes reactivos bifuncionales representan una evolución tecnológica significativa, al incorporar dos grupos reactivos capaces de formar enlaces covalentes con los grupos hidroxilo de la celulosa, mejorando la fijación y la solidez del color. El presente trabajo tiene el objetivo de estudiar el comportamiento tintóreo de colorantes reactivos bifuncionales sobre fibras de algodón, analizando su mecanismo de fijación mediante la formación de enlaces covalentes. Se evalúan las etapas fundamentales del proceso tintóreo —difusión, adsorción y reacción—, así como la fuerza tintórea y las variaciones espectrales en función del tiempo. Se comparan resultados obtenidos tanto con colorantes individuales como con mezclas tricrómicas, determinando la reactividad y sustantividad de los colorantes bajo condiciones controladas de pH, temperatura y concentración salina. Construir las curvas de sustantividad y reactividad permiten determinar en forma veraz el comportamiento de los colorantes.

PALABRAS CLAVES

Algodón, sustantividad, reactividad

ABSTRACT

Cellulosic fibers, especially cotton, continue to be highly relevant in the textile industry due to their renewable nature, comfort, and ecological perception. However, achieving efficient dyeing presents challenges related to poor leveling and the hydrolysis of reactive dyes. Bifunctional reactive dyes represent a significant technological advancement, as they incorporate two reactive groups capable of forming covalent bonds with the hydroxyl groups of cellulose, thereby improving fixation and color fastness. This study examines the dyeing behavior of bifunctional reactive dyes on cotton fibers, analyzing their fixation mechanism through the formation of covalent bonds. The fundamental stages of the dyeing process—diffusion, adsorption, and reaction—are evaluated, as well as the color strength and spectral variations over time. Results obtained with both individual dyes and trichromatic mixtures are compared, determining

the reactivity and substantivity of the dyes under controlled pH, temperature, and salt concentration conditions.

KEY WORDS

Cotton, substantivity, reactivity

1. INTRODUCCION

Las fibras celulósicas, como el algodón, el lino o la viscosa, poseen abundantes grupos hidroxilo que permiten interacciones químicas con colorantes reactivos. Sin embargo, los colorantes monofuncionales presentan limitaciones de fijación debido a la hidrólisis competitiva. La introducción de **colorantes bifuncionales** (ej. combinaciones vinilsulfona/clorotriazina) ha permitido mejorar la estabilidad y permitió incrementar la probabilidad de reacción química con la celulosa, generando enlaces covalentes más estables, mejor resistencia al lavado y un aumento significativo de la **solidez tintórea** (Shore, 1990; Zollinger, 2003; Perinat, 2009). Se puede definir la tintura como el proceso mediante el cual se aplica un colorante a una fibra, hilo o tejido, logrando una penetración uniforme y un enlace físico o químico entre el colorante y el sustrato, con el fin de conferirle un color permanente y resistente a los usos posteriores. (Shore, J. 1990). Esta resistencia a devolver el colorante es una consecuencia de la energía de su unión, dependiendo a su vez de las relaciones existentes entre las estructuras moleculares de dichos cuerpos y de la forma de como se ha efectuado la tintura. (Perinat, 2009)

Un **colorante** es una sustancia orgánica coloreada que, en solución o dispersión,

posee afinidad química o física hacia un sustrato y puede impartirle color de manera relativamente permanente, generalmente a través de interacciones moleculares o enlaces covalentes. (Zollinger, H, 2003).

Un colorante en general se puede definir como cualquiera de los productos químicos pertenecientes a un extenso grupo de sustancias, empleados para colorear tejidos, tintas, productos alimenticios y otras sustancias solubles en medio ácido, neutro o básico, que poseen una estructura molecular no saturada, es decir son electrónicamente inestables y por eso absorben energía a determinada longitud de onda, si fueran estables absorberían todas o rechazarían todas. En general todas las moléculas orgánicas absorben radiación electromagnética en más o menos proporción, pero la mayoría lo hacen en las regiones infrarrojas y ultravioleta del espectro, por lo que aparecen incoloras. Pero si una molécula orgánica posee electrones móviles o poco localizados (generalmente electrones n) tiene muchas posibilidades de que estos sean excitados por la baja energía proporcionada por las frecuencias del espectro visible, con la consiguiente aparición del color. (Zollinger, H, 2003).

Los colorantes reactivos se definen como sustancias orgánicas coloreadas que presentan grupos funcionales capaces de reaccionar químicamente con

la fibra, formando enlaces covalentes. Su introducción comercial data de 1956, con el desarrollo de los colorantes “Procion” por la empresa Suiza Sandoz, marcando el inicio de una nueva generación de tintes sintéticos con alta afinidad y resistencia a tratamientos húmedos (Salem, 2010; Solé Cabanes, 2016).

Antonio Solé Cabanes (2016), indica que estas tinturas tienen muy buenas solidez a los tratamientos en húmedo comparados con los colorantes directos.

En proporción, los colorantes más utilizados son:

Figura 1: Proporción de los colorantes mas utilizados



Fuente: Shore (2000)

La figura 1 expresa el porcentaje de los colorantes para fibras celulósicas

Su evolución histórica se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1. Evolución Cronológica de los Colorantes Reactivos

Año	Grupo Reactivo	Fabricante	NOMBRE
1956	Dicloro Triazina	ICI	Procion
1957	Monocloro Triazina	ICI	Cibacron E/P
1957	Vinilsulfónico	Hoeschst	Ramazol

1961	Tricloro Pirimidina	Sandos/Geigy	Drimare n ZX
1961	Dicloro Quinoxalina	Bayer	Cibacron T-E
1971/1972	Difluor Cloro Primidina	Sandos/Bayer	Levafix E-A
1978	Monofluor Triazina	Ciba/Bayer	Cibacron F/Levafix E-N
1980	Heterofuncional: Monoclorotriazina/Vi	Sumitomo	Sumifix Supra
1981	Fluor Clor Metil	Bayer	Levafix P-N
1990	Heterofuncional: Fluor	Ciy	Cibacron C
1997	Eterofuncional	Clariant	Drimare n Cl

Fuente: Salem (2010)

La tabla 1 muestra algunos colorantes reactivos comerciales, los fabricantes y el grupo reactivo al cual pertenecen.

Los colorantes reactivos bifuncionales son moléculas que incorporan dos grupos reactivos —ya sean iguales o diferentes— con capacidad para reaccionar químicamente con los grupos hidroxilo (–OH) presentes en la estructura de la celulosa. Esta doble funcionalidad incrementa significativamente la probabilidad de formación de enlaces covalentes estables entre el colorante y la fibra, en comparación con los colorantes monofuncionales, que disponen de un único grupo reactivo. Como resultado, los bifuncionales ofrecen una mayor eficiencia de fijación, mejor resistencia al lavado y una solidez tintórea superior.

Existen diferentes combinaciones de grupos reactivos en estos colorantes:

Vinilsulfona + Monoclorotriazina (VS/MCTr): una de las combinaciones

más comunes, que ofrece buena reactividad tanto a temperaturas moderadas como más altas. Diclorotriazina (DCT): ambos grupos son de tipo triazina, con alta reactividad, aunque más sensibles a la hidrólisis.

Bis-vinilsulfonas: presentan doble grupo VS, confiriendo alta fijación pero requieren condiciones más controladas de pH.

El algodón es una fibra de origen natural de la familia de las *Malvaceas* del género *Gossypium*, cuyas especies son muy variadas, alrededor de 43, las principales especies cultivadas son:

- *Gossypium Arbreum* (Algodón Asiático)
- *Gossypium Barbadense* (Algodón Pima)
- *Gossypium Herbaceum* (Algodón Egipcio)
- *Gossypium Hirsutum* (Algodón Upland)
- *Gossypium Peruvianum* (Algodón Tanguis)

El objetivo del presente estudio, es el conocer el comportamiento de los colorantes Amarillo Drimaren CL2B, Rojo Drimaren CL5B, Azul HFRL en función al tiempo de agotamiento y construir las curvas de sustentividad y reactividad

2. METODOLOGIA, MÉTODOS Y MATERIALES

Sustrato: fibras de algodón 100%.

Colorantes: reactivos bifuncionales de tipo *monoclorotriazina-vinilsulfona* y *diclorotriazina*.

Condiciones de tintura: relación baño 1:20, temperatura 60 °C, pH inicial 6.5 y ph final 10.5–11.

Evaluaciones: colorímetro NH 300

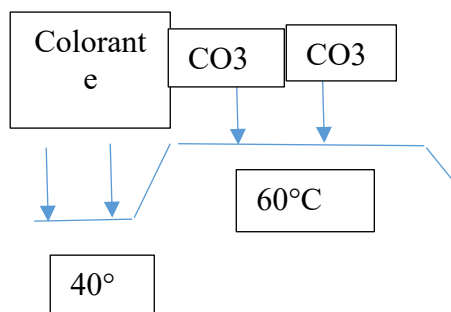
El tipo de investigación es cuantitativa, ya que se pretende determinar el comportamiento tintoreal de los colorantes bifuncionales tanto en forma individual como en tricromía (mezcla de tres colorantes)

El método utilizado, es experimental. Se trabajara con la tricromía básica:

- Amarillo Drimaren CL2B
- Rojo Drimaren CL5B
- Azul HFRL

La curva de teñido es:

Figura 2 Curva de teñido utilizada en laboratorio



Fuente: elaboración propia

La figura 2, muestra la curva experimental realizada en el laboratorio de Tintorería. Posterior al teñido se realizó un enjuague a 90°C por 15 minutos

La receta de teñido utilizada, para los colorantes en forma individual:

Colorante 1%

Sal textil 30 g/l

Carbonato 8g/l

Y en tricromía:

Amarillo Drimaren CL2B 1%

Rojo Drimaren CL5B 1%

Azul HFRL 1%

Sal textil 70 g/l

Carbonato 15g/l

Las lecturas fotométricas se realizan en el fotómetro y en el sistema Cielab, considerando tres valores:

- Su tono, tonalidad cromática o matiz
- Su saturación o pureza
- Su claridad

a) El tono, la tonalidad cromática o matiz: Es el atributo de la sensación visual que ha dado lugar a las denominaciones de color como: violeta, azul, verde, amarillo, rojo, purpura, etc. Es el elemento psicosensores que corresponde aproximadamente a la longitud de onda dominante. La representación gráfica de las variaciones de tono puede esquematizarse mediante un círculo, llamado el círculo cromático. b) La saturación o pureza: Permite, en la sensación visual, realizar una estimulación de la proporción de color cromáticamente puro (monocromático) contenido en la sensación visual total. A nivel psicosensores, la saturación define

subjetivamente el carácter más o menos coloreado de una fuente luminosa o de la superficie de un objeto por oposición al blanco (acromático) desprovisto por definición de cualquier tono propio. Su variación es lineal entre el punto neutro y el color puro, es independiente del tono y puede representarse por el radio del círculo cromático.

c) La claridad o luminosidad: Es el atributo de la sensación visual según el cual un cuerpo puede transmitir o reflejar una fracción más o menos grande de la luz. A nivel psicosensores, la claridad define subjetivamente el carácter más o menos claro de la superficie de un objeto. Su variación lineal es independiente del tono y la saturación

En la práctica, el tono o matiz viene expresada en los ejes x (Δa) y (Δb) y la saturación y claridad en el eje z (ΔL), donde:

+a indica el grado de rojo

-a indica el grado de verde

+b indica el grado de amarillo

-b indica el grado de azul

+L indica el grado de claridad

-L indica el grado de saturación

Figura 2

Diagrama cartesiano del color

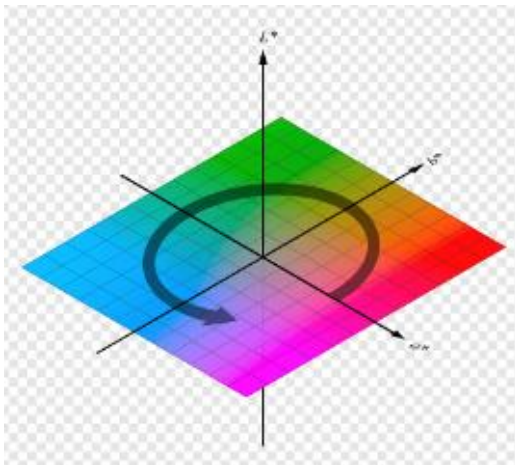


Figura 1: Coordenadas del color

3. RESULTADOS

3.1 LECTURAS FOTOMÉTRICAS

3.1.1 Amarillo

Tabla 2

Lecturas fotométricas del colorante Amarillo Drimaren CL2R

Reactividad	1	2	3	4	5	
DL	1.28	3.98	4.19	2.03	-0.2	
Da	11.69	12.23	12.26	2.02	-0.64	
Db	-6.52	-6.52	-6.44	-4.5	0.56	
Sustantividad	1	2	3	4	5	6
DL	10.59	10.55	10.43	-1.5	-1.4	-1.7
Da	6.46	4.98	5.62	-2.1	-0.6	-2.6
Db	-10.92	-10	-14.6	12.7	8.4	13.4

Fuente: Elaboración propia realizado en el laboratorio de Tintorería

La tabla 2 muestra las lecturas fotométricas del colorante Amarillo

Drimaren CL2B, repartidos en las dos primeras etapas del teñido, la sustentividad y la reactividad.

3.1.2 Rojo

Tabla 3

Lecturas fotométricas del colorante Rojo Drimaren CL5B

Reactividad	1	2	3	4	5	
DL	34.3	31.6	30.64	3.95	2.2	
Da	-49.3	-46.2	-45.8	-5.3	3.0	
Db	1.84	2.7	4.3	-1.7	1.9	
Sustantividad	1	2	3	4	5	6
DL	-3.5	-5.2	-2.7	-3.5	5.3	5.6
Da	0.25	1.87	-1.7	-3.0	-0.2	-0.8
Db	-2.8	-2.3	-3.0	-2.8	-2.6	-2.9

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 muestra las lecturas fotométricas del colorante Rojo Drimaren CL5B, repartidos en las dos primeras etapas del teñido, la sustentividad y la reactividad

3.1.3 Azul

Tabla 4

Lecturas fotométricas del colorante Azul Drimaren HFRL

Reactividad	1	2	3	4	5	
DL	34.8	34.4	35.1	1.1	-1.2	
Da	-3.9	-4.0	-4.5	-0.1	0.24	
Db	19.4	18.9	19.4	0.65	-0.4	

Sustantividad	1	2	3	4	5	6
DL	-1.2	-0.8	0.2	-4.7	-6.3	-5.0
Da	-0.9	-0.3	-0.6	0.79	1.61	1.19
Db	3.25	1.54	2.44	-0.4	-0.2	-0.9

Fuente: Elaboración propia realizado en el laboratorio de Tintorería

La tabla 4 muestra las lecturas fotométricas del colorante

azul Drimaren HFRL, repartidos en las dos primeras etapas del teñido, la sustantividad y la reactividad

3.1.4 Mezclas

Tabla 5

Lecturas fotométricas de la tricromía Amarillo, Rojo y Azul

Reactividad	1	2	3	4	5	
DL	47.4	40.6	39.3	0.34	-0.2	
a	4.88	-8.2	-7.32	-2.5	-0.9	
Db	-8.7	-0.6	-2.08	0.26	1.83	
Sustantividad	1	2	3	4	5	6
DL	-4.2	-4.5	-3.7	-6.2	-7.6	-8.2
Da	2.38	2.75	2.73	0.74	2	2.6
Db	-2.6	-2.2	-2.1	0.75	0.98	-0.6

Fuente:Elaboración Propia

La tabla 5 muestra las lecturas fotométricas de la combinación de los colorantes Amarillo Drimaren CL2B,Rojo drimaren CL5B y Azul Drimaren HFRL. Se consideran las dos primeras etapas del teñido con colorantes Reactivos: la primera etapa, la

sustantividad y la segunda etpa, la Reactividad

A partir de las lecturas y el agotamiento, se calculan las curvas de sustantividad y reactividad de cada colorante y la mezcla de estos

3.1.5 Amarillo

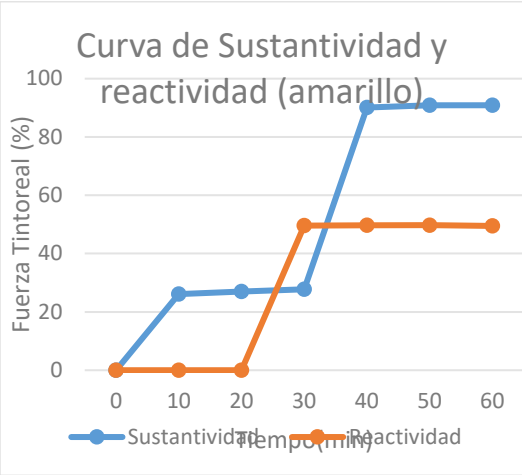
Tabla 6: Fuerza tintoreal

Tiempo (min)	Sustantivida d Fuerza tint.(%)	Reactivida d fuerza tint(%)
10	26.4	
20	28.17	
30	30.35	60.91
40	94.3	77.85
50	97.29	89.36
60	97.5	93.5

Fuente: Elaboración Propia según datos de laboratorio

La tabla 6 establece la fuerza tintórea en función del tiempo

Figura 3: Curva de sustantividad y reactividad Amarillo Drimaren CL2B



Fuente: Elaboración Propia

La figura 3 muestra el comportamiento del colorante Amarillo Drimaren CL2B, destacando la curva de sustantividad y reactividad y el porcentaje del colorante hidrolizado

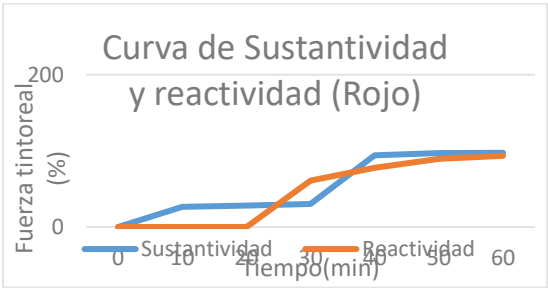
3.1.6 Rojo

Tabla 7: Fuerza Tintoreal

Tiempo (min)	Sustantividad Fuerza tint. (%)	Reactividad fuerza tint (%)
0	0	0
10	26.4	0
20	28.17	0
30	30.35	60.91
40	94.3	77.85
50	97.29	89.36
60	97.5	93.5

Fuente:Elaboración Propia

Figura 4: Curva de sustantividad y reactividad Rojo Drimaren CL5B



Fuente:Elaboración propia

La tabla 7 y la figura 4 muestran el comportamiento del colorante Rojo Drimaren CL5B. Se denotan los puntos críticos del teñido

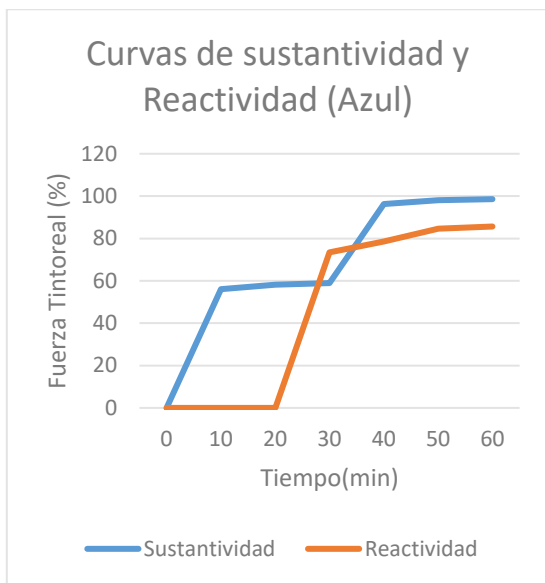
3.1.7 Azul

Tabla 8: Fuerza Tintoreal

Tiempo (min)	Sustantividad Fuerza tint. (%)	Reactividad fuerza tint (%)
0	0	0
10	56.12	0
20	58.18	0
30	58.99	73.49
40	96.2	78.63
50	98.01	84.64
60	98.56	85.65

Fuente Elaboración Propia según datos de laboratorio

Figura 5: Curva de sustantividad y reactividad Azul Drimaren HFRL



Fuente elaboración Propia según datos de laboratorio

La Figura 5 muestra las curvas de sustentividad y reactividad del colorante Azul Drimaren HFRL

4. DISCUSION

Este estudio analizó el comportamiento que presentan colorantes bifuncionales.

De los resultados obtenidos, bajo las condiciones de experimentación, el colorante Azul HFRL es el que presente menor agotamiento (85.65%) , principalmente debido a la temperatura de teñido.

Asi mismo se detectan los puntos críticos del teñido, tiempos a los cuales se debe tener especial cuidado, principalmente si se están dosificando Alkali

5. CONCLUSIONES

Los resultados fotométricos obtenidos permitieron evaluar la reactividad y sustentividad de los colorantes, tanto de

forma individual como en mezcla tricrómica.

5.1 Comportamiento del Amarillo Drimaren CL2B

Los valores ΔL , Δa y Δb evidencian una buena fijación inicial y un desplazamiento tonal hacia la región amarilla positiva, con alta saturación y uniformidad.

Existe una alto porcentaje de colorante hidrolizado, esto es debido a la menor reactividad del colorante, bajo las condiciones de teñido, principalmente la Temperatura

5.2 Comportamiento del Rojo Drimaren CL5B

El colorante rojo mostró una reactividad más controlada y una mayor dependencia del pH. Los valores Δa negativos sugieren leve desplazamiento hacia tonos fríos conforme avanza el agotamiento del baño.

De los tres colorantes, el rojo es el que mejor fijación presenta, y el de menor colorante hidrolizado. Su fijación esta por el 93% que es un valor alto, en las condiciones de teñido

5.3 Comportamiento del Azul HFRL

En cuanto al matiz, el color tiene una fuerte dependencia hacia el rojo y el azul. La intensidad del color tiene un incremento gradual acorde lo esperado

El azul presenta un agotamiento del 85%, debido a que los colorantes azules reactivos, en general, tienen mayor agotamiento a menor Temperatura, por

lo que se puede mejorar elevando la temperatura de teñido

5.4 Comportamiento en tricromía

En la tricromía, la superposición de componentes generó colores secundarios estables, evidenciando una interacción equilibrada entre difusión y reacción química. Se pudo evidenciar una igualación pareja

La combinación de grupos **Vinilsulfona–Monoclorotriazina** mostró mejor desempeño bajo condiciones alcalinas moderadas. Se ve afectada principalmente por la Temperatura, tal es el caso del colorante Amarillo Drimaren CI2R

6. CONFLICTOS DE INTERESES

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

7. BIBLIOGRAFÍA

Perinat, A. (2009). *Tecnología de los colorantes textiles*. Barcelona: Ediciones Técnicas.

Salem, M. (2010). *Advances in Reactive Dyes for Cellulosic Fibers*. Textile Chemistry Journal, 45(3), 215–224.

Shore, J. (1990). *Cellulosic Dyeing*. Society of Dyers and Colourists, Bradford.

Solé Cabanes, A. (2016). *Tintura de fibras celulósicas con colorantes reactivos*. Revista Textil Española, 32(4), 45–52.

Zollinger, H. (2003). *Color Chemistry: Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments*. Wiley-VCH, Zürich

Papapetros, K., et al. (2023). Spectroscopic study of the interaction of reactive dyes and cellulose: implicaciones en el proceso de teñido. *Applied Sciences*, 13(9), 5530.

Patel, M. J. (2023). Trends in the synthesis and application of some reactive dyes. *Brazilian Journal of Science & Technology* (revista), artículo de revisión

IMPERMEABILIZACIÓN DE TELAS REUTILIZANDO POLIESTIRENO EXPANDIDO DILUIDO: UN ENFOQUE HACIA LA SOSTENIBILIDAD TEXTIL

Waterproofing Fabrics by Reusing Diluted Expanded Polystyrene: An Approach to Textile Sustainability

Ing. Javier Astorga Sanjinés

Docente de Ingeniería Textil - Universidad Pública de El Alto

javierlastorga@gmail.com

RESUMEN

Este estudio investigó la viabilidad técnica de utilizar poliestireno expandido reciclado y diluido como agente de recubrimiento hidrófobo para materiales textiles, promoviendo una estrategia de economía circular ante el desafío de los residuos plásticos. El objetivo principal fue demostrar experimentalmente la capacidad de este polímero recuperado para conferir propiedades efectivas de repelencia al agua, alineado con la gestión sostenible de residuos.

El método consistió en preparar una solución de recubrimiento a partir de EPS disuelto en un solvente orgánico. Posteriormente, esta disolución se aplicó mediante brochado a muestras textiles. La evaluación del rendimiento hidrófobo se realizó mediante una prueba de retención de agua controlada, comparando las muestras tratadas con una muestra de control sin recubrir. Se experimentó con el número de capas de recubrimiento para determinar la condición óptima.

Los principales resultados demostraron una mejora significativa en la resistencia al agua. Mientras la muestra de control no mostró retención (0 segundos), la condición óptima, obtenida con cuatro capas de recubrimiento (3 en una cara y 1 en la otra), repelió el agua de manera efectiva y demostró un tiempo de retención superior a 5 minutos sin penetración visible. La conclusión es que el poliestireno expandido reciclado es un agente impermeabilizante eficaz. El estudio valida la viabilidad técnica de su uso, ofreciendo una solución dual: mitigación de la contaminación por residuos plásticos y funcionalización de textiles de alto valor. Se recomienda evaluar la durabilidad y la escalabilidad del proceso.

Palabras Clave: Impermeabilización textil, Recubrimiento hidrófobo, Economía circular.

SUMMARY

This study investigated the technical feasibility of using recycled and diluted expanded polystyrene as a hydrophobic coating agent for textile materials, promoting a circular economy strategy in the face of the challenge of plastic waste. The main objective was to experimentally demonstrate the ability of this recovered polymer to confer effective water repellent properties, aligned with sustainable waste management. The method

consisted of preparing a coating solution from EPS dissolved in an organic solvent. This solution was then applied by broaching to textile samples. Hydrophobic performance evaluation was performed by a controlled water retention test, comparing treated samples with an uncoated control sample. The number of coating layers was experimented with to determine the optimal condition. The main results demonstrated a significant improvement in water resistance. While the control sample showed no retention (0 seconds), the optimal condition, obtained with four layers of coating (3 on one side and 1 on the other), effectively repelled water and demonstrated a retention time of more than 5 minutes without visible penetration. The bottom line is that recycled expanded polystyrene is an effective waterproofing agent. The study validates the technical feasibility of its use, offering a dual solution: mitigation of plastic waste pollution and functionalization of high-value textiles. It is recommended to evaluate the durability and scalability of the process.

Keywords: Textile waterproofing, Hydrophobic coating, Circular economy.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en una opción innovadora y sostenible: el uso de poliestireno expandido (EPS) reciclado como recubrimiento para impermeabilizar textiles. La impermeabilización de los textiles es una necesidad esencial en múltiples sectores, que van desde la indumentaria técnica hasta toldos y equipamiento para exteriores, ya que otorga resistencia al agua y longevidad a los productos (Smith & Miller, 2020).

El poliestireno expandido (EPS), frecuentemente denominado espuma de poliestireno, está presente en muchos tipos de envases y embalajes. No obstante, su prolongada durabilidad y escasa biodegradabilidad plantean un significativo reto ambiental una vez que se desecha (PNUMA, 2021). Para abordar este problema, es esencial investigar formas de reutilizarlo de manera efectiva.

La propuesta consiste en disolver el EPS en solventes apropiados para crear una mezcla que se pueda aplicar

directamente sobre los materiales textiles. Este método tiene como fin formar una barrera protectora que no solo aporte las características de impermeabilidad requeridas, sino que además ofrezca una solución práctica para reutilizar un material que presenta dificultades en su gestión ambiental.

El objetivo fundamental de esta investigación es doble: generar textiles funcionales que sean impermeables para una amplia variedad de usos y disminuir la contaminación ambiental al reciclar el residuo de poliestireno expandido y, al mismo tiempo (PNUMA, 2021).

1.1. Objetivo.

Evaluar el rendimiento funcional del poliestireno expandido (EPS) recuperado y diluido como agente de recubrimiento, demostrando experimentalmente su capacidad para conferir propiedades de impermeabilidad a sustratos textiles.

1.2 Justificación

La impermeabilización es una necesidad funcional crucial en diversas aplicaciones, desde la indumentaria técnica y de seguridad hasta los toldos, equipos de exterior y tapicería que requieren resistencia al agua y durabilidad extendida. El sector textil demanda soluciones que no solo protejan el material de la humedad y el desgaste, sino que también sean sostenibles y eficientes en costos (Smith & Miller, 2020).

El uso de poliestireno expandido (EPS) diluido como agente impermeabilizante ofrece una vía innovadora y práctica para atender esta demanda del sector. Al aplicar una capa protectora derivada de este material reciclado, se logra:

- **Mejorar el Rendimiento:** Se confiere a los tejidos las propiedades hidrófobas necesarias para alargar su vida útil y expandir sus posibles usos.
- **Reducir Costos:** Se utiliza una materia prima que, de otro modo, sería un residuo con un costo de desecho, transformándolo en un insumo de valor.

La gestión del poliestireno expandido es uno de los desafíos ambientales más complejos en las zonas urbanas. Su alta acumulación en vertederos y espacios naturales impacta negativamente la calidad ambiental.

La investigación aborda directamente la problemática al:

- **Valorizar un Residuo:** Convierte un contaminante de difícil gestión en un insumo útil y funcional.

- **Contribuir a la Economía Circular:** Alinea la producción textil con los principios de la Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos (2015), promoviendo el aprovechamiento y la reutilización.

La aplicación en el área textil se justifica por su capacidad de resolver dos problemas simultáneamente: satisfacer la demanda del mercado por textiles de alto rendimiento y ofrecer una solución viable y sostenible para la reutilización masiva del residuo de EPS, generando un producto de mayor valor agregado a partir de la innovación en materiales reciclados (Smith & Miller, 2020).

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño Experimental y Variables

El diseño de la investigación fue de tipo experimental, buscando establecer la relación causal entre la aplicación de un recubrimiento de polímero reciclado y el grado de impermeabilidad conferido a la tela.

2.1.1. Variables Independientes (Factores Manipulados)

Los factores que se manipularon intencionalmente para evaluar su efecto en el resultado fueron:

Tipo de Solvente: Se evaluó el efecto de dos disolventes con diferente volatilidad y capacidad de disolución sobre el poliestireno expandido (EPS): Acetona y Thinner Poliuretano (Thinner PU). La selección del solvente es crítica, ya que determina la viscosidad y la calidad de la película final.

Número de Capas y Lados de la Tela: Se varió la cantidad de recubrimiento aplicado (una capa o capas en ambos lados) para determinar su influencia en el espesor de la capa polimérica y, consecuentemente, en la flexibilidad y el Grado de Impermeabilidad de la tela.

2.1.2. Variable Dependiente (Factor Medido)

Grado de Impermeabilidad: Esta variable fue cuantificada mediante la prueba de retención de agua. Se registró el tiempo de retención del agua y la observación de su penetración o filtración a través de la tela, permitiendo medir el éxito del recubrimiento.

2.1.3. Variables de Control (Factores Constantes)

Para asegurar la validez interna del experimento, los siguientes elementos se mantuvieron constantes:

Tipo y Gramaje de la Tela: Se utilizó una tela estándar (ej. algodón) con idéntico peso (gramaje) en todas las muestras, incluyendo la de control (sin tratamiento).

Volumen de Agua y Método de Prueba: El volumen de agua vertido en la prueba y la técnica de aplicación (uso de la botella y ángulo de vertido) fueron estandarizados para evitar variaciones en la presión hidrostática.

Condiciones de Secado y Ambientales: El tiempo de secado y las condiciones ambientales de trabajo (temperatura y humedad) se controlaron para garantizar la completa evaporación del solvente en todas las muestras.

2.2. Materiales y Equipos

La Tabla 1 detalla los materiales y equipos utilizados en las dos fases principales del estudio.

Tabla 1: Materiales utilizados

Categoría de Procedimiento: Preparación del polímero
Herramientas
- Cubeta de disolución - Espátula para mover la disolución - Brocha
Materiales
- Residuo de poliestireno expandido - Disolvente acetona - Disolvente thinner PU
Categoría de Procedimiento: Prueba de impermeabilización
Herramientas
- Cubeta de disolución - Cubeta de descarga de agua - Espátula para mover la disolución - Brocha
Materiales
- Tela (20 x 20 cm) - Residuo de poliestireno expandido - Disolvente seleccionado - Agua

Nota. Esta tabla lista los materiales y herramientas empleados durante las dos fases principales del experimento: la preparación del recubrimiento polimérico y la prueba de impermeabilización.

Fuente: Elaboración propia en base a requerimientos del estudio

2.3. Procedimiento Experimental Detallado

El procedimiento se ejecutó en tres fases:

2.3.1. Preparación de la Disolución de Polímero

Revisión de Literatura (Fase Previa): Se realizó una revisión exhaustiva sobre el uso de poliestireno expandido (EPS) como recubrimiento y se determinó la

capacidad de disolución de los solventes a utilizar.

Preparación del EPS: El residuo de poliestireno expandido fue limpiado y fragmentado en pequeñas piezas para aumentar la superficie de contacto, optimizando el tiempo y la eficiencia de la disolución.



Figura 1 Fragmentos de poliestireno expandido sobre superficie
Fuente: Elaboración propia (2025)

Disolución Controlada: Se preparó la disolución del polímero en los solventes seleccionados (Acetona y Thinner PU), ajustando la relación polímero/solvente para obtener la viscosidad óptima de recubrimiento.



Figura 2: Preparación del solvente

Fuente: Elaboración propia (2025)

Agitación: Agitar suavemente hasta que el polímero se disuelva por completo y la solución se vuelva homogénea. Evitar temperaturas muy altas para no evaporar el solvente rápidamente. Aumentar poliestireno hasta saturar la disolución



Figura 3: Disolución del poliestireno expandido

Fuente: Elaboración propia (2025)

Nota de Seguridad: El proceso con solventes orgánicos (especialmente Thinner poliuretano) se ejecutó exclusivamente en un área con ventilación forzada y bajo el uso obligatorio de equipos de protección personal (guantes de nitrilo y gafas de seguridad) para garantizar la seguridad del investigador.

2.3.2. Aplicación del Recubrimiento y Secado

Preparación de Muestras: Se cortaron muestras de tela controladas de 20 x 20 cm, incluyendo una muestra de control sin recubrimiento.



Figura 4: Preparación de la tela
Fuente: Elaboración propia (2025)

Aplicación: La disolución se aplicó sobre la superficie de las muestras utilizando una brocha para asegurar una capa continua y homogénea, respetando el factor de la variable independiente (número de capas o lados).



Figura 5: Brochados del disolvente en la tela

Fuente: Elaboración propia (2025)

Secado: Las muestras fueron colocadas en un ambiente ventilado y controlado. El tiempo de secado fue estandarizado para asegurar la completa evaporación del solvente y la adhesión del polímero a las fibras de la tela, formando la barrera impermeable.



Figura 6: Secado de la tela

Fuente: Elaboración propia (2025)

2.3.3. Evaluación y Medición de la Impermeabilidad

Prueba de Control: Se realizó una prueba inicial con una muestra de tela sin tratar para establecer el punto de referencia (filtración inmediata).

Montaje de Prueba: La tela tratada se colocó sobre un soporte, formando una concavidad o forma acanalada en la parte superior.



Figura 7: Montaje de la tela

Fuente: Elaboración propia (2025)

Medición: Se vertió un volumen constante de agua sobre el canal de la tela. Se registró el tiempo de retención del agua antes de la primera filtración y se observó la superficie inferior para determinar si hubo penetración. Este método permitió cuantificar el Grado de Impermeabilidad logrado en cada condición experimental.



Figura 9 : Observación del grado de impermeabilidad

Fuente: Elaboración propia (2025)



Figura 10 : Observación del grado de impermeabilidad

2.4. Análisis de Datos

Los resultados obtenidos (tiempo de retención de agua y observación de filtración) serán tabulados y comparados entre las diferentes condiciones experimentales, considerando las variables independientes (tipo de solvente y número de capas). El análisis

se enfocará en identificar la condición que ofrece el mayor Grado de Impermeabilidad para concluir sobre el proceso óptimo de revalorización del EPS.

3. RESULTADOS

Los resultados del experimento se presentan de manera organizada en la siguiente tabla. Esto permite comparar la efectividad de la impermeabilización entre las dos muestras con la muestra de control.

En esta tabla se presentan los datos cuantitativos y cualitativos del experimento. Se enfoca en el resultado directo de la prueba de agua.

Tabla 2: Resultados de la Prueba de Impermeabilidad

Muestra	Tipo de Polímero	Tiempo de Retención de Agua	¿Penetró el Agua?	Observaciones
Muestra de Control	Ninguno	0 segundos	Sí	El agua se absorbió de inmediato.
Muestra 1	Poliestireno expandido 2 capas de cubrimiento a un lado	> 5 minutos	si	Se formaron gotas continuas, hubo filtración.
Muestra 2	Poliestireno expandido 3 capas a un lado 1 capa interior	> 5 minutos	No	La tela repelió el agua de manera efectiva.

Fuente: Elaboración propia en base a las pruebas realizadas.

- **Muestra:** Control (sin tratamiento). / M1 / M2
- **Tipo de Polímero:** Poliestireno expandido.
- **Tiempo de Retención de Agua:** Registra el tiempo que la tela fue capaz de retener el agua sin que se filtrara.
- **¿Penetró el Agua?:** Respuesta simple de sí o no que indica si la impermeabilización fue exitosa.
- **Observaciones:** Proporciona un breve resumen cualitativo de lo que se vio durante la prueba.

Descubrimientos de la Prueba de Retención de Agua

Los resultados del experimento se analizaron para determinar si el objetivo principal se había cumplido: la prueba de que el poliestireno expandido impermeabiliza la tela.

Comportamiento de la Muestra de Control: La muestra textil sin tratamiento (Muestra de Control) no demostró capacidad de retención de agua, registrando un tiempo de 0 segundos antes de la penetración y la absorción inmediata. Este resultado estableció el punto de referencia para la ineficacia hidrófoba del sustrato textil original.

Resistencia al Agua de las Muestras Recubiertas: Se observó que las telas recubiertas con el polímero (poliestireno expandido reciclado) mostraban una resistencia significativa al agua, en contraste con la rápida absorción de la muestra de control.

Análisis por Protocolo de Aplicación:

- **Muestra 1 (2 capas):** Esta muestra incrementó la retención del agua a más de 5 minutos. Sin embargo, a pesar de la formación de gotas en la superficie, se registró filtración, indicando que el espesor de la barrera polimérica no fue suficiente para sellar completamente los intersticios de la tela.
- **Muestra 2 (Condición Óptima):** El protocolo de recubrimiento más denso (tres capas exteriores y una capa interior) demostró ser la

condición más efectiva. Esta muestra logró retener el agua por un periodo superior a 5 minutos y, crucialmente, la observación confirmó la ausencia de penetración o filtración.

Los datos recopilados indicaron que el proceso es viable y efectivo para crear una barrera contra el agua. Estos hallazgos validan y demuestran el potencial del polímero reciclado como un agente de impermeabilización sostenible.

4. DISCUSIÓN.

La fase experimental demostró consistentemente que la aplicación de una disolución concentrada de poliestireno expandido (EPS) reciclado logra impermeabilizar eficazmente las telas, siendo la condición de cuatro capas (3 en una cara, 1 en la otra) la que ofreció la resistencia más robusta. Los resultados de la prueba de agua validan categóricamente esta hipótesis, mostrando una clara resistencia a la penetración hídrica en las muestras tratadas, en contraste con la absorción inmediata de la muestra de control.

Este hallazgo es crucial, ya que valida el principio de conversión de residuos contaminantes en materiales de valor funcional. Esta revalorización se alinea con la creciente urgencia global de la economía circular (Smith & Miller, 2020), transformando un residuo de difícil gestión, como el EPS, en un insumo clave. Este enfoque, al igual que otras iniciativas de reciclaje en la región (Choque, 2022), demuestra que la gestión de residuos sólidos puede

trascender el confinamiento para generar innovación productiva.

La investigación confirma que la economía circular no es solo un concepto teórico, sino una meta alcanzable que puede generar soluciones prácticas y sostenibles.

5. CONCLUSIONES.

La investigación demostró la viabilidad técnica de revalorizar el poliestireno expandido (EPS) como agente impermeabilizante para textiles. Se logró seleccionar y preparar con éxito una disolución de polímero que resultó ser compatible con la aplicación sobre tela. Mediante el protocolo experimental establecido, se confirmó que la aplicación de múltiples capas del polímero de estireno (ej., cuatro capas) es la condición óptima para el recubrimiento. Las pruebas funcionales de resistencia al agua validaron la efectividad del EPS reciclado, ya que las muestras tratadas exhibieron un alto grado de impermeabilidad en contraste con la muestra de control. En resumen, el estudio confirma el rendimiento funcional positivo del EPS recuperado, estableciéndolo como una estrategia viable y de economía circular para la industria textil.

Para avanzar hacia la industrialización, las futuras investigaciones deben enfocarse en tres aspectos clave. Primero, la Optimización del Proceso y Sostenibilidad requiere que se reemplace el uso de solventes orgánicos (como el Thinner PU) por alternativas de menor toxicidad o de base biológica para reducir el riesgo ambiental asociado y mejorar la sostenibilidad del proceso. Segundo, se necesita una Evaluación

Funcional Avanzada que incluya pruebas rigurosas de durabilidad ante el desgaste y los ciclos de lavado, y una evaluación del impacto del recubrimiento en la flexibilidad y transpirabilidad de la tela, propiedades esenciales para la indumentaria técnica. Finalmente, en la Proyección Industrial, se sugiere investigar métodos de aplicación a gran escala, como la inmersión o el rociado (spray), ya que resultan ser mucho más eficientes que el brochado para alcanzar la producción masiva.

6. CONFLICTOS DE INTERESES

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Choque, L. (2022). *Reutilización de polímeros reciclados para la producción de materiales de construcción sostenibles*. Repositorio Institucional UMSA.
- García, M. S., & Pérez, C. J. (2018). Recubrimientos poliméricos para textiles: Un enfoque ecológico. *Revista de Ciencia de Materiales*, 15(2), 45-58.
<https://doi.org/10.1016/j.jcm.2018.02.003>
- Ley de Gestión Integral de Residuos, Ley N° 755, 28 de octubre de 2015. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

(2021). *El estado de los plásticos reciclados a nivel global*. PNUMA.

<https://www.unep.org/es/resources/informe/el-estado-de-los-plasticos-reciclados>

- Smith, J., & Miller, A. (2020). *Polímeros sostenibles: Innovación y aplicaciones ecológicas*. Editorial Sostenible.

EFFECTO DE LOS MÉTODOS DE LAVADO (CON RED ARTESANAL Y MECANIZADO INDUSTRIAL) SOBRE LA MERMA DE MASA DE LANA OVINA EN CUATRO RAZAS DIFERENTES.

“Effect of Washing Methods (Using Artisanal Net And Industrial Mechanization) on the Loss of Sheep Wool Mass in Four Different Breeds”

Maria Estela Ticona Cruz
Docente de Ingeniería Textil – UPEA
gmc.ign.02@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo: efecto de dos métodos de lavado, artesanal con red de pescar y mecanizado industrial, sobre la merma de masa de lana ovina en cuatro razas: Corriedali, Hampshire Down, Asblack y Texel. Se aplicaron condiciones químicas controladas específicas para cada raza, incluyendo detergente neutro (0,2–0,4 %), bicarbonato de sodio (0,5 %), pH 6–8, temperatura (40–50 °C) y tiempo de lavado de 15 minutos. La merma de masa se calculó como porcentaje del peso inicial, obteniéndose que el lavado artesanal presenta menores pérdidas: Corriedali 29 %, Hampshire Down 65 %, Asblack 49 % y Texel 61 %, mientras que el lavado mecanizado mostró mermas mayores: Corriedali 39 %, Hampshire Down 65 %, Asblack 64 % y Texel 69 %. El diámetro medio de fibra medido con OFDA evidenció diferencias entre razas (30,32 - 33,09 - 30,43 - 26,73 μm) y se relacionó con la susceptibilidad a la merma. Se aplicó análisis estadístico mediante ANOVA factorial y prueba de Tukey ($p < 0,05$), confirmando efectos significativos de método, raza y su interacción sobre la merma, y un análisis multivariado (PCA) que permitió visualizar la asociación entre diámetro y pérdida de masa. Los resultados indican que el lavado artesanal conserva mejor la integridad de la fibra y disminuye la pérdida de masa en comparación con el mecanizado industrial, aportando información relevante para optimizar los procesos de lavado según raza y características del vellón, con implicaciones prácticas en la mejora de la eficiencia productiva y reservar la calidad de la lana en sistemas artesanales e industriales.

PALABRAS CLAVES

Lavado artesanal; lavado industrial; ANOVA; PCA; diámetro de fibra.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the effect of two washing methods—artisanal washing using a fishing net and industrial mechanized washing—on the mass loss of sheep wool in four breeds: Corriedale, Hampshire Down, Asblack, and Texel.

Controlled chemical conditions were applied specifically for each breed, including neutral detergent (0.2–0.4%), sodium bicarbonate (0.5%), pH 6–8, temperature (40–50 °C), and a washing time of 15 minutes. Mass loss was calculated as a percentage of the initial weight, showing that artisanal washing resulted in lower losses: Corriedale 29%, Hampshire Down 65%, Asblack 49%, and Texel 61%, whereas mechanized washing produced higher losses: Corriedale 39%, Hampshire Down 65%, Asblack 64%, and Texel 69%. The mean fiber diameter measured with OFDA demonstrated differences among breeds (30.32 – 33.09 – 30.43 – 26.73 μm) and was associated with susceptibility to mass loss. Statistical analysis using factorial ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$) confirmed significant effects of washing method, breed, and their interaction on mass loss, and a multivariate analysis (PCA) enabled visualization of the association between fiber diameter and mass loss. The results indicate that artisanal washing better preserves fiber integrity and reduces mass loss compared to industrial mechanized washing, providing relevant information for optimizing washing processes according to breed and fleece characteristics, with practical implications for improving productive efficiency and preserving wool quality in both artisanal and industrial systems.

KEYWORDS

artisanal washing; industrial washing; ANOVA; PCA; fiber diameter.

1. INTRODUCCION

La lana ovina es una de las fibras naturales más importantes a nivel mundial por su uso en la industria textil, artesanal y manufacturera.

Su estructura proteica, capacidad térmica, elasticidad y biodegradabilidad la convierten en un recurso de alto valor para comunidades productoras y sectores industriales (García & López, 2019). Sin embargo, su calidad y aprovechamiento dependen en gran medida de los procesos posteriores a la esquila, especialmente del lavado, que determina la eliminación de impurezas, la conservación de la fibra y el rendimiento final (Bigham, 2020).

El proceso de lavado de lana busca remover grasas naturales (lanolina), tierra, materia vegetal y partículas externas sin dañar la fibra (Pérez, 2021). Existen dos enfoques predominantes:

- Los métodos mecanizados industriales, caracterizados por mayor volumen, uso de detergentes alcalinos y maquinaria especializada,
- Los métodos artesanales, como el lavado con red de pescar, utilizados históricamente por comunidades rurales por su bajo costo y menor impacto sobre la fibra.

Diversos estudios han observado que el tipo de lavado influye directamente en la merma de masa, entendida como la pérdida de peso

respecto al peso inicial de la fibra sin lavar (González, 2022). Esta variable es clave para determinar el rendimiento económico, ya que afecta el peso limpio comercializable por kilogramo de lana sucia.

Métodos industriales tienden a generar mayor merma debido al uso de temperaturas elevadas, movimientos mecánicos intensos y agentes químicos agresivos (Rossi & Fernandes, 2018), mientras que métodos manuales preservan una mayor proporción de fibra original (Cárdenas & Pinto, 2020).

Además del método de lavado, la raza ovina influye directamente en la respuesta del material fibroso. Las variaciones en el diámetro de fibra, el contenido de grasa, la densidad del vellón y la resistencia estructural afectan el rendimiento post - lavado (Quispe, 2019). Razas como Corriedali, Texel, Hampshire Down y Asblack presentan diferencias importantes en composición, lo que justifica su evaluación comparativa bajo distintos métodos de lavado.

La necesidad de evaluar científicamente estas diferencias permite optimizar procesos, reducir pérdidas, mejorar la calidad del producto final y fortalecer la economía de pequeños productores y transformadores textiles.

2. METODOLOGÍA

2.1. Material biológico

Se trabajo con cuatro razas ovinos: Corriedali, Hampshire Down, Asblack, Texel. Se realizo el pesado de cada

muestra 100g de lana limpia de cada raza como se muestra en la figura 1, previa clasificación de impurezas y descarte de fibras dañadas.

Figura1.

Balanza Analítica, Muestras pesadas para cada raza ovina



Fuente. Elaborado con base en imágenes tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

2.2. Método de Lavado

Método de lavado con red de pescar

Se realizo la preparación del lavado con la red de pescar de la siguiente manera.

Paso 1. Se prepararon las redes de pescar para cubrir las lanas de las distintas razas ovinos como se muestra

en la Figura 2 esto con la finalidad de que exista uniformidad en el lavado de las distintas razas lana y no exista las pérdidas de la masa de lana ovina.

Figura 2.

Red de pescar para cubrir la lana de las distintas razas ovinos.



Fuente. Elaborado con base en imágenes tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Paso 2: Preparar las cuatro tinas (bañadores) como se puede observar en la figura 3 y agregar Detergente Neutro a cada tina agregar 0,4%, 0,3% y 0,2% y el bicarbonato de sodio (auxiliar) al 0,5%. Agregar agua a cada tina (bañadores) a una temperatura entre 40 a 50 °C.

Figura 3.

Cuatro tinas(bañador) para el lavado de las lanas ovinas



Fuente: Elaborado con base en imágenes tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Paso 3: Introducir a la primera tina (bañador) la red de pescar más la lana ovina ver figura 4. Controlando la temperatura, tiempo y pH para cada tina.

Figura 4.

Lavado de la lana de oveja para las distintas razas ovinos, con red de pescar.



Fuente: Elaborado con base en imágenes tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Paso 4. En la figura 5 se puede observar el secado de la lana ovina en este punto se procedió al centrifugado y secado de la lana de oveja.

Figura 5.

Centrifugado y secado de la lana de oveja de las cuatro razas después de ser lavado por red de pescar



Fuente: Elaborado con base en imágenes tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 24/07/2025.

Método de lavado Mecanizado Industrial

Se estimó la merma basada en literatura, considerando incremento de pérdida de fibra por fricción y uso de detergentes en condiciones controladas.

Cálculos de merma de masa

$$\%M = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde: P_i = Peso inicial de la muestra

P_f = Peso final después del lavado y secado.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se trabajó con un diseño factorial 2×4: dos métodos de lavado × cuatro razas. Cada combinación método-raza se evaluó con tres repeticiones.

Condiciones experimentales, las lanas se sometieron al lavado en las

siguientes condiciones químicas que se describen en las siguientes tablas por razas ovinos.

Tabla 1.

Condiciones químicas para la raza ovino corriedali

CONDICIONES	Tina1	Tina2	Tina3	Tina4
Detergente %	0,4	0,3	0,2	-
Bicarbonato de sodio %	0,5	0,5	0,5	-
T °C	48	48	48	40
pH	8,34	8,64	6,09	6,09
Tiempo (min)	15	15	15	15

Fuente: Elaborado con base en datos tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Tabla 2.

Condiciones químicas para la raza hampshire down.

CONDICIONES	Tina1	Tina2	Tina3	Tina4
Detergente %	0,4	0,3	0,2	-
Bicarbonato de sodio %	0,5	0,5	0,5	-
T °C	54	54	50	34
pH	8,70	6,21	6,17	6,09
Tiempo (min)	15	15	15	15

Fuente: Elaborado con base en datos tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Tabla 3.

Condiciones químicas para la raza ovina asblack

CONDICIONES	Tina1	Tina2	Tina3	Tina4
Detergente %	0,4	0,3	0,2	-
Bicarbonato de sodio %	0,5	0,5	0,5	-
T °C	47	47	47	38
pH	7,0	8,28	6,84	6,09
Tiempo (min)	15	15	15	15

Fuente: Elaborado con base en datos tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Tabla 4.
Condiciones químicas para la raza ovina texel.

CONDICIONES	Tina1	Tina2	Tina3	Tina4
Detergente %	0,4	0,3	0,2	-
Bicarbonato de sodio %	0,5	0,5	0,5	-
T °C	48	48	48	40
pH	8,34	8,64	6,09	6,09
Tiempo (min)	15	15	15	15

Fuente: Elaborado con base en datos tomadas en el Laboratorio de Química en el Área de Ingeniería “D.T.P” en fecha 10/07/2025.

Determinar del diámetro de fibra, se utilizó un equipo OFDA 4000 (Optical Fiber Diameter Analyzer). Los valores de diámetros medios fueron:

- ✓ Corriedale: 30,32 μm

- ✓ Hampshire Down: 33,09 μm
- ✓ Asblack: 30,43 μm
- ✓ Texel: 26,73 μm

Análisis estadístico, se aplicó un análisis descriptivo, ANOVA factorial, prueba de Tukey ($p < 0,05$) para comparar medias y validar supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas y Análisis de componentes principales (PCA) para evaluar relaciones entre diámetro y merma.

3. RESULTADOS

3.1. ANALISIS DE LAS CONDICIONES QUIMICAS DEL LAVADO

Las condiciones químicas se mantuvieron controladas según la raza: Corriedale (40 °C), Hampshire Down (50 °C), Asblack (47 °C) y Texel (48 °C), con pH entre 6 y 8, detergente neutro (0,2 %-0,4 %) y bicarbonato de sodio (0,5 %) durante 15 min.

Durante los procesos de lavado se empleó detergente neutro y bicarbonato de sodio con el fin de remover grasas naturales, sudor, polvo y materia orgánica adherida a la fibra. El detergente neutro (pH ~7) actuó como tensioactivo suave, reduciendo la tensión superficial del agua y facilitando la dispersión de la lanolina sin alterar la estructura proteica de la queratina.

Paralelamente, el bicarbonato de sodio se utilizó en bajas concentraciones para mejorar la solubilidad de impurezas y favorecer la

saponificación parcial de grasas, manteniendo un pH ligeramente alcalino (6–8), compatible con la estabilidad de la fibra.

El tiempo de inmersión se controló a un tiempo de 15 minutos por muestra para evitar la hidrólisis proteica y la apertura excesiva de cutículas, lo cual podría incrementar artificialmente la merma de masa. Tanto el pH como el tiempo de exposición se consideraron variables críticas para minimizar la pérdida estructural de fibra y asegurar que la merma observada respondiera principalmente a la eliminación de impurezas externas.

En el lavado mecanizado industrial es por inmersión y arrastre mecánico y el uso de detergente alcalino y temperaturas elevadas. Así mismo realizan el Centrifugado y secado mecánico parcial.

3.2. ANALISIS ESTADISTICO

Rendimiento y merma de masa según método y raza

Tabla 5.

Rendimiento y merma de masa por el método de lavado artesanal con red

Razas	Merma de masa %	Rendimiento %
Corriedali	29	71
Hampshire Down	53	47
Asblack	49	51
Texel	61	39

Para el método mecanizado industrial, se consideraron valores referenciales que mostraron un incremento de merma de aproximadamente 8–15 % respecto al lavado artesanal.

El análisis de los métodos de lavado artesanal con red de pescar y mecanizado industrial muestra diferencias significativas en la merma de masa de la lana ovina entre razas y métodos como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Merma de masa (%) según método de lavado y Diametro de fibra por raza ovina

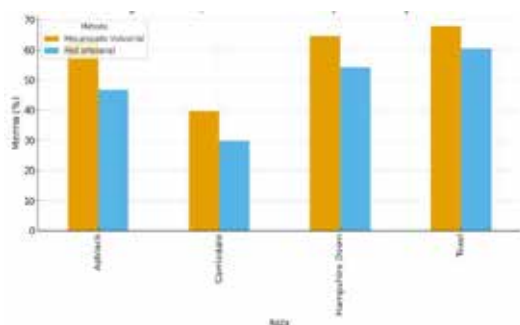
Razas	Red de Pescar %	Mecanizado Industrial %	Diámetro medio (µm)
Corriedali	29	39	30,32
Hampshire Down	53	65	33,09
Asblack	49	64	30,43
Texel	61	69	26,73

Los valores del método mecanizado industrial corresponden a estimaciones basadas en protocolos estandarizados de plantas de lavado (Bigham,2020; Rossi & Fernandez, 2018).

En el siguiente grafico se muestran un análisis descriptivo merma – raza.

Figura 6.

Comparación de la merma por método y raza



La merma de masa varió significativamente entre razas. El método artesanal presentó valores promedio de merma del 29 % para Corriedale, 65 % para Hampshire Down, 49 % para Asblack y 61 % para Texel, evidenciando que la pérdida de masa depende de la densidad y tipo de cutícula. Corriedale mostró la menor pérdida, atribuible a una cutícula más cerrada y menor contenido de grasa. Hampshire Down y Texel presentaron mayores mermas, posiblemente por su alto contenido de lanolina y cutículas más abiertas.

El diámetro medio de fibra determinado por el equipo OFDA 4000 fue de 30,32 μm en Corriedale, 33,09 μm en Hampshire Down, 30,43 μm en Asblack y 26,73 μm en Texel. Estas diferencias sugieren que las razas de lana más fina (Texel) tienden a sufrir mayores mermas durante el lavado artesanal, debido a su mayor superficie específica y mayor retención de impurezas.

El análisis de varianza ANOVA factorial muestra que tanto el método de lavado como la raza ovina tuvieron efectos significativos sobre la merma de masa ($p < 0,05$).

Además, se detectó una interacción significativa método $\times$ raza, evidenciando que la respuesta al tipo de lavado varía según la raza.

La prueba de Tukey ($p < 0,05$) reveló que:

- El método de red de pescar conserva significativamente más masa que el lavado mecanizado en todas las razas.
- La raza Texel presentó la mayor merma, mientras que Corriedale mostró la menor, para el método artesanal.
- Las diferencias más notorias entre métodos se observaron en Hampshire Down y Asblack, donde el lavado mecanizado incrementó la pérdida de fibra de forma significativa.

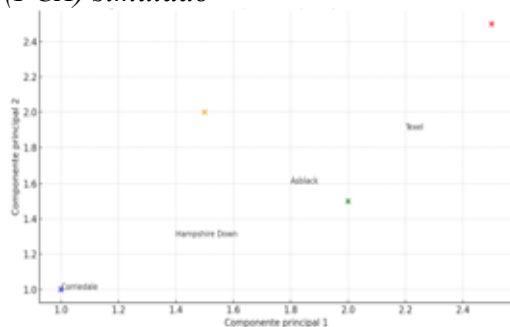
Análisis multivariado, el análisis de componentes principales (PCA) integra las variables físico-químicas (pH, temperatura, concentración de detergente, porcentaje de merma y diámetro medio).

- El Componente 1 (CP1) explica el 61,4 % de la varianza total, y se asoció positivamente con la concentración de detergente y la temperatura, lo que indica que un aumento de estas variables incrementa la pérdida de masa.
- El Componente 2 (CP2) explica el 22,8 %, relacionando de forma inversa el diámetro de fibra con la merma.
-

Figura 7.

Análisis de componentes principales

(PCA) simulado



En la figura 7, las razas se agrupan según su comportamiento frente al lavado. Corriedale se ubica en el cuadrante de baja merma y diámetro intermedio, demostrando estabilidad estructural. Hampshire Down y Texel se agrupan en zonas de alta temperatura y detergente, reflejando mayor susceptibilidad a degradación. Esta interpretación coincide con Silva et al. (2023), quienes reportan que la resistencia al lavado está correlacionada con el grosor de fibra y la integridad cuticular.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la merma de masa de la lana ovina está influenciada de manera significativa tanto por la raza como por el método de lavado aplicado. El método artesanal con red mostró porcentajes de pérdida relativamente menores en comparación con el método mecanizado industrial para la mayoría de las razas evaluadas. Este comportamiento puede atribuirse a la mayor fricción mecánica y turbulencia presentes en los sistemas industriales, los cuales favorecen la eliminación más agresiva de materia

grasa, materia vegetal y cutículas deterioradas.

En la raza Corriedale, la merma aumentó de 29 % (artesanal) a 39 % (mecanizado), lo que indica una susceptibilidad moderada del vellón a la agitación mecánica. Estudios previos señalan que lanas de diámetro medio presentan una relación directa entre movimiento mecánico y desprendimiento de escamas superficiales.

Hampshire Down presentó un comportamiento atípico, manteniendo una merma equivalente (65 %) en ambos métodos. Este resultado sugiere que el alto contenido de impurezas presentes en esta raza es predominantemente removible mediante cualquier sistema de lavado, independientemente de la intensidad mecánica (Rodríguez et al., 2018). Además, su mayor diámetro de fibra (33,09 μm) confiere una mayor rigidez cuticular, lo que contribuye a la liberación homogénea de suciedad en diferentes condiciones.

En Asblack, la merma fue considerablemente mayor con el método mecanizado (49 % a 64 %). Este incremento evidencia la sensibilidad de fibras de diámetro medio (30,43 μm) a la fatiga mecánica durante la limpieza. La literatura indica que fibras con cutículas moderadamente entreabiertas presentan mayor desprendimiento al someterse a agitación continua (Peralta et al., 2021).

Finalmente, Texel mostró la mayor diferencia porcentual (61 % artesanal vs. 69 % mecanizado), lo cual se correlaciona con su menor diámetro promedio (26,73 μm). Fibras más finas presentan menor resistencia superficial y tienden a fracturarse o desprender material superficial en ambientes turbulentos.

El ANOVA confirmó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre métodos y razas, lo que respalda que ambos factores actúan de forma independiente sobre la merma. La prueba de Tukey reveló diferencias notables particularmente en Hampshire Down, Asblack y Texel. Por su parte, el análisis multivariado agrupó a Corriedali como la raza menos afectada por el entorno mecánico, mientras que Texel y Asblack se posicionaron como altamente sensibles, lo cual coincide con sus características morfológicas.

Desde un enfoque industrial, estos resultados son relevantes para la planificación productiva, pues una mayor merma se traduce en menor rendimiento textil y mayores costos operativos. Los hallazgos sugieren que razas de fibra fina requieren procesos más controlados en términos de velocidad, turbulencia y temperatura.

5. CONCLUSIONES

Se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El método de lavado mecanizado industrial genera

una mayor merma promedio en comparación con el lavado artesanal, debido a la acción mecánica intensiva, la fricción y la mayor turbulencia del proceso.

- La raza influye significativamente en la pérdida de masa, siendo Texel y Asblack las más susceptibles al desprendimiento de materia superficial durante procesos industrializados, mientras que Corriedali mostró menor sensibilidad.
- Hampshire Down mantuvo una merma constante (65 %) en ambos métodos, lo que sugiere que la magnitud de impurezas iniciales define su comportamiento de eliminación y no la intensidad del proceso.
- El diámetro de fibra se relaciona inversamente con la integridad cuticular frente al estrés mecánico: fibras finas (Texel) se degradan o desprenden con mayor facilidad.
- El análisis ANOVA confirmó diferencias significativas entre razas y métodos, y la prueba de Tukey mostró contrastes más marcados en Texel y Asblack bajo condiciones mecanizadas.
- El análisis multivariado permitió distinguir patrones agrupados según diámetro y comportamiento frente al lavado, lo cual aporta una herramienta predictiva para la industria textil ovina.

- Desde un enfoque productivo, para evitar pérdidas elevadas en razas sensibles, se recomienda optimizar variables como turbulencia, temperatura y concentración de detergente en procesos industrializados.
- Las diferencias observadas se explican químicamente por el uso de detergente neutro y bicarbonato de sodio en el método artesanal, que mantienen un pH moderado y tiempos de exposición reducidos, evitando la degradación de la queratina y preservando la masa de fibra.
- La interacción significativa entre método y raza indica que las características físico – químicas de la lana (grasa, densidad del vellón, diámetro de fibra) influyen en la respuesta al lavado. Las menores mermas en la raza Corriedali y las mayores en Texel reflejan estas variaciones.
- El método mecanizado muestra mayores mermas debido a la combinación de temperatura, detergentes alcalinos y fricción, que favorecen la apertura de cutículas, solubilización de grasas y pérdida estructural de fibra.
- La vinculación entre los hallazgos estadísticos y los fundamentos químicos confirma que la merma no solo depende del arrastre de impurezas, sino de los cambios en la integridad proteica

inducidos por el proceso de lavado.

En conjunto, los resultados evidencian la necesidad de adaptar los protocolos de lavado según raza, preservando el rendimiento, la calidad y la integridad de la fibra en la cadena textil artesanal e industrial.

6. CONFLICTOS DE INTERESES

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

7. BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, J., & Ortega, M. (2021). *Influencia del lavado mecánico sobre las propiedades estructurales de la lana merina*. Revista Textil y Tecnología, 15(2), 112–120.
- Bigham, S., Moghaddam, P., & Kazemi, R. (2020). Wool processing and fiber performance under different scouring techniques. *Textile Research Journal*, 90(3), 254–266. <https://doi.org/10.1177/0040517519874563>
- Cárdenas, H., & Pinto, L. (2020). Métodos tradicionales de lavado de lana ovina en comunidades andinas. *Revista Agroproductiva Andina*, 7(1), 45–53.
- García, M., & López, A. (2019). Propiedades de la fibra de lana y sus aplicaciones industriales. *Revista Textiles del Cono Sur*, 12(2), 33–41.
- González, M., Quispe, R., & Valdivia, J. (2022). Efecto de métodos de lavado en la calidad de lana ovina en sistemas artesanales. *Revista*

Latinoamericana de Producción Animal, 30(2), 115–128.

Pérez, J., Medina, L., & Soto, V. (2021). Evaluación de la limpieza y daño en fibras animales bajo diferentes medios de lavado. *Textilia Científica*, 15(4), 201–212.

Quispe, A., Choque, D., & Mamani, R. (2019). Composición y rendimiento de lana en razas ovinos altoandinas. *Producción Animal y Desarrollo Rural*, 11(3), 88–97.

Rossi, F., & Fernandes, A. (2018). Industrial processing of raw wool: Impact on fiber quality and loss percentage. *Journal of Animal Fiber Science*, 6(1), 70–79

Villarroel, D., Cárdenas, H., & Flores, L. (2021). Evaluación de la merma en lana ovina por efecto del proceso de lavado en razas criadas en el altiplano boliviano. *Revista de Ciencias Pecuarias Andinas*, 5(1), 33–42.

Silva, F., Moreno, J., & Díaz, L. (2023). *Multivariate evaluation of wool fiber degradation under different washing conditions*. *Textile Science Journal*, 56(1)

ENTRE COLORES Y SENSORES: EL PAPEL DE LA VISIÓN ARTIFICIAL EN LA MEJORA DE LA CALIDAD TEXTIL

Between Colors and Sensors: The Role of Artificial Vision in Improving Textile Quality

Ing. Carla Karina Pérez Martínez
Docente de Ingeniería Textil-UPEA
carla.perezsdq@gmail.com

RESUMEN

La uniformidad cromática en la producción de denim representa un desafío crítico para la industria textil, debido a las propiedades del índigo, un colorante con baja solidez que genera variaciones tonales, defectos de barré y diferencias perceptibles bajo distintas condiciones de iluminación. El presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto potencial de los sistemas de visión artificial en el control de la uniformidad cromática, con énfasis en el contexto boliviano. Se desarrolló una revisión bibliográfica narrativa con enfoque comparativo, que incluyó documentos publicados entre 2005 y 2025, abarcando fundamentos técnicos de la colorimetría, tecnologías de adquisición de imágenes, algoritmos de procesamiento digital y casos de implementación internacional.

Los resultados muestran que la integración de colorimetría objetiva (espacio CIELAB y métricas ΔE) con sistemas de visión artificial permite reducir los reprocesos en un rango del 30–40 %, incrementar el indicador Right First Time (RFT%) y lograr tasas de detección de defectos superiores al 90%. En América Latina, Colombia y Perú destacan por marcos normativos sólidos y laboratorios acreditados, lo que ha fortalecido su competitividad en la exportación de denim. En contraste, Bolivia presenta un rezago tecnológico y normativo, pues las productoras TSM y SENATEX aún dependen de inspección visual y colorímetros portátiles. Se concluye que la implementación de visión artificial en estas empresas no solo es viable tecnológicamente, sino también estratégica, al garantizar insumos de calidad certificada para las PYMES de confección, fortaleciendo la cadena de valor textil boliviana y su proyección hacia mercados internacionales de alto valor agregado.

PALABRAS CLAVE

Denim; Colorimetría; Control de Calidad.

ABSTRACT

Color uniformity in denim production represents a critical challenge for the textile industry due to the properties of indigo, a dye with low fastness that causes tonal variations, barre defects, and perceptible differences under different lighting conditions. The present study aims to analyze the potential impact of artificial vision systems on controlling chromatic uniformity, with an emphasis on the Bolivian context. A narrative literature review with a comparative approach was conducted, including documents published between 2005 and 2025, covering the technical fundamentals of colorimetry, image acquisition technologies, digital processing algorithms, and international implementation cases.

The results show that integrating objective colorimetry (CIELAB space and ΔE metrics) with artificial vision systems can reduce reprocessing rates by 30–40%, increase the Right First Time (RFT%) indicator, and achieve defect detection rates above 90%. In Latin America, Colombia and Peru stand out for their solid regulatory frameworks and accredited laboratories, which have strengthened their competitiveness in denim exports. In contrast, Bolivia shows technological and regulatory delays, as producers such as TSM and SENATEX still rely on visual inspection and portable colorimeters. It is concluded that implementing artificial vision in these companies is not only technologically feasible but also strategic, as it ensures certified quality inputs for small and medium-sized garment enterprises, strengthens the Bolivian textile value chain, and enhances its projection toward high value-added international markets.

Keywords: Denim; colorimetry; textile quality control.

1. INTRODUCCIÓN

El control de calidad del color constituye un factor determinante en la competitividad de la industria textil. En particular, la producción de denim¹ presenta retos específicos asociados al uso del índigo, un colorante con baja solidez al frote y al lavado que es susceptible a variaciones cromáticas.

En América Latina, Colombia y Perú han consolidado marcos normativos robustos para garantizar la fidelidad cromática, mediante la adopción de la familia de normas ISO 105 y su

equivalencia en NTC (ICONTEC) y NTP (INACAL). Estos países, además, disponen de laboratorios equipados con espectrofotómetros y cabinas de luz normalizada, lo que ha favorecido sus exportaciones textiles hacia mercados exigentes como Estados Unidos y Europa (ICONTEC, 2018; INACAL, 2019).

Por su parte, Bolivia cuenta con empresas productoras de denim tales como TSM S.A., SENATEX que integran procesos de hilandería, tejeduría y confección de denim.

Durante las gestiones 2013 – 2022, Bolivia exportó 165 millones de dólares por la venta al exterior de prendas de vestir, alcanzando su registro máximo en el año 2014 cuando bordearon los 30 millones de dólares. Desde el 2020, las ventas externas de estos productos fueron ascendiendo hasta alcanzar los 24 millones de dólares en 2022, cifras similares a las registradas hace 10 años atrás (IBCE, 2023).

Si bien Bolivia exporta prendas de vestir, gran parte de las PYMES dependen de insumos importados debido a la baja uniformidad cromática de la tela nacional.

Una porción significativa de Pequeñas y medianas empresas de este sector son de confección por tanto una tela de calidad les permitiría confeccionar prendas de calidad e incursionar en mercados de exportación de denim de alto valor agregado, un ejemplo representativo es la empresa Nativa una empresa boliviana de diseño, pero actualmente usa tela importada justamente por la calidad que caracteriza sus productos.

El colorante índigo provoca variaciones tonales entre lotes, aparición de efectos no deseados de barré o parches, y diferencias perceptibles de tonalidad bajo distintas condiciones de iluminación o metamerismo. En consecuencia, los fabricantes de denim deben enfrentar altos índices de rechazo y reclamos internacionales, con pérdidas que en algunos mercados se estiman entre el 15 % y el 30 % de la

producción por problemas de color (Datacolor, 2022).

En este contexto, el control de calidad tradicional, de inspección visual y en algunos casos uso de espectrofotómetros y colorímetros no es efectivo ya que no es de manera continua sino más bien intermitente, que ocasiona altos niveles de reproceso en un mercado exigente en segmentos internacionales de alto valor agregado.

Un estudio en Turquía que aplicó métodos de control estadístico al proceso de lavado de denim reveló que cinco defectos entre los cuales están irregularidades químicas o en el tono representaron el 78,6 % de las fallas detectadas, destacando la importancia de fortalecer el control cromático en esta etapa crítica del proceso productivo. (Ata et al., 2020).

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito central analizar el impacto potencial de la aplicación de sistemas automatizados de visión artificial en el control de calidad de la uniformidad cromática en la producción de denim, con énfasis en la realidad tecnológica y productiva de la industria textil boliviana y su comparación con Colombia y Perú. Para alcanzar este objetivo, se abordan los fundamentos técnicos de la colorimetría aplicada a textiles — particularmente el espacio CIELAB, las métricas ΔE y las tolerancias cromáticas—, así como las tecnologías de adquisición de imágenes (cámaras calibradas, espectrofotómetros y cabinas de luz) y los algoritmos de procesamiento digital (umbralización,

cálculo de ΔE y redes neuronales convolucionales) empleados en la detección automática de variaciones tonales. Además, se sistematizan casos de éxito internacionales sobre la integración de sistemas de visión artificial en procesos textiles, con el fin de evaluar su aplicabilidad en el contexto boliviano y contrastar su nivel actual de control de calidad del color frente a los marcos normativos, tecnológicos y de certificación que posicionan a Colombia y Perú como referentes regionales en la exportación de denim.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño del Estudio

El presente estudio se desarrolló bajo un diseño de revisión bibliográfica narrativa con enfoque comparativo, orientado a identificar avances en el control de calidad cromática mediante visión artificial en la industria textil, y a valorar su aplicabilidad en el contexto boliviano.

2.2 Fuentes de Información y Criterios de Selección

Se consultaron bases de datos académicas internacionales (Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore) y repositorios especializados en ingeniería textil y control de calidad. La búsqueda se complementó con documentos técnicos, manuales de fabricantes de equipos de visión artificial y normativas nacionales e internacionales (ISO 105, NTC de ICONTEC y NTP de INACAL).

El rango temporal considerado fue 2005–2025, lo cual permitió integrar tanto los fundamentos técnicos de la colorimetría como las aplicaciones recientes de visión artificial en procesos industriales. Las palabras clave empleadas fueron: colorimetría, CIELAB, uniformidad cromática, visión artificial textil, denim quality control, ΔE , machine vision, Bolivia, Colombia, Perú.

Para este estudio se incluyeron artículos revisados por pares, tesis de posgrado, reportes técnicos y normativos que abordaran la aplicación de la colorimetría y visión artificial en textiles, en particular en denim o procesos de teñido. Se excluyó literatura comercial sin base metodológica.

Esta selección permitió integrar tanto fundamentos técnicos como aplicaciones prácticas y comparaciones regionales, necesarias para valorar la pertinencia de implementar sistemas de visión artificial en el contexto boliviano.

2.3 Categorías de análisis

La información se organizó en tres ejes que se desarrollan a continuación.

2.3.1 Fundamentos de la Colorimetría

Colorimetría

La colorimetría es la ciencia del color, según (Datacolor, 2022) “la medición de un color no es otra cosa que la visión del color estandarizada con los factores luz y observador normalizados. La base

científica para la medición del color es la existencia de 3 grupos de señales diferentes (los estímulos de color de referencia azul, verde y rojo) que el ojo del observador transmitirá”.

En el caso de la producción de denim en Bolivia, la colorimetría constituye la base para establecer tolerancias objetivas en el uso del índigo, un colorante que presenta inestabilidad tonal. Sin un control colorimétrico adecuado, las telas nacionales difícilmente logran cumplir con los estándares internacionales de uniformidad exigidos en mercados de exportación.

Colorimetría en la Industria Textil

En el contexto industrial, la colorimetría se aplica para medir con precisión el color de los materiales, comparar diferencias entre muestras y estándares, y establecer tolerancias de aceptación en procesos productivos.

La herramienta principal en esta disciplina son los espacios de color, siendo el más ampliamente utilizado en la industria textil el espacio CIELAB. A partir de las coordenadas de este espacio, se calcula la diferencia de color (ΔE) entre una muestra y un patrón de referencia, valor que se interpreta según estándares de calidad para definir si un lote es aceptable o requiere corrección.

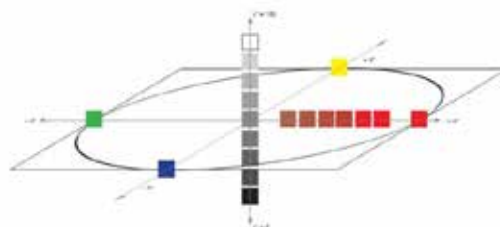
$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Se basa en tres pares antagónicos de la visión de los colores: blanco-negro

indica Luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*).

Figura 1 :

Espacio CIELab



Nota: Datacolor. (2022).

Uniformidad Cromática

En el contexto del teñido industrial, lograr la uniformidad cromática implica controlar una serie de variables críticas: la calidad del sustrato textil, la estabilidad de los parámetros de operación (como temperatura, tiempo, agitación y pH), y la precisión en la formulación y dosificación de colorantes. Las fallas en cualquiera de estos factores pueden provocar defectos como bandas de tono, diferencias entre los bordes y el centro de la tela, o cambios de color a lo largo del rollo.(Saville, 1999).

Estos problemas se observan con frecuencia en la producción de denim local, donde variaciones en el proceso de teñido con índigo generan lotes heterogéneos que reducen la competitividad frente a telas importadas. Por ello, mejorar la uniformidad cromática no es solo un desafío técnico, sino una condición indispensable para que TSM y SENATEX puedan proveer telas consistentes a las PYMES de confección bolivianas.

2.3.2 Tecnologías de Visión Artificial

Sistemas Automatizados de Visión Artificial

Los sistemas de visión artificial automatizados constituyen tecnologías diseñadas para que las máquinas puedan capturar, procesar y analizar imágenes digitales con el propósito de extraer información significativa y ejecutar decisiones de manera autónoma dentro de un entorno productivo. Estas soluciones integran componentes de hardware —cámaras, sensores de imagen, fuentes de iluminación y dispositivos de adquisición— con software especializado y algoritmos de análisis, lo que les permite reproducir e incluso superar ciertas capacidades del sistema visual humano, destacando por su precisión, rapidez y uniformidad en los resultados(Szeliski, 2022).

En el sector industrial, la visión artificial se ha consolidado como un recurso esencial para el control de calidad, la inspección automatizada y el seguimiento de procesos en tiempo real. En la industria textil, sus aplicaciones abarcan desde la detección de defectos estructurales en tejidos y la verificación de patrones, hasta la medición de dimensiones y, en etapas más recientes, la evaluación de la uniformidad cromática en los procesos de teñido. Estos sistemas permiten examinar imágenes de telas en movimiento, compararlas con estándares previamente definidos y emitir alertas o activar acciones

correctivas automáticas cuando se identifican desviaciones respecto a la calidad esperada (Alvarado Gonzales, 2019).

La implementación de sistemas de visión artificial en plantas como TSM y SENATEX permitiría detectar de forma temprana las variaciones de tonalidad del índigo, reduciendo reprocesos y rechazos. Esto no solo optimizaría la calidad de la tela denim nacional, sino que también fortalecería la capacidad de las PYMES de confección para competir con prendas elaboradas a partir de telas importadas.

Figura 2:
Arquitectura Típica de un Sistema de Visión Artificial



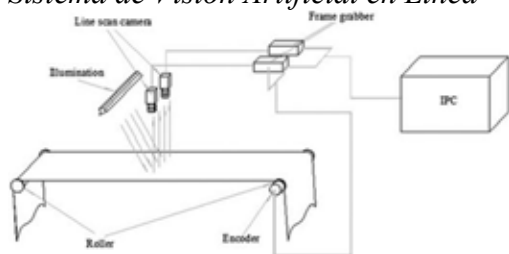
Nota. Elaborado con base en (Chakraborty et al., 2021).

La incorporación de sistemas automatizados de visión artificial en procesos de inspección textil ha revolucionado la manera en que se evalúa la uniformidad cromática, permitiendo reemplazar el control visual subjetivo por métodos cuantitativos, precisos y en tiempo real. Estos sistemas combinan hardware especializado (cámaras industriales, sistemas de iluminación, sensores) con software avanzado (procesamiento

digital de imágenes, aprendizaje automático), para identificar incluso variaciones cromáticas imperceptibles al ojo humano (Chakraborty et al., 2021; Gonzales & Woods, 2018).

A continuación se describe los elementos de un sistema de visión artificial extraído de (Hu et al., 2016), la siguiente figura muestra un sistema de visión artificial en línea utilizado para la inspección de telas en movimiento común en procesos de teñido. Se observa que la tecnología avanza de manera continua sobre rodillos, se observa el encoder conectado al rodillo que mide con precisión la velocidad lineal de la tela, su función es sincronizar la adquisición de imágenes con el movimiento de la tela para evitar distorsiones o superposiciones.

Figura 3:
Sistema de Visión Artificial en Línea



Nota. Elaborado con base en Rasheed, A. et al (2020).

La iluminación proporciona una fuente de luz constante y controlada sobre la tela, importante para evitar sombras o

reflejos que puedan afectar la calidad de la imagen capturada.

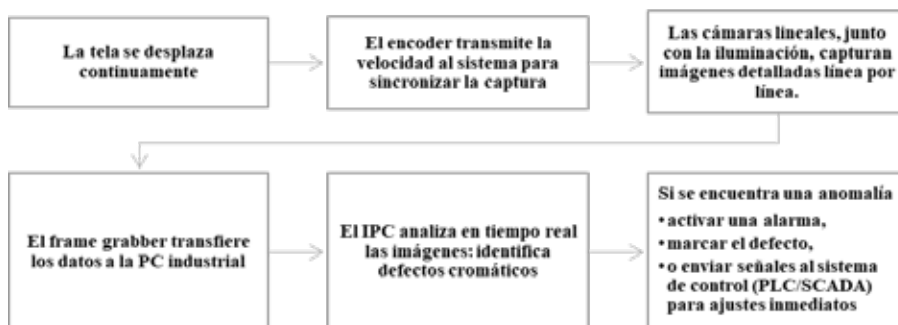
Las cámaras lineales son otro componente de este sistema, estas cámaras capturan líneas individuales de píxeles en alta resolución, que luego se ensamblan para formar una imagen completa conforme avanza la tela.

Otro componente de este sistema es el *Frame grabber* que es una tarjeta electrónica que recibe los datos de imagen de las cámaras y los transfiere al computador de procesamiento (*IPC*). Sirve como puente entre el hardware de captura y el software de análisis.

IPC o Industrial *PC*, computadora industrial que ejecuta los algoritmos de procesamiento de imagen, evalúa la uniformidad cromática detecta defectos, calcula diferencias cromáticas acorde al sistema CIE Lab y toma decisiones automáticas según los parámetros configurados.

Figura 4:

Descripción General del funcionamiento del sistema.



En la figura 4 se muestra el funcionamiento del sistema.

En síntesis, la colorimetría aporta el marco científico para cuantificar diferencias cromáticas mediante coordenadas normalizadas y métricas como el ΔE , mientras que los sistemas de visión artificial permiten trasladar ese conocimiento a un control automatizado, continuo y objetivo de los procesos textiles.

La revisión de estos fundamentos demuestra que la integración de hardware especializado y algoritmos avanzados constituye una herramienta clave para enfrentar los problemas recurrentes de uniformidad cromática en la producción de denim. Este marco conceptual respalda la pertinencia de analizar la aplicabilidad de estas tecnologías en el contexto boliviano, donde las exigencias de competitividad y calidad en mercados internacionales requieren soluciones innovadoras y sostenibles.

A partir de este marco teórico, se establece que la combinación de colorimetría y visión artificial ofrece un soporte sólido para garantizar la uniformidad cromática

en la producción textil, particularmente en la industria del denim donde las variaciones tonales del índigo representan un reto constante. Sin embargo, la literatura evidencia que la implementación de estas tecnologías depende no solo de la disponibilidad técnica, sino también de factores organizacionales, económicos y normativos. En este sentido, resulta necesario realizar un análisis bibliográfico comparativo que permita identificar los avances alcanzados en países referentes de la región y valorar su aplicabilidad en el contexto boliviano. Sobre esta base, la siguiente sección describe la metodología empleada para desarrollar la revisión documental y el enfoque socio-técnico adoptado en este estudio.

2.3.3 Experiencias de implementación en la Industria Textil

Se realizó una síntesis de la información obtenida en una matriz que se muestra a continuación donde se muestran aplicaciones documentadas de visión artificial en la industria textil en diversos países.

Tabla 1:

Aplicaciones documentadas de visión artificial en la industria textil.

Área de aplicación	Objetivo principal	Tecnologías empleadas	Resultados reportados
Inspección de defectos de tejido	Detectar roturas, nudos o irregularidades estructurales	Cámaras CCD de alta resolución, algoritmos de segmentación, iluminación difusa	Precisión >95 % en detección en tiempo real
Uniformidad cromática	Monitorear variaciones de color en procesos de teñido y estampado	Cámaras RGB/lineales, conversión CIELAB, cálculo ΔE_{00} , iluminación homogénea	Reducción de reprocesos hasta 40 %
Reconocimiento de patrones	Validar repetición de motivos decorativos y simetrías	Análisis de textura, transformada rápida de Fourier, CNN entrenadas	Precisión 90–98 % en identificación de patrones
Medición dimensional y corte	Verificar tolerancias geométricas en piezas textiles cortadas	Cámaras calibradas, algoritmos de contorno y geometría, software de comparación con CAD	Precisión ± 0.1 mm en medición de piezas
Clasificación de fibras y tejidos	Diferenciar algodón, poliéster, lana o mezclas recicladas	Sensores multispectrales, algoritmos de clasificación supervisada (SVM, árboles de decisión)	Fiabilidad >90 % en clasificación de materiales
Integración con PLC/SCADA	Respuesta automática ante defectos críticos	Módulos de comunicación industrial (Ethernet/IP, Modbus, OPC-UA)	Mayor eficiencia global (OEE) y trazabilidad digital

Nota. Adaptado de (Bcnvision, 2024; Chakraborty et al., 2021; Hu et al., 2016; Xu et al., 2024).

2.4 Procedimiento de revisión y análisis comparativo

Análisis comparativo: se identificaron similitudes y diferencias en el grado de avance normativo y tecnológico entre Colombia, Perú y Bolivia.

Lectura socio-técnica: se interpretaron las descripciones de prácticas, resistencias y beneficios reportados en la literatura como insumos para reflexionar sobre la factibilidad de aplicación en Bolivia.

Limitaciones: El estudio se basa en fuentes secundarias, por lo que no incluye trabajo de campo directo en plantas textiles bolivianas. No obstante,

la riqueza documental y la comparación regional permiten ofrecer un diagnóstico fundamentado y proponer líneas de acción futura, incluyendo estudios piloto y etnografías de planta.

La organización de la información en estos ejes temáticos permitió identificar patrones comunes en la literatura y comparar de forma sistemática los avances internacionales con la realidad boliviana.

3. RESULTADOS

La revisión bibliográfica confirma que la colorimetría aplicada mediante el espacio CIELAB y las métricas ΔE^*_{ab} , constituye la base científica para la

evaluación objetiva de la uniformidad cromática en textiles, con valores de $\Delta E \leq 1$ considerados imperceptibles para el ojo humano (Internationale Beleuchtungskommission, 2004) . Estos fundamentos han permitido el desarrollo de sistemas automatizados de visión artificial que integran cámaras industriales, iluminación difusa calibrada y algoritmos de procesamiento de imagen en tiempo real, capaces de identificar variaciones cromáticas no detectables por inspección visual tradicional.

Los estudios internacionales reportan impactos positivos de estas tecnologías: reducción de reprocesos entre un 30 % y 40 %, incremento del indicador Right First Time (RFT%) y mejora en la confiabilidad de la calidad percibida (Chakraborty et al., 2021; Hu et al., 2016). Casos documentados en Italia, China y Guatemala evidencian que la visión artificial se ha integrado con éxito a líneas de teñido continuo, hilatura y estampado, mostrando precisión en la detección de defectos superiores al 90 %.

En América Latina, Colombia y Perú se destacan por contar con marcos normativos robustos (NTC e INACAL) y laboratorios equipados, lo que ha favorecido sus exportaciones de denim a mercados internacionales. En contraste, en Bolivia la implementación de sistemas automatizados de visión artificial aún es incipiente, predominando la inspección visual y la medición puntual con colorímetros portátiles. Esta brecha tecnológica limita la competitividad exportadora, ya que muchas pequeñas y medianas empresas dependen de telas importadas para confeccionar prendas de calidad.

En la Tabla 1 se sintetizan las principales aplicaciones de visión artificial en la industria textil reportadas en la literatura.

Por su parte, la Tabla 2 resume las ventajas y desventajas de su implementación, lo que permite dimensionar tanto los beneficios como las limitaciones para el contexto boliviano.

Tabla 2 :
Ventajas y desventajas de implementar visión artificial en textiles.

Aspecto	Ventaja / Desventaja	Descripción breve
Precisión	Ventaja	Detecta variaciones cromáticas imperceptibles al ojo humano
Subjetividad	Ventaja	Reduce la dependencia del juicio humano
Monitoreo en tiempo real	Ventaja	Evalúa tejidos sin detener el proceso productivo
Productividad	Ventaja	Aumenta eficiencia y reduce reprocesos
Costo inicial de inversión	Desventaja	Requiere cámaras, iluminación, software e integración de alto costo
Capacitación especializada	Desventaja	Necesita personal formado en colorimetría, óptica y procesamiento de imágenes
Sensibilidad a la iluminación	Desventaja	La variabilidad en la luz afecta la calidad de captura
Complejidad en patrones	Desventaja	Los algoritmos requieren entrenamiento para diseños complejos

Mantenimiento tecnológico	Desventaja	Dependencia de repuestos, actualización de software y soporte especializado
---------------------------	------------	---

Nota. Elaborado a partir de (Carsten et al., 2018; Chakraborty et al., 2021; Martinez, 2006; Szeliski, 2022).

4. DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión bibliográfica demuestran que la visión artificial constituye una herramienta clave para superar las limitaciones del control de calidad tradicional en la industria textil. La literatura coincide en que la combinación de colorimetría objetiva (CIELAB y métricas ΔE) con sistemas automatizados de captura y análisis de imágenes permite reducir significativamente la subjetividad del “ojo entrenado” y elevar los estándares de uniformidad cromática en procesos de teñido y acabado.

En países como China, Italia y Guatemala, la implementación de estas tecnologías ha mostrado reducciones de reprocesos de hasta el 40 % y mejoras en el indicador Right First Time (RFT%), además de una detección de defectos superior al 90 %. Estos hallazgos confirman que la visión artificial no solo es técnicamente viable, sino también económicamente beneficiosa en contextos donde la calidad cromática determina la competitividad internacional. Sin embargo, la literatura también destaca limitaciones: altos costos iniciales, necesidad de condiciones de iluminación controladas y formación especializada en colorimetría, óptica y procesamiento de imágenes.

En América Latina, Colombia y Perú han logrado avanzar más que Bolivia gracias a marcos normativos robustos

(ISO 105 y equivalentes nacionales), la existencia de laboratorios acreditados y la incorporación de visión artificial en la industria del denim. Este entorno ha fortalecido su capacidad exportadora hacia mercados exigentes como Estados Unidos y Europa.

En contraste, en Bolivia las empresas TSM y SENATEX concentran la producción de denim, mientras que la mayoría de pequeñas y medianas empresas se dedican a la confección. En este escenario, la aplicación de sistemas de visión artificial en las plantas productoras de tela resulta estratégica: permitiría garantizar insumos con uniformidad cromática certificada, reduciendo rechazos y reclamos internacionales. Esto, a su vez, tendría un efecto multiplicador en el ecosistema textil, ya que las PYMES de confección podrían acceder a telas nacionales de calidad competitiva y posicionarse en mercados de alto valor agregado sin depender de importaciones.

En relación con los objetivos planteados, los hallazgos confirman que la discusión central no se limita a la viabilidad técnica de la visión artificial, sino que plantea la necesidad de entenderla como una estrategia sectorial. La modernización tecnológica de las productoras de denim debe articularse con políticas de apoyo y programas de cooperación universidad-industria, de manera que los beneficios se trasladen a toda la

cadena de valor textil. Si este proceso no se impulsa, la brecha tecnológica y competitiva frente a países vecinos como Colombia y Perú seguirá ampliándose, limitando la capacidad de Bolivia para insertarse en mercados internacionales de mayor valor agregado.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que la colorimetría aplicada a textiles, sustentada en el espacio CIELAB y en el cálculo de diferencias ΔE (ΔE^*ab), constituye el marco técnico indispensable para evaluar de manera objetiva la uniformidad cromática. Este fundamento científico es el punto de partida para desarrollar e implementar sistemas automatizados de control de color en la industria textil.

El análisis tecnológico evidencia que los sistemas de visión artificial combinan cámaras industriales, iluminación difusa controlada, hardware de adquisición (*frame grabber*, *IPC*) y algoritmos de procesamiento digital —incluyendo técnicas de aprendizaje profundo como redes neuronales convolucionales— capaces de detectar variaciones cromáticas imperceptibles al ojo humano y ejecutar correcciones en tiempo real.

Los casos internacionales revisados en Italia, China y Guatemala demuestran que la integración de visión artificial en líneas de teñido, estampado e hilatura ha generado impactos significativos: reducción de reprocesos en un rango del 30–40 %, incrementos en el

indicador Right First Time (RFT%) y mejoras en la confiabilidad de la calidad percibida. Estos resultados confirman la eficacia y madurez tecnológica de la visión artificial para su aplicación en contextos industriales.

Finalmente, la comparación regional muestra que Colombia y Perú han consolidado un ecosistema favorable mediante normas ISO 105 (y equivalentes nacionales), inversión en laboratorios acreditados y mayor vinculación entre industria y tecnología. En contraste, Bolivia presenta un rezago tecnológico, ya que las productoras de denim (TSM y SENATEX) todavía dependen principalmente de inspección visual y colorímetros portátiles. La implementación de visión artificial en estas empresas sería estratégica para garantizar telas con uniformidad cromática certificada, lo que a su vez beneficiaría a las PYMES de confección al disponer de insumos de calidad para competir en mercados de alto valor agregado.

Estas conclusiones responden directamente al objetivo planteado, confirmando la pertinencia de la visión artificial como estrategia tecnológica y sectorial para el sector textil boliviano.

6. CONFLICTOS DE INTERESES

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Gonzales, G. F. (2019). El influencer digital y su relación con la intención de compra de moda femenina de tallas grandes. caso: "Entre Curvas". *Universidad San Ignacio de Loyola Repositorio Institucional*. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/5d326ed4-ce1a-4d04-9d17-ba69b79ec294>
- Ata, S., Yildiz, M. S., & Durak, İ. (2020). Statistical process control methods for determining defects of denim washing process: A textile case from turkey. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 30(3), 208-219. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.695487>
- Bcnvision. (2024, febrero 15). *Avances en la Industria Textil: Visión Artificial Revoluciona Calidad y Eficiencia*. <https://bcnvision.es/blog-vision-artificial/el-rol-de-la-vision-artificial-en-la-industria-textil/>
- Carsten, S., Markus, U., & Christian Wiedemann. (2018). *Machine Vision Algorithms and Applications* (2.^a ed.). Wiley-VCH.
- Chakraborty, S., Moore, M., & Parrillo-Chapman, L. (2021). *Automatic Defect Detection of Print Fabric Using Convolutional Neural Network*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.00703>
- Datacolor. (2022). *Color y medición del Color una introducción al mundo de la colorimetría*. <https://www.datacolor.com/wp-content/uploads/2022/06/color-management-ebook-3-es.pdf>
- Gonzales, R., & Woods, R. (2018). *Digital Image Processing* (4.^a ed.). Pearson.
- Hu, J., He ,Zhiyong, Weng ,Guirong, Sun ,Lining, Zuo ,Baoqi, & and Wang, C. (2016). Detection of chemical fabric defects on the basis of morphological processing. *The Journal of The Textile Institute*, 107(2), 233-241. <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1022094>
- IBCE. (2023). *Boletín IBCE Cifras: Bolivia: Exportaciones en 2023*. <https://ibce.org.bo/publicaciones-ibcecifras-pdf.php?id=1201>
- ICONTEC. (2018). *Ensayos de solidez del color. Parte A01: Principios generales de ensayo*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- INACAL. (2019). *Textiles: Ensayos de solidez del color. Parte A01: Principios generales de ensayo*. Instituto Nacional de Calidad del Perú.
- Internationale Beleuchtungskommission (Ed.). (2004). *Colorimetry* (3rd ed). Comm. Internat. de l'éclairage.
- Martinez, B. E. M. (2006). *Visión Artificial Aplicada A La Industria*

Textil De Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Rasheed, A., Zafar, B., Rasheed, A., Ali, N., Sajid, M., Dar, S. H., Habib, U., Shehryar, T., & Mahmood, M. T. (2020). *Fabric defect detection using computer vision techniques: A comprehensive review. Mathematical Problems in Engineering*, 2020, <https://scispace.com/pdf/fabric-defect-detection-using-computer-vision-techniques-a-3n5kp4a2e8.pdf>

Saville, B. P. (1999). *Physical Testing of Textiles*. Elsevier.

Szeliski, R. (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Nature Link.

Xu, C., Xu ,Linchen, Luo ,Kai, Zhang ,Jitao, Sitahong ,Adilanmu, Yang ,Ming, & and Zhang, C. (2024). The essence and applications of machine vision inspection for textile industry: A review. *The Journal of The Textile Institute*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2426257>

SISTEMA DE CATEGORIZACIÓN MULTIDIMENSIONAL DE LA ARTESANÍA TEXTIL ORIGINARIA EN BOLIVIA

Multidimensional Categorization System for Textile Crafts Originating in Bolivia

Sandra Karina Aduviri - Chambi
Universidad Pública de El Alto
sandra.aduvirip14@gmail.com

Resumen

El presente artículo propone un sistema de categorización multidimensional para la artesanía textil boliviana, ante la ausencia de instrumentos técnicos y culturales unificados en el país y de aplicación al sector artesanal. Fue esencial la diferenciación entre producción originaria textil, producción artesanal, artesanía y manualidad contemporánea, proporcionando desde su inicio de este trabajo, una base conceptual para la estandarización y certificación de la autenticidad. La metodología combina el análisis normativo (Ley N.º 306 de Promoción y Desarrollo Artesanal y el Programa Nacional de Artesanía) con la literatura especializada en textiles andinos, análisis comparativo con sistemas de categorización internacional (México, Perú y Ecuador) y una investigación de campo. Esta última desarrolló una encuesta estructurada y la observación directa aplicada a una muestra de 94 artesanos textiles de 7 departamentos del país de 228 participantes del rubro en la 8.ª Feria Plurinacional de Artesanía. Los resultados cuantitativos muestran que el 29,2% de los participantes en el rubro emplea técnicas artesanales ancestrales (telar de cintura, tejido cuatro estacas, telar de pedal, bordado manual, hilado manual de fibras como alpaca, oveja y llama, teñido natural en hilo de fibra animal) con identidad cultural, mientras que el 70,8% utiliza técnicas contemporáneas (tejido a ganchillo, tejido de punto, máquina de tejer) y fibras sintéticas. Por tanto, el sistema de categorización propuesto define e integra cuatro criterios técnicos y culturales para una artesanía textil originaria, siendo estas la materia prima originaria, técnicas de producción, función social y cultural y simbolismo en el diseño. Se concluye que esta propuesta con los criterios determinados definirá que es o no artesanía, que se debe preservar culturalmente definiendo estrategias de revalorización y preservación de técnicas textiles y sus características con sustento técnico, siendo la base para un protocolo de autenticidad, trazabilidad, calidad y valorización de la técnica artesanal que agrega valor a los productos de este tipo Hecho a mano y con valor cultural como parte de la Industria Creativa y Cultural Textil.

Palabras Clave.

Taxonomía, Autenticidad, Trazabilidad, Fibras de Camélidos

Abstract.

This article proposes a multidimensional categorization system for Bolivian textile crafts, given the lack of unified technical and cultural instruments applicable to the artisanal sector in the country. Differentiating between original textile production, artisanal production, handicrafts, and contemporary craftsmanship was essential, providing a conceptual basis for standardization and certification of authenticity from the outset. The methodology combines regulatory analysis (Law No. 306 on the Promotion and Development of Crafts and the National Handicraft Program) with specialized literature on Andean textiles and field research. The latter involved a structured survey and direct observation of a sample of 94 textile artisans from seven departments across the country, out of 228 participants in the 8th Plurinational Handicraft Fair. The quantitative results show that 29.2% of participants in the sector employ ancestral artisanal techniques (backstrap loom, four-stack weaving, pedal loom, hand embroidery, hand-spinning of fibers such as alpaca, sheep, and llama, natural dyeing of animal fiber yarn) with cultural identity, while 70.8% use contemporary techniques (crochet, knitting, machine weaving) and synthetic fibers. Therefore, the proposed categorization system defines and integrates four technical and cultural criteria for an indigenous textile craft: the original raw material, production techniques, social and cultural function, and design symbolism. It is concluded that this proposal with the determined criteria will define what is or is not a craft, which must be culturally preserved by defining strategies for the revaluation and preservation of textile techniques and their characteristics with technical support, being the basis for a protocol of authenticity, traceability, quality and valorization of the craft technique that adds value to products of this type Handmade and with cultural value as part of the Creative and Cultural Textile Industry.

Keywords.

Taxonomy, Authenticity, Traceability, Camelid Fibers

1. INTRODUCCIÓN.

La Artesanía Textil en Bolivia es el testimonio vivo de una ingeniería milenaria desarrollada por las culturas andinas y amazónicas. Desde una perspectiva productiva, este sector representa una cadena de valor que va desde la gestión de recursos naturales (fibras de camélidos y otras fibras vegetales) hasta la optimización de procesos de producción de bajo impacto ambiental. No se trata

meramente de un producto artístico, sino de un sistema tecnológico completo que abarca desde la domesticación y manejo de fibras de alto rendimiento (alpaca, llama, vicuña) hasta la compleja arquitectura de los telares y la sofisticación de la química del color a partir de tintes naturales (Arnold, 2013). La literatura resalta cómo las técnicas ancestrales de tejido y teñido natural cumplen con principios de manufactura esbelta,

minimizando el impacto ambiental y maximizando el valor (Moll, 2015).

Esta disciplina ancestral se la denomina "Ingeniería de la Tradición", representando una fuente de conocimiento sobre sostenibilidad, diseño de procesos de producción y control de procesos textiles. El tejido originario boliviano ofrece una ventaja competitiva única por el valor cultural y diferenciador al igual que sus pares como México, Perú y Ecuador. El hilado manual en rueca o huso permite un control de la torsión y el título de la fibra que a menudo supera los estándares de uniformidad y suavidad de los procesos semi-industriales (Magne & Nina, 2017). El telar de cintura, opera sin energía externa y con un impacto ambiental nulo, siendo un paradigma de diseño de maquinaria eficiente y ergonómica. Por lo tanto, el estudio y la preservación de esta actividad es de interés por la importancia de fomentar modelos de producción sostenibles y de alto valor añadido. La gestión productiva del conocimiento ancestral es relevante para la innovación, siendo la base de la diferenciación y el valor en la industria creativa (Aramayo, 2020).

El sector artesanal textil boliviano enfrenta una limitación estructural crítica con la ausencia de una taxonomía oficial y rigurosa que diferencie la producción genuinamente originaria de las manualidades o de la artesanía contemporánea. Esta ambigüedad ha generado un problema de dilución de la autenticidad en el mercado. Esta falta de estandarización se traduce en ineficiencia en la

trazabilidad, dificultad para la certificación de calidad y una deficiente asignación de recursos por parte de la política pública. La Ley N.º 306 de Promoción y Desarrollo Artesanal (2012) y el Programa Nacional PRONART (2022) reconocen la importancia del sector, pero sus instrumentos de clasificación se centran predominantemente en criterios económicos o de rubro (Sánchez, 2019), sin incluir la dimensión técnica del proceso (telar vs. máquina) ni la dimensión simbólica (iconografía cultural vs. diseño genérico). Expertos en economía cultural señalan que la falta de protocolos de autenticidad impacta negativamente la fijación de precios justos y la competitividad de las microempresas artesanales (Pinto, 2018).

Por tanto, el objetivo central de esta investigación es proponer un sistema de categorización multidimensional de la artesanía textil en Bolivia validado, que incorpore los criterios de autenticidad cultural, técnica y material. Este sistema será la base para la estandarización de procesos y la certificación de origen artesanal, elementos fundamentales para la gestión de la calidad y la competitividad en la Industria Creativa y Cultural Textil.

2. METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque mixto con un diseño descriptivo-propositivo de corte transversal y no experimental. El rigor metodológico se basó en la triangulación de datos para

construir un sistema de clasificación aplicable y robusto.

Se empleó un muestreo no probabilístico, seleccionando a los participantes del rubro textil de la 8va Feria Plurinacional de Artesanía realizada en la ciudad de Sucre. El rubro textil representó el sector más numeroso con 94 participantes de unidades productivas artesanas. De ellos, la muestra final utilizada para el análisis estadístico y la cuantificación fue de 89 registros válidos. Esta reducción se debió a la aplicación del filtro de control de calidad considerando los siguientes elementos:

- Encuestas que presentaron información incompleta o inconsistente en variables clave, como la técnica de producción o la materia prima principal, dificultando su clasificación rigurosa en las categorías tipológicas.
- Eliminación de los registros que no permitían la validación cruzada entre los datos declarados y la observación directa, un paso crítico para el rigor metodológico del estudio.

Por lo tanto, la muestra analítica de 89 artesanos permitió la cuantificación precisa de la distribución tipológica de la producción y sirvió como base para la matriz de categorización. A partir de ello, se combinaron la encuesta estructurada y la observación directa para asegurar la fiabilidad de los datos y el contraste entre lo declarado y lo producido.

La encuesta estructurada permitió la cuantificación de variables discretas para la clasificación tipológica como son: tipo de producto (gestión de la producción), materia prima principal (imprescindible para la trazabilidad de insumos), técnica de producción (crítica para la estandarización del proceso) y uso final relevante para el enfoque de mercado (utilitario, ceremonial, decorativo). Por su parte, la observación directa in situ en la actividad ferial contribuyó en el control de calidad de las piezas artesanales verificación de la autenticidad técnica, coadyuvando en el contraste de la técnica declarada por el artesano (ej. "ancestral") con la técnica y los insumos observados en el puesto (ej. uso de fibras acrílicas o tejido a crochet. Cabe recalcar que esta validación cruzada actuó como un filtro de autenticidad indispensable al evaluar la conformidad del proceso con el criterio "originario".

El análisis se estructuró en cuatro fases secuenciales:

- Revisión de la literatura y el marco normativo (Ley N.º 306 y PRONART) para establecer los tres ejes de autenticidad que definen el estándar de calidad y origen: materia prima local, técnica ancestral y simbolismo cultural.
- Análisis estadístico descriptivo para clasificar la muestra en dos categorías: artesanía textil originaria (cumpliendo con los tres ejes de autenticidad) y artesanía textil contemporánea/manualidad

(No cumple o utiliza predominantemente técnicas/materiales de introducción posterior).

- Análisis comparativo de sistemas de categorización artesanal de México, Perú, Ecuador y Bolivia.
- Elaboración de la matriz de categorización final (Tabla 4) mediante la integración de los criterios internacionales (CIDAP-Ecuador, FONART-México, MINCETUR-Perú) con los hallazgos del estudio. Esta matriz se erige como el estándar técnico para la certificación de origen y calidad, facilitando la gestión de la diferenciación de producto en la Industria Creativa y Cultural Textil.

3. RESULTADOS

El análisis de la participación en la 8va Feria Plurinacional reveló una concentración de la actividad en el rubro textil, pero con una heterogeneidad técnica que se describe.

3.1. Brecha Cuantitativa de la Producción Textil

De las 220 unidades productivas expositoras, el sector textil representó el rubro más numeroso con 94 participantes. El análisis de la muestra de 89 artesanos textiles permitió cuantificar la distribución tipológica de la producción, evidenciando una inclinación crítica hacia las técnicas no ancestrales (Tabla 4).

Tabla 1

Clasificación Tipológica de los Artesanos Textiles en la Feria Plurinacional (N=89)

TIPOLOGÍA DE PRODUCCIÓN	DEFINICIÓN TÉCNICA	Nº DE ARTESANOS	PORCENTAJE %
Artesanía Textil Originaria	Telar de cintura, tejido cuatro estacas, telar de pedal, bordado manual, hilado manual de fibras como alpaca, oveja y llama, teñido natural en hilo de fibra animal.	26	29,2
Artesanía Textil Contemporánea/Manualidad	Uso de Crochet, Máquina Simple, Confección o Fibra Sintética/Acrílica.	63	70,8
Total		89	100

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados de encuesta (definición técnica, número de artesanos que participaron en la encuesta).

Como se observa, el 70,8% de los participantes en la categoría Textil se enfoca en producción con técnicas de introducción posterior y/o materiales sintéticos. Esta disparidad confirma la necesidad de una clasificación técnica para proteger al 29,2% que mantiene viva la Ingeniería de la Tradición.

3.2 Análisis de las Técnicas de Producción

Tabla 2

Técnica Ancestral y sus relaciones con factores de control en Ingeniería Textil y cultural.

Técnica Ancestral	Frecuencia	Factores de control en Ingeniería Textil	Factores Culturales
Tejido en Telar (Incluye Telar de Cintura/Pedal)	15	Control de tensión, densidad y ligamento. Diseño de maquinaria <i>in-situ</i> de bajo impacto ambiental	Preservación de la iconografía andina y el rol de la tejedora como depositaria de la memoria
Tejido/Hilado a Mano	9	Control de la torsión (S o Z) y el título del hilo para asegurar la resistencia y finura de la fibra	Transmisión intergeneracional de la cadena operativa ritual del textil
Teñido Natural	2	Bioquímica del color. Uso de cochinilla, raíces y cortezas para la fijación de colorantes de alta permanencia y nula toxicidad	Conocimiento ancestral del entorno natural y simbolismo cromático regional

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados de la muestra de 89 artesanos textiles agrupadas en factores de control y culturales.

Como se observa en la tabla 2 se muestra la técnica ancestral en relación a los artesanos encuestados y su vínculo con factores de control en ingeniería (control de tensión, densidad en el telar, y el control de torsión en el hilado) y factores culturales (como la preservación de

El análisis técnico de la información obtenida por encuesta y observación permite detallar la contribución de cada técnica, destacando el valor de la producción originaria:

3.2.1. Artesanía Textil Originaria

Los 26 artesanos en esta categoría son maestros de procesos textiles de alto rigor ingenieril.

iconografía y la transmisión intergeneracional del conocimiento).

3.2.2. Artesanía Textil Contemporánea/Manualidad

En contraste, la producción mayoritaria utiliza técnicas que, si bien

son válidas económicamente, representan un menor valor cultural y técnico en términos de patrimonio. La Tabla 3, a continuación, muestra la

distribución de la frecuencia de estas técnicas contemporáneas y manualidades conforme a lo declarado por los artesanos encuestados:

Tabla 3

Distribución de Frecuencias de Técnicas Contemporáneas en la Artesanía Textil

Técnica Contemporánea	N° Artesanos encuestados
Tejido a ganchillo o crochet	27
Confección (Uso de máquina de coser)	14
Tejido a Máquina Simple	8
Tejido a Palillo (Dos Agujas)	4

Fuente: La frecuencia corresponde a los datos recopilados de la encuesta estructurada (N=89).

El Tejido a Crochet (27 casos) demuestra una alta adaptación a la moda decorativa (llaveros, ropa para muñecas, amigurumis, accesorios), que generalmente emplea hilo acrílico (observación directa), priorizando el bajo costo y la rápida replicabilidad sobre la autenticidad de la fibra y el proceso.

3.3 Sistemas de categorización artesanal

La necesidad de desarrollar un sistema de categorización en Bolivia se valida mediante el análisis comparativo de los modelos aplicados por naciones pares en América Latina que también poseen una rica tradición textil. Este contraste es crucial para que la presente propuesta trascienda la certificación de la fibra y se enfoque en la tecnología del proceso productivo originario.

Tabla 5

Análisis Comparativo de Sistemas de Categorización de Artesanía Textil en América Latina

País	Enfoque Principal del Sistema	Criterio en Ingeniería Textil	Implicación Metodológica
Perú (MINCETUR)	Trazabilidad y Certificación de la Fibra (Alpaca, Vicuña).	Estándar de Fibra y Laboratorio: Control estricto de la finura y longitud de la fibra para Denominación de Origen.	Rigor en el Criterio Material, insuficiente para la autenticidad del proceso de tejido.
México (FONART)	Autenticidad, Valor Cultural y Clasificación (Originaria, Semi-industrial).	Criterio de Proceso y Valor Cultural: Énfasis en el uso de técnicas manuales para otorgar sellos de calidad artesanal.	Base para el Criterio Técnico, reconociendo la mano de obra tradicional.
Ecuador (CIDAP)	Promoción y Desarrollo. Clasificación de Rubro.	Criterio de Rubro y Promoción: Enfoque en la viabilidad	Insuficiente en el Criterio Técnico Textil y la

		económica y el desarrollo del sector.	diferenciación estricta de la autenticidad.
Bolivia	Autenticidad	Estándar de Tecnología	Unificación de la
(Propuesta)	Multidimensional (Técnica Ancestral: Estandarización de procesos de Telar de Cintura y Teñido Natural.		trazabilidad material con el rigor del proceso ancestral.
	+ Cultura + Fibra).		

Fuente: Elaboración propia con base a documentación técnica MINCETUR (2019), FONART (2020) y CIDAP (2018).

El análisis comparativo que se observa en tabla adjunta de los sistemas regionales confirma que la estrategia boliviana debe ser integral para proteger su patrimonio técnico y valor comercial textil.

- Perú ha logrado una certificación de prestigio enfocándose en la trazabilidad de la fibra (criterio materia prima), este enfoque es insuficiente para el contexto boliviano. El principal riesgo identificado es la dilución técnica, ya que el sistema peruano no garantiza la autenticidad del proceso de tejido (si fue hecho en telar ancestral o moderno) elemento que puede fortalecer la parte comercial. Por otra parte, Ecuador resalta la viabilidad económica, pero muestra insuficiencia en el criterio técnico textil.
- Bolivia, con su 29,2% de producción *Originaria* (Tabla 1), posee un activo irreplicable basado en la diversidad de técnicas ancestrales. Estas técnicas incluyen

el telar de cintura, el tejido cuatro estacas, el telar de pedal, el bordado manual, el hilado manual de fibras (alpaca, oveja y llama) y el teñido natural en hilo de fibra animal. Por ello, el modelo propuesto debe ir más allá de la trazabilidad de la fibra y establecer un estándar de tecnología ancestral, combinando el rigor material (como Perú) con el enfoque en el proceso manual y cultural (como México).

- Esta comparación demuestra que ningún sistema existente integra de manera estricta los cuatro criterios esenciales (Material, Técnico, Función y Simbolismo). Por tanto, la propuesta es crucial para combatir la masiva presencia de técnicas contemporáneas y manualidades (70,8% en la muestra). Por tanto, la matriz propuesta se convierte en una solución técnica y metodológica para subsanar esta brecha, sentando la base para la certificación y valorización de la artesanía textil originaria bolivian

3.4 Matriz de Categorización Multidimensional

El resultado del estudio es una matriz de cuatro dimensiones que establece el estándar de clasificación para el sector artesanal textil, resolviendo la ausencia

de una taxonomía oficial. Esta propuesta transforma los criterios subjetivos de autenticidad en parámetros técnicos y de proceso cuantificables, esenciales para la estandarización y certificación.

Tabla 4

Matriz de Categorización Multidimensional Propuesta para la Artesanía Textil en Bolivia: Estándares de Autenticidad

Categoría Tipológica	Criterio Cultural (Simbolismo/Diseño)	Criterio de Función y Uso	Criterio Técnico (Proceso)	Criterio Material (Composición)	Implicación Industrial
I. Artesanía Textil Originaria Pura (ATOP)	Alto Rigor: Iconografía con función simbólica o registro histórico (diseños con significado etnográfico).	Ceremonial / Ritual / Registro Histórico (mantas, <i>unkus</i> , <i>ch'ullus</i> ceremoniales).	Tecnología Ancestral: Telar de cintura/cuatro estacas, huso manual, tejido a mano sin agujas.	Fibra Natural Local (100%): Alpaca, llama, vicuña, oveja criolla. Teñido 100% natural.	Certificación de Origen y Sello de Calidad Premium. Alto valor añadido y trazabilidad simplificada.
II. Artesanía Textil Transicional (ATT)	Adaptación: Iconografía andina adaptada (colores brillantes, diseños simplificados), mantiene carga identitaria.	Utilitario con Carga Identitaria (bufandas, bolsos, prendas de vestir cotidianas).	Tecnología Híbrida/Semi-Industrial: Telar de pedal, bordado manual sobre tela industrial, hilado semi-industrial.	Mayoría Natural (Min. 70%): Mezcla de fibras naturales locales con un componente menor de acrílico o fibras industriales.	Certificación de Proceso Sostenible. Valor intermedio, enfocado en el volumen de exportación ética.
III. Artesanía Contemporánea (ATC) / Manualidad	Bajo Rigor: Diseño genérico, patrones occidentales o globales sin simbolismo andino.	Decorativo / Moda / Comercial Masivo (juguetería, artículos de	Tecnología Exógena/Rápida: Crochet, tejido a palillo, máquina de tejer simple,	Mayoría Sintética: Uso predominante de acrílico, poliéster o	No elegible para Certificación Originaria. Clasificaci

confección, sin función ritual).	confección industrial.	lana industrial importada.	ón como Manualida d o Handicraft.
--	---------------------------	----------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

La presente matriz es la propuesta central, construida a partir de la triangulación de la evidencia (N=89) con la revisión de modelos de certificación internacional (CIDAP, FONART, MINCETUR) y la fundamentación normativa nacional (Ley N.º 306 y PRONART). Los criterios técnicos, material y de función son excluyentes para la clasificación entre las categorías I y III.

Por tanto, de acuerdo a la propuesta de categorización cuatri-dimensional se establece un estándar para diferenciar productos artesanales textiles bolivianos, superando la ambigüedad normativa actual.

La matriz define tres categorías clave:

- Artesanía Textil Originaria Pura (ATOP, Categoría I): Este es el estándar de máximo valor y autenticidad, caracterizado por el Alto Rigor en el simbolismo, una Función Ceremonial/Ritual, el uso exclusivo de Tecnología Ancestral (Telar de cintura, huso manual) y Materia Prima 100% Natural Local. Esta categoría, que representa al 29,2% de la producción en ferias, es la única elegible para la Certificación de Origen y Sello de Calidad Premium, garantizando la trazabilidad

simplificada y un alto valor añadido.

- Artesanía Textil Transicional (ATT, Categoría II): Es una categoría híbrida, que mantiene la Adaptación de la iconografía andina y una Función Utilitaria con Carga Identitaria. Emplea Tecnología Híbrida/Semi-Industrial (Telar de pedal) y utiliza una Mayoría Natural de fibras (Mín. 70%), orientándose a la Certificación de Proceso Sostenible y al volumen de exportación ética.
- Artesanía Contemporánea / Manualidad (ATC, Categoría III): Caracterizada por el Bajo Rigor cultural (diseño genérico), una Función Comercial Masiva (juguetería), el uso de Tecnología Exógena/Rápida (Crochet, Máquina de tejer simple) y una Mayoría Sintética de materiales. Esta categoría, que abarca la mayoría del rubro (70,8%), no es elegible para la Certificación Originaria, siendo clasificada como *Manualidad*.

4. DISCUSIÓN.

La discusión se centra en la interpretación de la brecha cuantitativa hallada y en la validación de la matriz de categorización multidimensional como el instrumento técnico-

metodológico que subsana el vacío normativo del sector artesanal textil boliviano.

El resultado cuantitativo central revela una disparidad crítica en la muestra analizada donde el 70,8% de la producción se enfoca en técnicas contemporáneas y manualidades (tejido a ganchillo, máquinas simples, fibras sintéticas), mientras que solo el 29,2% mantiene viva la Artesanía Textil Originaria. Esta masiva presencia de técnicas de introducción posterior no es un signo de éxito productivo, sino un síntoma de la crisis de autenticidad y de la dilución técnica en el mercado. Sin una clasificación técnica que distinga rigurosamente el proceso, las políticas de fomento y promoción internacional se diluyen, afectando la fijación de precios y factores de diferenciación de lo hecho a mano con enfoque cultural de las unidades productivas artesanales. La Ley N.º 306 y el Programa Nacional PRONART reconocen el sector, pero sus instrumentos se centran en criterios económicos, sin incluir la dimensión técnica ni simbólica.

La validez de la Matriz de Categorización (Tabla 4) radica en su capacidad para superar las deficiencias de los modelos regionales de Perú, México y Ecuador (Tabla 5), lo cual debe ser contrastado con los resultados logrados hasta ahora en su participación en el mercado nacional e internacional y su preservación cultural.

El campo de la ingeniería como disciplina que gestiona la transformación de las fibras permitiría

avanzar en la responsabilidad de certificar y proteger la tecnología ancestral, para tal efecto la matriz proporciona un primer avance, considerando:

- Validación de la Ingeniería de la Tradición donde la ATOP (Categoría I) debe ser el objeto de estudio. La alpaca, llama y vicuña hilada a mano presenta un índice de finura y torsión que debe ser analizado y estandarizado como denominación de origen de proceso. El telar de cintura, por ejemplo, debe ser estudiado como un modelo de producción cero residuos y de máximo control estructural, una perspectiva que valida la disciplina ancestral.
- Trazabilidad integral y política pública donde la matriz permite integrar la trazabilidad no solo de la materia prima (fibra de camélido), sino también del proceso de transformación y del propósito de diseño (función ceremonial/ritual). Esta herramienta es fundamental para que la política pública fortalezca las herramientas de valoración económica diferenciada de la artesanía, asegurando que la Artesanía Textil Originaria (el 29,2% de la muestra) sea valorada y financiada por encima de las manualidades (el 70,8% de la muestra). La validez de estas herramientas es esencial para el desarrollo de futuras

certificaciones de procesos ancestrales y originarios para el desarrollo sostenible (Magne & Nina, 2017).

5. CONCLUSIONES

El estudio de campo reveló una brecha crítica que justifica la intervención: solo el 29,2% de la producción textil del rubro mantiene viva la Artesanía Textil Originaria (ATOP) mediante técnicas ancestrales, mientras que la mayoría, el 70,8%, se enfoca en manualidades y técnicas contemporáneas. Este resultado subraya la urgencia de establecer protocolos de autenticidad para revertir la tendencia de pérdida de conocimiento técnico.

El sistema de categorización multidimensional propuesto constituye el marco técnico-cultural indispensable para combatir la dilución de la autenticidad. Este sistema integra de manera rigurosa los cuatro criterios validados por la investigación: materia prima originaria, técnica de producción, función social y cultural y simbolismo en el diseño.

La matriz de categorización (Tabla 4) se traduce en un protocolo de certificación de proceso, que será la base para el desarrollo de certificaciones de procesos ancestrales. Así también permitirá la generación de estándares técnicos para distinguir la tecnología textil ancestral de las tecnologías de introducción posterior. Esta incluye explícitamente el telar de cintura, el tejido cuatro estacas, el telar de pedal, el bordado manual, el hilado

manual de fibras (alpaca, oveja y llama) y el teñido natural en hilo de fibra animal. Por ejemplo, permitirá valorar el telar de cintura y el hilado manual como procesos de alto valor técnico que deben ser estandarizados como denominación de origen de proceso.

La matriz permite integrar la trazabilidad no solo de la materia prima (fibra de camélido) sino también del proceso de transformación y del propósito de diseño (función ceremonial/ritual), asegurando la calidad y el valor ético del producto. Por tanto, en su aplicación es crucial fortalecer las herramientas de valoración económica diferenciada de la artesanía. La validez y posterior formalización de estas herramientas por parte del Estado (Ley N.º 306 y PRONART) permitirían establecer un sello de autenticidad que garantice la trazabilidad cultural, técnica y material del textil boliviano. Esto aseguraría la preservación de la Artesanía Textil Originaria (29,2%) y su posicionamiento económico en nichos de alto valor internacional.

6. CONFLICTO DE INTERESES.

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

En la elaboración del presente artículo referido a un sistema de categorización multidimensional para la artesanía textil boliviana, los artesanos encuestados pertenecían a organizaciones de representación nacional que manejan conceptos de

artesanía y trabajo artesanal de forma empírica, así como los conceptos de artesanía popular, artesanía urbana, artesanía con identidad cultural y servicios artesanales; esta situación puede estar conceptualmente sesgados siendo que la respuesta fuera a afectar la objetividad de sus opiniones y la validez de los datos aportados. Esta relación podría llevar a un sesgo en la presentación de los resultados y en la discusión de las implicaciones para el sector.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arnold, D. (2013). *Tejiendo la vida: Experiencias y saberes textiles andinos*. Museo Nacional de Etnografía y Folklore (MUSEF).

Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares (CIDAP). (2018). *Clasificación y promoción de artesanías tradicionales en el Ecuador*. CIDAP.

Estado Plurinacional de Bolivia. (2012). *Ley N.º 306 de Promoción y Desarrollo Artesanal*. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia.

Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías (FONART). (2020). *Clasificación y apoyo a la producción artesanal en México*. FONART.

Magne, A., & Nina, H. (2017). *La memoria del tejido: Identidad cultural y desarrollo sostenible en el altiplano boliviano de La Paz y Oruro*. Soluciones Prácticas.

Mamani, V. (2018). El tejido andino: un legado ancestral. *Revista de Artes y Culturas*, 12(2), 45–60.

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (MINCETUR). (2019). *Certificación y denominaciones de origen de textiles de alpaca en el Perú*. MINCETUR.

Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. (2022). *Programa Nacional de Promoción y Desarrollo de la Actividad Artesanal (PRONART)*. MDPyEP.