

Revista

VOL. 6 - 2022

INNMODALAB

ISSN: 2539-2379



Centro de Manufactura
en Textil y Cuero
Regional Distrito Capital

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Revista
INNMODALAB

Laboratorio de Ideas de Investigación, Innovación y Desarrollo
Tecnológico para el Sistema Moda

Centro de Manufactura en Textil y Cuero
SENA - Regional Distrito Capital

textilcuero.blogspot.com
Carrera 30 No. 17-91 Sur
sennova_cmtc@sena.edu.co
atencionalciudadanocmtc@misena.edu.co
PBX: 6015960050

Bogotá, Colombia

ISSN:2539-2379
Periodicidad anual
Número 6, año 2022

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA
Dirección General
Dirección de Formación Profesional Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Derechos de reproducción total o parcial -Copyright-
Reservados para el SENA - Regional Distrito Capital ©



Centro de Manufactura
en Textil y Cuero
Regional Distrito Capital

Revista dirigida a:

Instructores, aprendices, empresarios,
investigadores, profesores y estudiantes de
pregrado y posgrado, asociados y/o
relacionados con los sectores
“Textil - confección” y
“Cuero, calzado y marroquinería”

Temáticas relacionadas con la revista:

- Investigación aplicada para los sectores textil, confección, cuero, calzado y marroquinería.
- Implementación de nuevas tecnologías para el sistema moda
- Materiales y nanotecnología
- Procesos productivos del sistema moda
- Experiencias de formación para el trabajo

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

Jorge Eduardo Londoño Ulloa
Director General

Gerardo Arturo Medina Rosas
Director (e) Regional Distrito Capital

Claudia Patricia Forero Londoño
Coordinadora del grupo de gestión
estratégica de la formación

Sonia Enciso Mosquera
Directora Revista INNMODALAB
Subdirectora Centro de Manufactura
en Textil y Cuero

PRODUCCIÓN EDITORIAL REVISTA INNMODALAB

**Ana María Muñoz González / Leonardo
Muñoz Pérez**
Dinamizador(a) SENNOVA
Centro de Manufactura en Textil y Cuero

Camilo Morales Díaz
Diseño, fotografías y maquetación

Leidy Johana Delgado Macías
Diseño de portada y revisión gráfica

Marjorye Villabona Cárdenas
Correctora de Estilo
Líder Biblioteca Complejo Sur
Distrito Capital

Sandra Franco Muñoz
Apoyo Administrativo, Ecosistema SENNOVA
Centro de Manufactura en Textil y Cuero

Carlos Alfonso Rodríguez
Caricatura
Arquitecto
Centro Metalmecánico

LICENCIA CREATIVE COMMONS, ATRIBUCIÓN NO COMERCIAL SIN DERIVAR 4.0 INTERNATIONAL

Se autoriza la reproducción total o parcial de los materiales publicados en esta revista, siempre y cuando sea citada la fuente. INNMODALAB no asume necesariamente las opiniones ni los criterios expuestos en los diferentes artículos.

INDICE



**AGENTES
ANTIESTÁTICOS
EN PRENDAS
DE USO
COTIDIANO:**
ESTADO Y
PERSPECTIVAS

PAG
6-19



ACERCAMIENTO
A LA
**IDENTIFICACIÓN
DE LA TIPOLOGÍA
DE BUSTO DE
MUJERES DEL
VALLE DE ABURRÁ**
PARA
DESARROLLO
DE
INDUMENTARIA

PAG
20-29



**USO DE STF
EN TEXTILES**
PARA
ELEMENTOS
DE
**PROTECCIÓN
ANTIPUNZÓN**

PAG
30-43



MEDICIÓN
DE
VARIABLES
DE **CONFORT**
**PARA EL
CALZADO
DEL SECTOR
MÉDICO
LABORAL**

PAG
44-57



NANOTECNOLOGÍA
ANTIBACTERIAL
EN TEXTILES

PAG
58-73



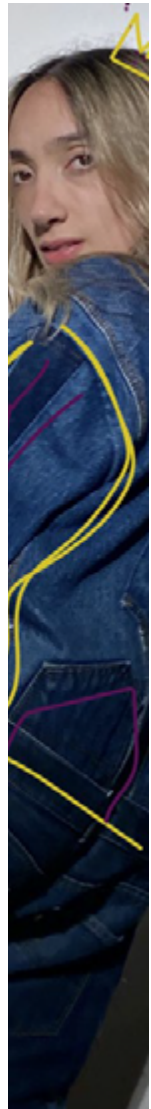
BÚSQUEDA Y
EVALUACIÓN
TÉCNICA DE
**FUENTES
NATURALES**
PARA LA
OBTENCIÓN DE
**COLORANTES
TEXTILES**

PAG
74-89



**MARKETING
VERDE:**
UNA
OPORTUNIDAD
DE NEGOCIO

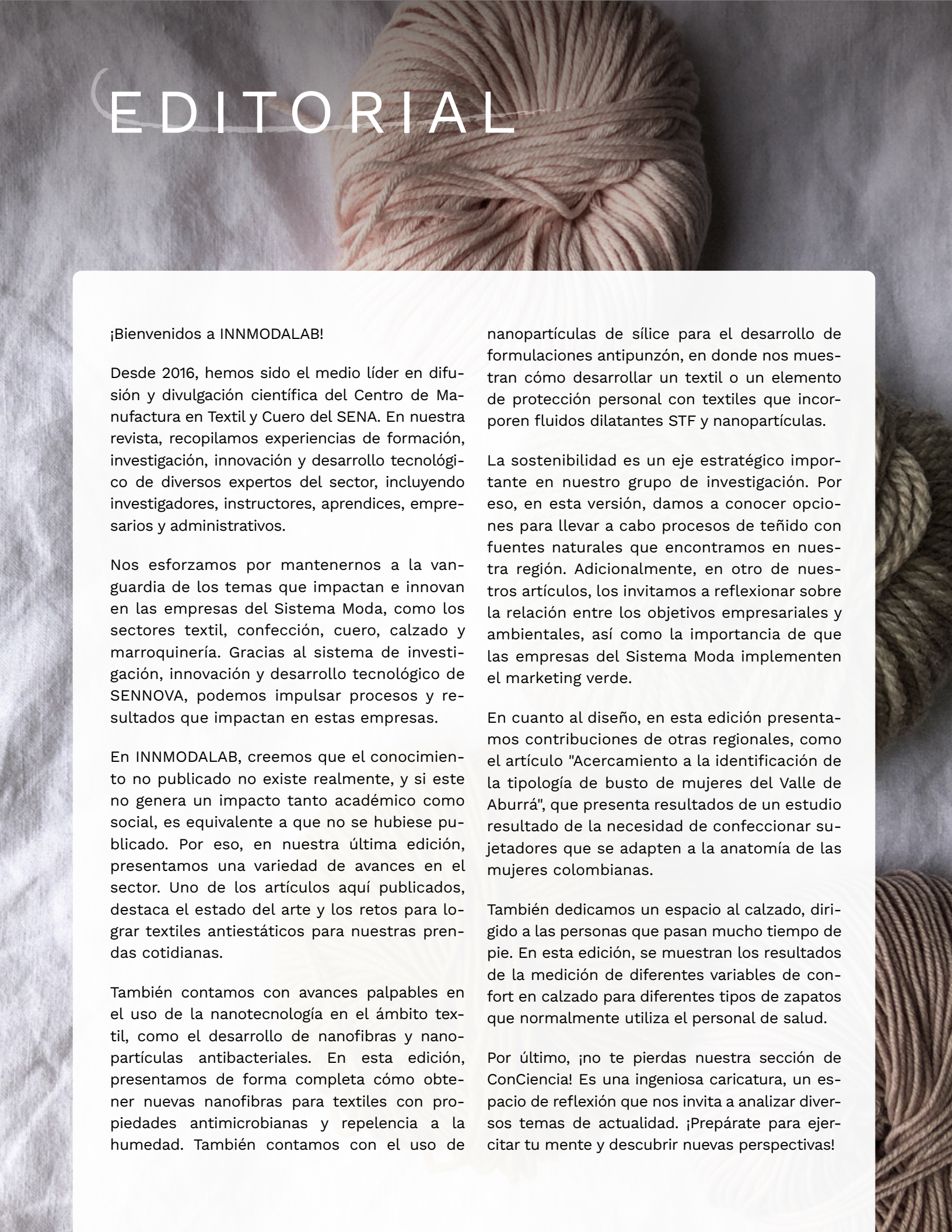
PAG
90-95



**ALEJANDRO
CROCKER**
EN
ENTREVISTA

PAG
96-99

EDITORIAL



¡Bienvenidos a INNMODALAB!

Desde 2016, hemos sido el medio líder en difusión y divulgación científica del Centro de Manufactura en Textil y Cuero del SENA. En nuestra revista, recopilamos experiencias de formación, investigación, innovación y desarrollo tecnológico de diversos expertos del sector, incluyendo investigadores, instructores, aprendices, empresarios y administrativos.

Nos esforzamos por mantenernos a la vanguardia de los temas que impactan e innovan en las empresas del Sistema Moda, como los sectores textil, confección, cuero, calzado y marroquinería. Gracias al sistema de investigación, innovación y desarrollo tecnológico de SENNOVA, podemos impulsar procesos y resultados que impactan en estas empresas.

En INNMODALAB, creemos que el conocimiento no publicado no existe realmente, y si este no genera un impacto tanto académico como social, es equivalente a que no se hubiese publicado. Por eso, en nuestra última edición, presentamos una variedad de avances en el sector. Uno de los artículos aquí publicados, destaca el estado del arte y los retos para lograr textiles antiestáticos para nuestras prendas cotidianas.

También contamos con avances palpables en el uso de la nanotecnología en el ámbito textil, como el desarrollo de nanofibras y nanopartículas antibacteriales. En esta edición, presentamos de forma completa cómo obtener nuevas nanofibras para textiles con propiedades antimicrobianas y repelencia a la humedad. También contamos con el uso de

nanopartículas de sílice para el desarrollo de formulaciones antipunzón, en donde nos muestran cómo desarrollar un textil o un elemento de protección personal con textiles que incorporen fluidos dilatantes STF y nanopartículas.

La sostenibilidad es un eje estratégico importante en nuestro grupo de investigación. Por eso, en esta versión, damos a conocer opciones para llevar a cabo procesos de teñido con fuentes naturales que encontramos en nuestra región. Adicionalmente, en otro de nuestros artículos, los invitamos a reflexionar sobre la relación entre los objetivos empresariales y ambientales, así como la importancia de que las empresas del Sistema Moda implementen el marketing verde.

En cuanto al diseño, en esta edición presentamos contribuciones de otras regionales, como el artículo "Acercamiento a la identificación de la tipología de busto de mujeres del Valle de Aburrá", que presenta resultados de un estudio resultado de la necesidad de confeccionar sujetadores que se adapten a la anatomía de las mujeres colombianas.

También dedicamos un espacio al calzado, dirigido a las personas que pasan mucho tiempo de pie. En esta edición, se muestran los resultados de la medición de diferentes variables de confort en calzado para diferentes tipos de zapatos que normalmente utiliza el personal de salud.

Por último, ¡no te pierdas nuestra sección de ConCiencia! Es una ingeniosa caricatura, un espacio de reflexión que nos invita a analizar diversos temas de actualidad. ¡Prepárate para ejercitar tu mente y descubrir nuevas perspectivas!





Agentes antiestáticos

en prendas de uso cotidiano:
estado y perspectivas

*Antistatic agents in
common wear garments,
status, and prospects*

Julio César Ramírez Rodríguez*

“SE IDENTIFICÓ QUE ANTE EL DETERIORO AMBIENTAL QUE LA INDUSTRIA TEXTIL GENERA, SE REQUIERE QUE LA OBTENCIÓN DE ESTOS TEXTILES TÉCNICOS SE DE A PARTIR DE ASPECTOS CLAVE COMO COMPUESTOS POLIMÉRICOS Y BIODEGRADABILIDAD”



Resumen

ABSTRACT

La fabricación de fibras sintéticas ha innovado la industria textil aportando propiedades especiales para mejorar su desempeño y utilidad, algunos de ellos son textiles técnicos utilizados comúnmente a nivel industrial que utilizan agentes antiestáticos. Sin embargo, debido a que los impactos ambientales son considerables, se ha contemplado emplear alternativas que puedan aplicarse en prendas de uso cotidiano. Así pues, se hizo una revisión bibliográfica sobre metodologías, tendencias de investigaciones publicadas en bases de datos y verificar sus perspectivas a partir de la metodología de revisión documental, en la cual se utilizaron operadores booleanos que permitieron optimizar la selección de los documentos que mayor se correlacionaban con la búsqueda. Para los resultados, se elaboraron unas fichas que contienen toda la información que articula los términos de la investigación. En los resultados, se encontró que se han estudiado textiles antiestáticos a partir de polímeros biodegradables con posibles propiedades de resistencia al corte, electro conductoras, protección de las radiaciones ultravioleta, electromagnéticas y radioactivas, también se menciona fibras opacas a los rayos X y a la radiación del espectro visible. Adicionalmente, se analizó una metodología para determinar, en distintas condiciones ambientales, la resistencia eléctrica de los tejidos para así poder estimar el comportamiento de los diversos materiales textiles en relación con la electricidad estática. De aquí, se considera que para un mejor estudio del fenómeno de la electricidad estática es conveniente utilizar la preparación de sol-gel (TEOS).

Palabras clave:

Agentes antiestáticos, Compuestos poliméricos, Electricidad, Impacto ambiental, Nanomateriales, Sustancias naturales, Textiles técnicos, Triboelectricidad.

The manufacture of synthetic fibers has innovated the textile industry by providing special properties to improve their performance and usefulness, some of them are technical textiles commonly used at industrial level that use antistatic agents. However, due to the considerable environmental impacts, the use of alternatives that can be applied in everyday garments has been contemplated. Thus, a bibliographic review was made on methodologies, research trends published in databases and verification of their perspectives based on the documentary review methodology, in which Boolean operators were used to optimize the selection of the documents that correlated best with the search. For the results, files were prepared containing all the information that articulates the terms of the research. In the results, it was found that antistatic textiles have been studied from biodegradable polymers with possible properties such as cut resistant, electro conductive, protection from ultraviolet, electromagnetic and radioactive radiation, also opaque fibers to X-rays and visible spectrum radiation are mentioned. Additionally, a methodology was analyzed to determine, in different environmental conditions, the electrical resistance of fabrics in order to estimate the behavior of the different textile materials in relation to static electricity. From this, it is considered that for a better study of the phenomenon of static electricity it is convenient to use the sol-gel preparation (TEOS)

Keywords:

Antistatic agents, Polymeric compounds, Electricity, Environmental impact, Nanomaterials, Natural substances, Technical textiles, Triboelectricity.

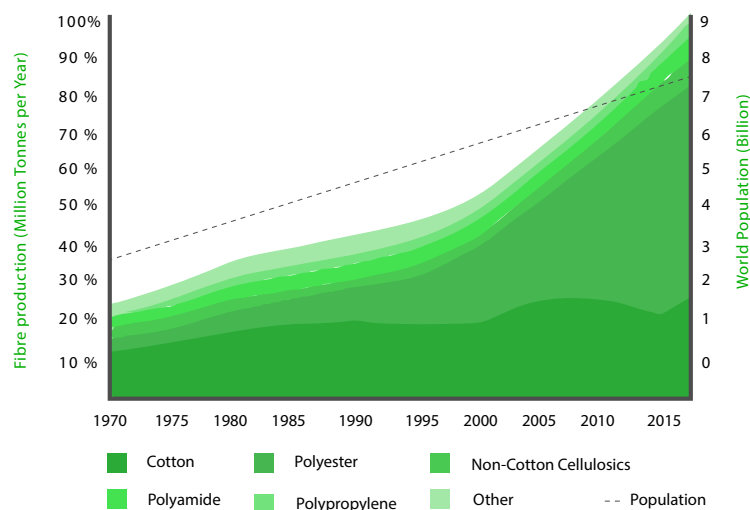
Introducción

La industria textil y manufacturera constituye el primer sector económico en varios países, ya que constituye el 2% del Producto Interno Bruto Mundial (PIBM), es decir, US\$3000 billones. Por este motivo, se han invertido grandes cantidades de dinero en la innovación de nuevas y mejores prendas, una de las invenciones que marcaron un punto de inflexión en la historia de la industria textil fue la incorporación de fibras sintéticas. Esto se logró a partir de la obtención de polímeros sintéticos, los cuales permitieron desarrollar fibras sintéticas de larga duración y resistentes a diferentes agentes externos (Tovar et al. 2018).

Con relación a la producción actual, las fibras sintéticas más utilizadas en prendas de uso corriente son fabricadas en poliamida (nylon), poliéster, acrílico, acetato, polietileno, polipropileno y poliuretano (CONABIO, 2020). En contraste, las fibras naturales más utilizadas se elaboran a partir de algodón, lana, seda, lino, yute, alpaca, angora, entre otros. Precisamente, en la Figura 1 se evidencia una correlación entre la producción de cada tipo de material y el crecimiento poblacional en los últimos 40 años, dónde se corrobora la representatividad que tuvo la incursión de las diferentes clases de fibras sintéticas.

Este gráfico indica que la producción de fibras mantenía una tendencia de aumento

Figura 1.
Diagrama de proceso de textiles



Nota. Tomado de Niinimäki et al. (2020).

constante hasta la década de los noventa, donde la evolución tecnológica y el crecimiento demográfico favoreció la industrialización de la producción masiva hasta en un 60% de textiles como poliéster, polipropileno, poliamida, y otros. A diferencia de las fibras naturales como algodón, que mantuvieron su producción con leves variaciones porcentuales en sus picos.

En efecto, con los años la creciente demanda de la industria ha generado la necesidad de implementar nuevas tecnologías y desarrollos en los que la nanotecnología y biotecnología se fusionan para elaborar prototipos de telas que disminuyan el consumo de recursos, y que mejoren el desempeño de las prendas y su funcionalidad, es decir, tejidos inteligentes, que respondan a algún estímulo eléctrico, mecánico, térmico, óptico o magnético. Inclusive, a prueba de agua y resistentes a condiciones climáticas extremas y/o adversas (temperaturas extremas, incendios y aeronáutica) (Madero et al., 2010).

En particular, la ropa deportiva es ilustre por emplear esta tecnología, dado que incorpora nanomateriales funcionales como nanopartículas metálicas específicamente nanocompuestos de Plata (AgNCs), aportando propiedades de resistencia al agua, antibacteriales, anti-olores, bloqueadores de luz UV, liberadores de fármacos, entre otros. (Tacha, 2020).

Paralelamente, existe una rama importante de textiles técnicos: los textiles antiestáticos, éstos son utilizados para reducir o eliminar la generación de carga electrostática (Textor & Mahltig, 2010). Por ejemplo, esta tecnología ha sido utilizada en industrias con presencia de carburantes, gases y polvos combustibles, en dónde se controlan chispas incendiarias, daños de equipos electrónicos, atracción de partículas de la superficie, evitando accidentes laborales y protegiendo a los operarios.

De esta manera, se ha buscado incluir este tipo de cualidades en materiales sintéticos y en prendas comunes con el fin de darle mayor calidad al producto, y por supuesto mayor comodidad al consumidor.

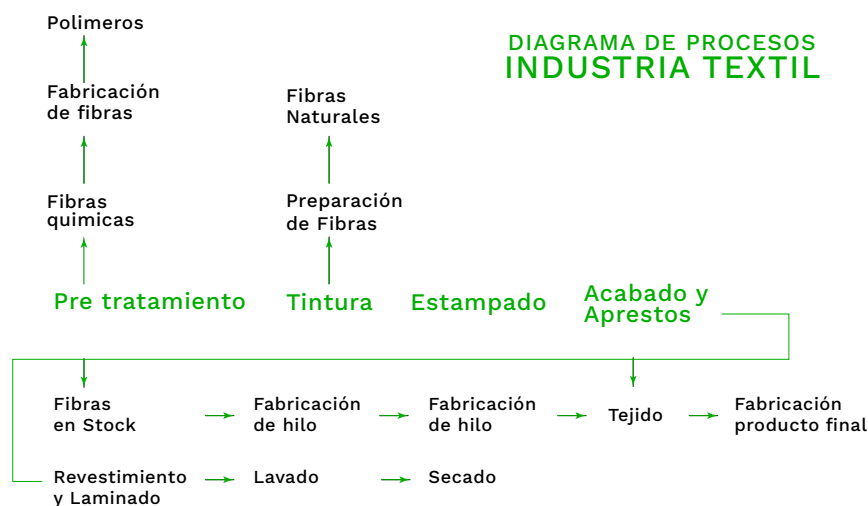
En ese orden de ideas, la finalidad de este artículo es documentar la información técnica que permita profundizar el conocimiento sobre los agentes antiestáticos, evaluar su estado y perspectivas para incorporar propiedades de textiles

inteligentes en prendas de uso cotidiano, a partir de impregnantes naturales. Porque producir los sintéticos, además de ser costosos, demandan de altas cantidades de recursos, en especial de agua. De acuerdo con el Servicio de Investigación del Parlamento de la Unión Europea, para fabricar textiles se requieren alrededor de 2.000 litros de agua, unos diez kilos de productos químicos y tintes en su proceso de fabricación y la emisión de un equivalente de 13 kilos de dióxido de carbono (Unión Europea, 2019).

Es decir, es conveniente que se busquen alternativas en la producción de textiles técnicos que reduzcan la huella de carbono y en especial la carga contaminante en las aguas residuales. Por ese motivo, el análisis del fundamento tecnológico que sustenta este documento es de gran utilidad, dado que presenta las bases teóricas que pueden ser empleadas en el desarrollo de nuevos productos. Para esto, se consultaron bases de datos, identificando los resultados más relevantes de los temas que se han planteado, y al mismo tiempo, se revisaron patentes y diferentes tipos de publicaciones en materia de normatividad internacional.

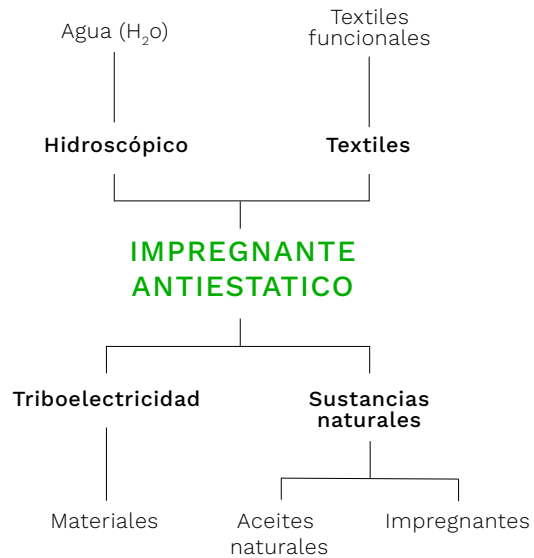
Inicialmente se presenta el análisis bibliográfico, a partir de un mapa mental (Figura 2) del problema, identificando los temas más relevantes, luego se realiza la búsqueda en bases de datos especializadas, dónde los artículos con mayor correlación fueron analizados mediante la construcción de una ficha de resumen y de esta manera, clasificarlos según su importancia. Finalmente, se desarrollaron las conclusiones sobre los resultados de esta investigación.

Figura 3.
Diagrama de proceso industria textil



Nota. Adaptado por autor, 2021. Tomado de Ergonomía En El Sector Textil (2021).

Figura 2.
Diagrama conceptual del estudio



Nota. Adaptado por autor, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Marco Teórico

La fabricación de fibras sintéticas actualmente se ha ido modificando con los años, añadiendo procesos cada vez más funcionales y eficaces para mejorar la calidad del producto. Según Ergonomía En El Sector Textil (2021) el proceso de obtención de fibras consta de varias operaciones unitarias, como pretratamiento, tinte, estampado, hilado, entre otros, en la Figura 3 se desglosa esta metodología.

El proceso comienza con el acondicionamiento de las fibras mediante su limpieza, para que queden sueltas y libres de cualquier impureza que pueda dañar el hilo resultante. La operación de cardado separa las fibras y las dispone en cintas; el resultado suele ser irregular, por lo que estas cintas procedentes de la carda pasan por diversos estirados y doblados para conseguir un resultado homogéneo. Con las fibras dispuestas de forma homogénea se las somete a un nuevo estiramiento y una ligera torsión. Así se obtienen las mechas listas para el hilado.

Con el objeto de mejorar la uniformidad de las fibras, así como sus propiedades

hidrofílicas y su afinidad por colorantes y productos de acabado, durante la etapa de pretratamiento se lleva a cabo la separación de las impurezas de las fibras y la liberación de las tensiones en las fibras sintéticas. Para estas, el pretratamiento consiste en el lavado de las fibras para eliminar los agentes de preparación y las colas que se han aplicado en las etapas anteriores y en su termo fijación.

Otra consideración que condicionó la caracterización de las nuevas propiedades de los textiles fue la difusión intensiva de las fibras sintéticas en la década de los sesenta del siglo pasado, según referencia, Ovejero (2014) los problemas relacionados con la electricidad estática se incrementaron en los procesos de fabricación como consecuencia de la fricción contra otros materiales, al igual que durante el uso cotidiano de estas fibras.

Algunos de los inconvenientes ocasionados por las cargas electrostáticas generados en los tejidos acabados se encuentran:

- Enrollamientos de fibras sobre las máquinas en rotación, especialmente en la hilandería
- Adherencia de hilo en el urdido
- Hilados con fibras erizadas
- Formación de chispas

Estos efectos pueden minimizarse, por ejemplo, mezclando la lana (de carga positiva) con polipropileno (de carga negativa) o incorporar materiales conductores como fibras metálicas o de carbono (Lockuán, 2013). En la Figura 4 se relacionan las cargas triboeléctricas de algunas fibras textiles.

Barbosa et al. (2013) definen el efecto triboeléctrico o la electricidad estática como un fenómeno eléctrico que consiste en la transferencia de cargas eléctricas y por lo tanto en la generación de una tensión, entre diferentes materiales (de los cuales al menos un aislante) cuando se frotan entre ellos.

Su etimología se origina del sufijo griego tribos, que significa precisamente frotamiento, también era conocida en la antigüedad (Tales de Mileto siglo VI a.C Teofrasto de Hereso, Plinio el Viejo), y llevó al nacimiento de la palabra “electricidad”, del nombre griego de ámbar: electrón.

Por su parte, los materiales triboeléctricos se clasifican por su polaridad e intensidad de la carga adquirida, unos tienden a producir electrones (y cargar positivamente), y otros aceptan electrones y cargar negativamente. Por ejemplo, al entrar

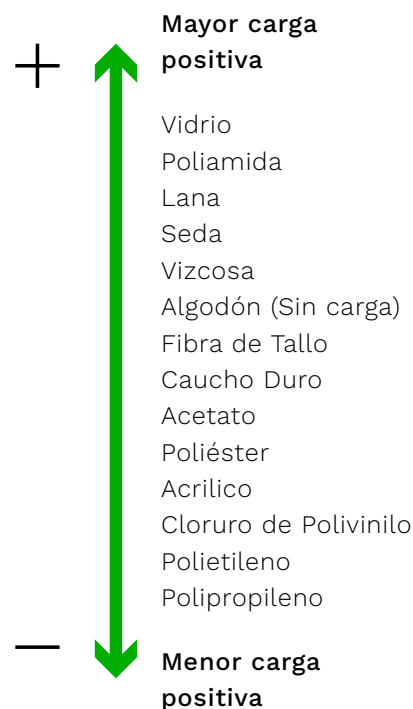
en contacto con el nylon y el teflón, el nylon se cargará positivamente y el teflón negativamente, sin embargo, si el nylon se frota en la piel se cargará, más débil, negativamente. La polaridad y la intensidad de la carga generada dependen no solo de los materiales sino también de otros factores y, probablemente, otras causas aún no conocidas.

Así mismo, Ovejero (2014) aclara que, si bien la formación de cargas electrostáticas no requiere necesariamente de rozamiento, se debe saber que la transferencia de electrones de un material a otro también se manifiesta por simple contacto. Por ejemplo, al desenrollar una cinta adhesiva (celulosa), la tira está en contacto con la capa adhesiva, es decir, en el desprendimiento hay transferencia de electrones del pegamento (carga positiva), y la cinta subyacente (negativa).

De hecho, Textor & Mahltig (2010) mencionan que, los efectos triboeléctricos también pueden ocurrir entre sólidos y líquidos o gases, y el contacto con dos superficies causa un fenómeno llamado adhesión, donde los enlaces químicos se forman en los puntos de contacto.

Cabe señalar que en contacto también puede haber intercambio de iones o fragmentos de moléculas enteras y que a nivel microscópico hay aspectos del fenómeno similares a la fricción. En el momento del desprendimiento, debido al fuerte campo eléctrico presente, hay fenómenos de

Figura 4.
Carga triboeléctrica de las fibras textiles



Nota.. Adaptado por autor, 2021. Tomado de (Lockuán, 2013).

descarga eléctrica que conducen al calentamiento (fenómenos piroeléctricos) y el retorno parcial de los electrones intercambiados al material original (en inglés: flujo de retorno de carga).

Otro ejemplo, de este efecto, se da cuando se experimenta una pequeña descarga eléctrica que se produce (especialmente cuando la humedad en el aire es moderada) después de caminar sobre una alfombra sintética y tocar el mango de una puerta. Si la alfombra es de nylon y las suelas de los zapatos son de goma, el contacto entre los zapatos y la alfombra crea una transferencia de electrones de la alfombra a los zapatos, dejando la alfombra cargada positivamente y las suelas de los zapatos cargadas negativamente.

Por otro lado, es importante para esta investigación relacionar los impregnantes o agentes antiestáticos, Ovejero (2014) lo define como un compuesto que reduce, amortigua, e inhibe la acumulación o la descarga de la electricidad estática en prendas, la carga estática se puede generar por el efecto triboeléctrico o por un proceso sin contacto utilizando una fuente de alimentación de alta tensión.

De igual forma, se menciona que las moléculas de un agente antiestático a menudo tienen ambas zonas hidrófilas e hidrófobas, similares a las de un tensioactivo; el lado hidrofóbico interactúa con la superficie del material, mientras que el lado hidrófilo interactúa con la humedad del aire y une las moléculas de agua.

En la industria textil se utilizan estos aditivos, a raíz de la necesidad de reducir la polarización de los polímeros y, al mismo tiempo, la resistencia superficial de los materiales, lo que hace que la carga se disipe, y como resultado, se disminuya la aparición del fenómeno adverso. De acuerdo con el reporte de Sierra (2000) los agentes antiestáticos se pueden clasificar en dos grupos: externos e internos de acuerdo con el método de su aplicación, mecanismo de acción y la duración de la acción antiestática. Los agentes antiestáticos externos tienen las siguientes propiedades:

- Se adaptarán a la superficie del plástico acabado.
- Se utilizan técnicas como la pulverización y la inmersión.
- La duración de la acción antiestática de este tipo de compuestos es muy corta.
- Debido a su abrasión bajo la influencia de factores mecánicos, éstos compuestos pierden su actividad después de solo 6

semanas y, a este respecto, no igualan las propiedades de los agentes antiestáticos internos.

En cuanto al efecto antiestático en el caso de los agentes antiestáticos internos se describe así:

- Es de larga duración (generalmente más de un año).
- Al término de 24-48 horas desde el proceso de extrusión, las partículas migran a la superficie del material, formando una película higroscópica que atrae el agua.
- La capacidad creada tiene una función conductora, ya que la descarga eléctrica estática reduce el nivel de carga plástica.
- La migración de agentes antiestáticos internos asegura un período más largo de su actividad: las capas que se desgastan de la superficie del polímero son reemplazadas.

Independientemente del mecanismo de acción, los agentes antiestáticos deben tener varias características que garanticen su alta eficiencia. Estas características son principalmente:

- Propiedades hidrofílicas e higroscópicas,
- La capacidad de ionización en el agua: la presencia de iones aumenta la conductividad del agua,
- La capacidad de migrar hacia la superficie del material.

Paralelamente, se referencia que se pueden utilizar sustancias naturales dentro de los impregnantes antiestáticos que aportan propiedades hidrofílicas al material, lo que permite el aumento del contenido de humedad y por lo tanto la disminución de la triboelectricidad. Las sustancias más utilizadas son glicerina, dióxido de titanio (TiO_2), óxido de zinc (ZnO), dióxido de estaño (SnO_2), combinación de nanopartículas de plata (Ag) y oro (Au), sales de amonio cuaternario y polietilenglicol.

Otro aspecto de importancia para este artículo es que recientemente la industria textil ha venido incursionando en lograr una funcionalización del textil a partir de la modificación física y química de las fibras textiles con nanomateriales, es decir, sustancias químicas o materiales cuyas partículas tienen un tamaño de entre 1 y 100 nanómetros (nm) en al menos una dimensión. Rashid et al. (2021) señalan al dióxido de titanio (TiO_2) (sólido inorgánico con alta estabilidad térmica y química) como uno de los nanomateriales con mayor atención en los últimos años debido a que

sus propiedades estructurales, físico químicas, ópticas y eléctricas, proporcionan a las fibras textiles funcionalidades como autolimpieza foto catalítica, disminución de la proliferación microbiana, la protección UV, la conductividad eléctrica, incluida propiedades antiestáticas, y una mayor estabilidad térmica.

Si bien el uso de nanomateriales representa ventajas en diversos aspectos, pueden también significar riesgos para la salud y el medio ambiente, siendo importante tener en cuenta la sostenibilidad del producto final, considerando que el uso de textiles inteligentes o funcionales implica la combinación de diferentes materiales cuya separación al final del ciclo de vida del producto es complicado y genera graves impactos en el medio ambiente.

Precisamente, los impactos ambientales ocasionados por la industria textil se han incrementado en los últimos años a raíz de diferentes fenómenos, sin embargo, el de mayor impacto es el denominado fast fashion o moda rápida, es decir, modelos basados en producción de prendas en grandes cantidades en corto tiempo sin importar sus consecuencias ambientales. Frente a ello, se destaca de acuerdo con la ONU citado por Carvajal (2022) que “La industria de la moda produce hasta el 10% de las emisiones globales de CO₂ (agravado porque todos los excedentes de producción se queman) y un 20% de las aguas residuales del planeta, además, es la segunda actividad económica que más consume agua en el mundo” (párr. 6.).

En la Figura 5 se desglosa la proporción de CO₂ emitida en cada fase de la vida de la prenda, desde la producción del hilo y la prenda, pasando por el transporte, el uso personal (es decir, el lavado) y, finalmente, la eliminación. La fase de producción, que consiste en cultivar y trabajar las materias primas para convertirlas en textiles y ensamblarlas en prendas, es la más destructiva para el medio ambiente. La mitad de los costes medioambientales asociados a una camiseta proceden de su producción, y en los jeans son más de la mitad.

En síntesis, estos conceptos aportan criterios y perspectivas para desarrollar la investigación contextualizada en las diferentes clases de textiles técnicos, usos, propiedades e impactos.

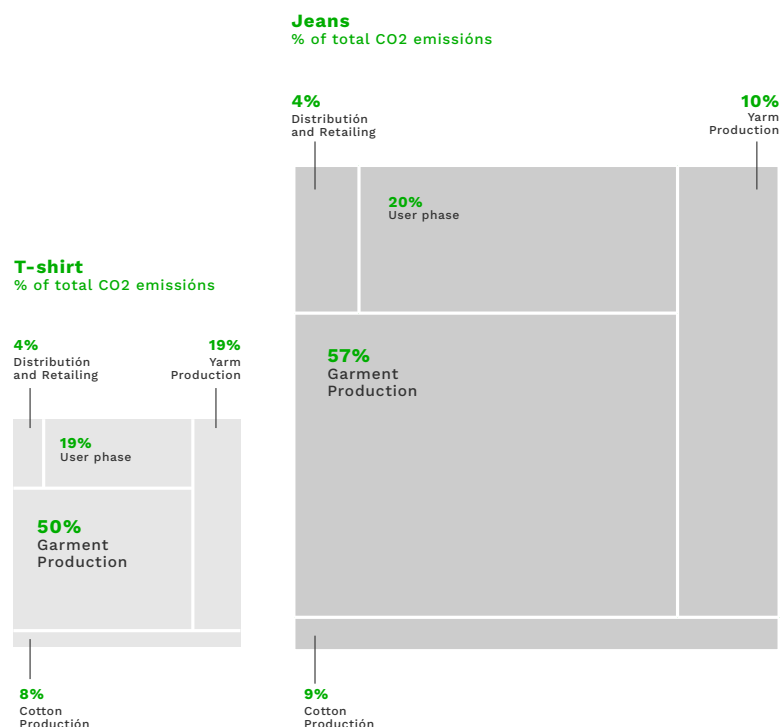
Materiales y métodos

Según para la construcción de cualquier marco teórico este puede realizarse a partir de dos fases, la primera consiste en la recolección de la información bibliográfica y la segunda, analiza los documentos obtenidos en la fase anterior. La fase heurística se fundamenta en la selección de información de temas relacionados al objeto de estudio, además, implica la construcción y definición de los criterios de búsqueda, de inclusión de fuentes de consulta y todos los demás conceptos que se consideren que limiten o enriquezcan el trabajo investigativo.

Para ejecutar la búsqueda se utilizaron los operadores booleanos, (AND, NOT, OR, XOR), Barbosa et al. (2013) referencia que éstos son términos o símbolos que se utilizan para darle a la búsqueda un orden lógico, de forma que se localizan los registros que contienen los términos correspondientes a uno de los campos especificados o en todos los campos. El operador

Figura 5.

El coste medioambiental de producir una camiseta y un pantalón vaquero en términos de emisiones de CO₂ es de 2,6 kg y 11,5 kg respectivamente



Nota. Tomado de (Unión Europea, 2019).

AND (Y), indica que las palabras que anteceden y siguen al operador deben encontrarse en el resultado de la búsqueda. El NOT, muestra que la palabra clave anterior al operador deberá aparecer, pero no la posterior. Por su parte, el OR (O): Indica que cumple con que solo una de las palabras esté presente. En la mayoría de las herramientas de búsqueda puede reemplazarse por un espacio en blanco. Finalmente, el XOR: especifica que, de ambas palabras clave, sólo debe aparecer una.

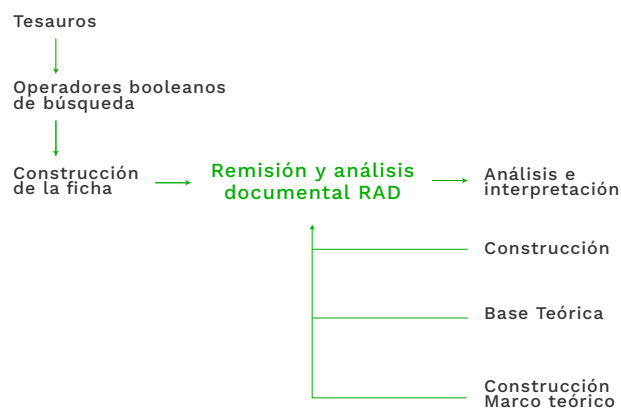
Paralelamente, la segunda fase, es decir la hermenéutica o de análisis, emplea los hallazgos de la fase anterior y su finalidad es dar forma al documento para resumir los referentes, dando un orden coherente y ampliado de la información sobre el tema de este estudio. Este análisis se basa en lo propuesto por Barbosa et al. (2013) que se describe en la Figura 6.

Fase heurística

Para el desarrollo de esta fase se tomó la construcción de una ficha de recolección de información de los documentos analizados, la misma corresponde a una adaptación de la ficha presentada en el artículo de Barbosa et al. (2013).

En la Tabla 1, se evidencian los protocolos de búsqueda con los términos utilizados, recursos de información, estrategias, criterios de extracción entre otros.

Figura 6.
Diagrama metodología RAD



Nota. Adaptado por autor, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Fase hermenéutica

De igual manera, se elaboró un formato de construcción de la ficha para la revisión de los documentos, ver Tabla 2.

Tabla 1.
Protocolo de búsqueda de la información

PROTOCOLO DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	
Idioma	Español, inglés
Periodo de tiempo	2007-2019
Terminos de busqueda	Individuales Agua, triboelectricidad, antiestático, electricidad, fricción, geles, aceites naturales, fibras.
	Combinaciones Agua, triboelectricidad, antiestático, electricidad, fricción, geles, aceites naturales, fibras.
Recursos de información	I. Bases de datos: Ebscot Host, Science Sliever, Proquest, ISI Web of Knowledge, Dialnet, Redalyc. II. Google Académico; III. Revistas indexadas en formato digital (ingeniería, agronomía); memorias de eventos académicos y específicos sobre sistemas de riego y manejo de imágenes; IV. Páginas de redes sobre sistematización de experiencias; V. Trabajos de investigación de posgrado.
Estrategias	Formación Capacitación bases de datos, redes de conocimiento, OneNote, Mendeley
	Términos Palabras clave artículos, títulos, resúmenes
	Busqueda I. Ingreso escalonado de términos, restringiendo la búsqueda según resultado precedentes; II. Búsquedas booleanas (sencillas y por ecuaciones); III. Consulta a páginas personales de expertos y IV. Revisión de citaciones y referencias bibliográficas.
Normas	I. Diagnosticar la existencia de trabajos análogos. II. Revisar las fuentes de información teniendo al horizonte de investigación. III. Corroborar la correspondencia de la fecha de publicación de la fuente primaria. IV. Corroborar y conseguir los trabajos completos, constatando su relevancia para la investigación. V. Hacer lectura del resumen e introducción como estrategia de inclusión o exclusión preliminar. VI. Hacer registro de comentarios acerca del estudio (relevancia, aspectos destacados o cualquier otro aspecto útil).
Criterios de exclusión	I. Publicaciones que no contengan información de interés a pesar de contener los términos de búsqueda o combinación de ellos. II. Publicaciones relacionadas con experiencias cuyos contextos son de electrónica o netamente matemáticos. III. Publicaciones relacionadas con experiencias cuyos diseños investigativos distan radicalmente del enfoque del problema.
Estrategia de extracción	I. Representó el diseño del formato de revisión documental, el cual se estructuró en tres secciones: II. Datos de diligenciamiento. III. Datos descriptivos de la publicación y tópicos relevantes de la publicación.

Nota. Elaboración propia, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Tabla 2.
Ficha de revisión de documentos

DATOS DE DILIGENCIAMIENTO	
Numeración del documento	
Fecha de diligenciamiento	
Datos descriptivos de la publicación	
Título de la publicación	Revisión documental: Agentes anti-estáticos en prendas de uso diario, estado y perspectivas
Tipo de publicación	
Capítulo o páginas	
Revista o editorial	
Fecha de publicación	
Título del estudio	
Autor/es	
Palabras clave	
Lugar de la investigación (si aplica)	
Tópicos relevantes de la publicación	
Descripción general	Objetivos Justificación
Fundamentos teóricos	Descripción de las ecuaciones o principios que rigen la investigación
Metodología	Descripción breve
Conclusiones	
Referentes	
Observaciones u opinión	
Calificación	Alta-media-baja

Nota. Elaboración propia, 2021. Tomado de Barbosa et al. (2013).

Resultados y análisis

Después de definir los criterios para la elaboración de la ficha de revisión de documentos, se realizó el proceso de consulta de las primeras bases de datos y se construyeron las fichas de los primeros artículos analizados. En primera instancia se definieron los términos denominados Tesoros, es decir, palabras clave empleadas con operadores booleanos. Posteriormente, se realizó la síntesis de los aspectos relevantes de cada artículo.

Los resultados de la investigación reflejaron diferentes perspectivas del sector electrónico, aeroespacial y químico, con respecto al desarrollo de sustancias que aportan características antiestáticas a prendas de uso cotidiano. Se denotó que la aplicación de la metodología de búsqueda propuesta por Barbosa et al. (2013) permitió seleccionar los artículos de mayor

relevancia para la investigación. En primer lugar, se logró corroborar que muchos proyectos demuestran que se pueden fabricar textiles antiestáticos degradables, utilizando elementos como las partículas de tamaño nanométrico o micrométrico (nanopartículas de carbono, metálicas, cerámicas, etc.), dentro de una matriz polimérica (Cabello-Alvarado et al., 2019).

De hecho, los compuestos polímeros-partículas de diferentes tamaños, recientemente han abierto una opción para la elaboración de textiles técnicos; estos materiales se diseñan con la finalidad de que tengan propiedades isotrópicas y una buena compatibilidad entre la fase matriz y la fase de refuerzo. Existen diferentes formas de dispersar los aditivos y hacer interaccionar las fases presentes, algunos métodos como la funcionalización mediante diferentes técnicas y la dispersión de las partículas en el medio por procesos de fabricación o pretratamientos especiales.

En otras palabras, la obtención de textiles técnicos a partir de compuestos poliméricos y biodegradables, son aspectos claves para que estos productos tengan aceptación en diferentes mercados de prendas de uso cotidiano. Sin embargo, se reconoce que las evaluaciones pertinentes para determinar las propiedades fisicoquímicas y morfológicas de los textiles son de gran importancia para poder corroborar con las normas establecidas de calidad, apariencia, durabilidad y principalmente su aplicación.

Con respecto al estudio de las propiedades mecánicas de una prenda, la investigación de Gace (2000) desarrolla fibras antiestáticas a base de polímeros como poliamida natural y polipropileno, las cuales evidenciaron ser resistentes al corte, electro conductoras, protección de las radiaciones ultravioleta, electromagnéticas y radioactivas. También se mencionan fibras opacas a los rayos X y a la radiación del espectro visible, que generan calor o almacenan y liberan, así como fibras y textiles foto o termo-crómicos.

No obstante, además de los aspectos positivos mencionados a estas propiedades, se evidencia que aún debe profundizarse más y analizar los rangos de tolerancia de las prendas y revisar los recursos que demandan en función de la aplicabilidad de la prenda.

Adicional a lo anterior, se encontraron varias investigaciones que corroboran la favorabilidad del uso de textiles con agentes antiestáticos en industrias que trabajan con equipos electrónicos de alta tensión, los cuales, comúnmente ponen en riesgo a los operarios que los manipulan (Sierra et al., 2021).

Por ejemplo, cuando se descarga un material u objeto cargado próximo, se genera una chispa resultante que emite un campo electromagnético que se desplaza, y ocasiona una tensión RF y, por lo tanto, daños irreversibles en diversas partes de su equipo: ensucia los rodillos y los impide trabajar adecuadamente, también hace disminuir la velocidad de los trabajos con láminas, produce shocks eléctricos en el personal y en algunos casos ha sido responsables de incendios y explosiones. Por ese motivo ésta industria incorpora tejidos con baja triboelectricidad para impedir accidentes laborales.

Ahora, para verificar la atribución de estas propiedades en las prendas de uso cotidiano, se debe tener en cuenta que en el momento de evaluar el parámetro eléctrico que analiza el comportamiento del textil en la etapa de la disipación de la electricidad estática, es decir, “resistividad eléctrica”, pueden encontrarse dificultades para medirlo a través de procedimientos directos, ya que no existen aparatos para medir tan elevadas resistencias, por lo tanto, es necesario utilizar un método indirecto. Así pues, para poder realizar una comparación entre las diferentes medidas se ha tenido que definir una metodología de cálculo, ya que existen diferentes variables que influyen en el valor de la resistividad.

En particular, Ovejero (2014) detalla una metodología para determinar, en distintas condiciones ambientales, la resistencia eléctrica de los tejidos para así poder estimar el comportamiento de los diversos materiales textiles en relación con la electricidad estática. De aquí se considera que para un mejor estudio del fenómeno de la electricidad estática es conveniente dividirlo en tres apartados que son secuenciales: generación, acumulación y disipación de las cargas en un cuerpo.

Esto quiere decir que, a menor generación y/o mayor disipación menores serán los efectos producidos por la electricidad estática, que generalmente suelen ser negativos o molestos para el desarrollo de cualquier actividad. Igualmente, se ha identificado que la disipación de la electricidad estática es la etapa que más influye para que se dé este fenómeno y, por tanto, el estudio de las características eléctricas de los materiales textiles es de especial importancia para definir su magnitud.

Por otra parte, el parámetro eléctrico que evalúa el comportamiento del textil en la etapa de la disipación de la electricidad estática es la “resistividad eléctrica”. Este parámetro no se puede medir por procedimientos directos, ya que no existen aparatos para medir tan elevadas resistencias y por ello ha sido necesario utilizar un método indirecto. Para poder realizar una comparación entre las diferentes medidas se ha tenido que definir una metodología

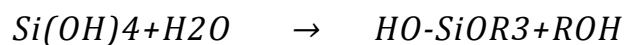
de cálculo, ya que existen diferentes variables que influyen en el valor de la resistividad.

De igual forma, se identificaron proyectos que abordan la aplicación de matrices poliméricas, estudian la generación de polímeros inorgánicos como matriz de soporte de agentes antiestáticos a partir de nanocompuestos de plata (AgNCs). Las AgNCs se aprovechan cada vez más gracias a sus propiedades que evitan el crecimiento bacteriano, además, se comprobó que el mecanismo propio de dichos nanomateriales, según Tacha (2020) se basa en la atracción electrostática entre la carga negativa de las bacterias y la carga positiva de las AgNCs.

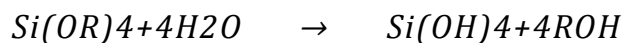
De hecho, su afinidad por los grupos sulfuro o fosforilados presentes en la membrana de las bacterias, son aspectos clave para su función biocida, las nanopartículas de plata (AgNPs) interfieren en las principales actividades del microorganismo: procesos de respiración celular, producción de especies activas de oxígeno (ROS) que envejecen prematuramente al organismo, sin dejar de lado el cambio en la permeabilidad de la membrana, aspectos que sumados causan la destrucción de los microorganismos y para los cuales, no se evidencia que el mismo genere resistencia.

Por otro lado, uno de los aportes más significativos de los proyectos encontrados, fue que es posible utilizar sustancias naturales dentro de los impregnantes estáticos para contribuir a las propiedades hidrofílicas, lo cual, favorece la absorción de humedad, y por consiguiente la disminución de la triboelectricidad. Para llevar esto a cabo en vestimenta de uso cotidiano, se debe analizar su comportamiento en diferentes fases y verificar su aplicabilidad en vestimentas, dado que esto representaría ahorro de recursos y extensión de la vida útil del material.

De esta manera, se considera que una de las metodologías más propicias para la elaboración de la red polimérica que brinda las propiedades antiestáticas a los textiles de uso común, es la establecida en el artículo Preparación de sol-gel y propiedades del codopado de Sn – Al electroconductor por Xu et al. (2021) la propuesta consiste en la aplicación de TEOS (Tetraetoxisilano) y el MTES (metiltriethoxisilano), los cuales son compuestos que permiten la formación de la red polimérica propia del sol de interés. El proceso de hidrólisis se explica a continuación por medio de la siguiente ecuación:



La hidrólisis puede ser catalizada por un medio ácido o básico y dependiendo de la cantidad de agua puede completarse; es decir que todos los grupos OR se reemplazan por OH.



También puede detenerse cuando el metaloide está parcialmente hidrolizado, dos moléculas hidrolizadas pueden unirse y hacer una reacción de condensación, esta reacción libera una molécula de agua y de alcohol. Finalmente, a partir de estas reacciones y por medio de la polimerización, se construyen moléculas cada vez más grandes y por orden de tamaño se denominan: polímero, oligómero y monómero, siendo el polímero la molécula más grande.

Ahora, para preparar la solución se presenta la Figura 7; en el procedimiento utilizan etanol (C₂H₅OH), TEOS (SiC₈H₂₀O₄), MTES ((C₂H₅O)₃ SiCH₃), ácido acético (CH₃COOH) y agua acidulada compuesta por ácido nítrico (HNO₃): Estos reactivos son adicionados gota a gota en un reactor con cuatro bocas de 250 ml en un baño de ultrasonidos a 20 kHz. En principio, se agrega el etanol y se somete a ultrasonidos durante 2 min, de modo que se sature la atmósfera con el alcohol para continuar con el proceso de preparación del sol. Posteriormente, se adiciona el TEOS (SiC₈H₂₀O₄) gota a gota y es sometido junto con el etanol a ultrasonidos durante 20 minutos; de la misma manera, se procede con los demás reactivos hasta obtener una mezcla totalmente homogénea.

En este proceso se emplea un precursor inorgánico y uno orgánico para el SiO₂ con los cuales es posible la formación de una red intercalada del polímero, el cual va a ser empleado como precursor del óxido de silicio que recubrirá las nanopartículas de hierro sintetizadas previamente, por consiguiente, se obtiene el mismo en una suspensión coloidal denominada sol. La modificación superficial tiene lugar en el horno de secado a una presión reducida durante 60 minutos a 55°C para luego someterle a un proceso de maduración durante 24 horas con el fin de garantizar un proceso de policondensación extensivo.

El sol preparado previamente, como se describe en el diagrama realizado, es susceptible a la humedad, por tal razón, se cambia el disolvente acuoso de las nanopartículas de hierro a uno alcohólico, con el fin de evitar la precipitación del óxido de silicio (SiO₂). Así pues, es necesario repetir el proceso de lavado realizado previamente para las nanopartículas de hierro, pero esta vez se emplea alcohol isopropílico (IPA) como agente de limpieza, en el cual las nanopartículas van a estar posteriormente disueltas, de igual forma, el proceso se lleva a cabo dos veces para garantizar el correcto cambio de medio en las mismas.

Posteriormente, se adicionan las nanopartículas de plata junto con 60 ml de alcohol isopropílico

en un reactor con cuatro bocas de 250 ml, en un baño de ultrasonidos a 20 kHz durante 5 minutos, posteriormente, se adiciona el surfactante cuya finalidad es reducir la tensión superficial presente en la suspensión, estabilizando la misma.

En seguida, son adicionados 60 ml del sol preparado previamente asistido por ultrasonidos a 20 kHz durante 15 minutos, luego se lleva al horno de secado a una presión reducida durante 60 minutos a 55°C, este proceso garantiza la formación de la capa de óxido 62 de silicio (SiO₂) biocompatible que tiene como función recubrir las NPIO protegiéndoles de procesos de oxidación posteriores. Finalmente, las partículas obtenidas son separadas de la dispersión madre por la interacción de ésta con un campo magnético.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de la investigación permitieron identificar que los avances tecnológicos que adelantan la industria textil para empresas del sector electrónico, aeroespacial y químico son de gran utilidad para evaluar su aplicabilidad en prendas técnicas de uso corriente. Entre ellas están la termorregulación, desarrollo de matrices antimicrobianas, protección contra los rayos UV y triboelectricidad. Sin embargo, se deben verificar las propiedades e investigar los tipos, materiales y las metodologías que son necesarias para determinar el desempeño óptimo, en función de la aplicabilidad de la prenda.

Figura 7.
Preparación sol-gel



Nota. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, es importante analizar detalladamente los recursos que demanda la generación de estos textiles porque, además, de sus costos elevados, la introducción en el mercado podría ralentizarse, por ese motivo, es importante hacer un estudio de mercado previo, que analice los escenarios de prueba, evalúe las proyecciones de costo-beneficio y compare los impactos ambientales, en el marco de los lineamientos de calidad y economía circular.

De igual manera, se identificó que ante el deterioro ambiental que la industria textil genera, se requiere que la obtención de estos textiles técnicos se dé a partir de aspectos clave como compuestos poliméricos y biodegradabilidad, ya que permitirán que los productos tengan aceptación en diferentes mercados.

En resumen, dentro de las perspectivas analizadas para la aplicación de agentes antiestáticos en prendas de uso diario, se determinó que el uso de la matriz polimérica sol-gel con sustancias naturales, es una de las más apropiadas y eficientes. En la preparación de este impregnante utilizan nanomateriales como el TiO₂, que es uno de los más atractivos para la funcionalización de textiles debido a sus propiedades estructurales, fisicoquímicas, ópticas y eléctricas únicas, su no toxicidad y su bajo costo.

Igualmente, el uso de las fibras textiles con nanopartículas y nano/microestructuras de TiO₂ favorece la autolimpieza fotocatalítica, la actividad antimicrobiana, la protección contra los rayos UV, la hidrofobicidad, la estabilidad térmica, la retardación de la llama y la conductividad eléctrica. Por consiguiente, se considera que la matriz polimérica sol-gel (TEOS) presenta los mecanismos que proporcionan las propiedades funcionales y técnicas que se buscan en las prendas de uso diario. Sin embargo, se debe considerar la influencia de varios factores en la funcionalidad de la matriz, dado que, según las investigaciones, se requiere evaluar la modificación de la superficie del TiO₂ para mejorar la actividad fotocatalítica con luz visible, como las heterouniones multifásicas, dopaje iónico, dopaje/carga de metales, acoplamiento con otros semiconductores y sensibilización superficial.

Este artículo presenta una perspectiva del mercado de textiles técnicos, en particular los antiestáticos, y se determina que existen varias metodologías que hacen viable su aplicabilidad para prendas de uso diario, tanto en la esfera económica como en la esfera ambiental.

Referencias bibliográficas

Barbosa, Jorge, Barbosa, J., & Rodríguez, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. Investigación Bibliotecológica,

27(61), 83-105. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-358X2013000300005&script=sci_abstract

Cabello-Alvarado, C., Caicedo-Cano, C., Melo-López, L., Andrade-Guel, M., Cruz-Delgado, V. J., & Ávila-Orta, C. A. (2019). Revisión de métodos para la obtención de textiles técnicos. textiles técnicos y su obtención. En *Rev. Iberoam. Polímeros y Materiales* (Vol. 19, Issue 3).

Carvajal, M. (2022). Así degrada la industria del fast-fashion al medioambiente | EL UNIVERSAL - Cartagena. <https://www.eluniversal.com.co/especial/edicion-verde/asi-degrada-la-industria-del-fast-fashion-al-medioambiente-CA6323307>

CONABIO. (2020). Fibras naturales | Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales> Ergonomía en el sector textil. (2021). <https://textil.ibv.org/el-proyecto/el-sector-textil/siniestralidad/>

Gace, J. (2000). Fibras de prestaciones específicas. <https://core.ac.uk/outputs/41788520>

Lockuán, F. (2013). La industria textil y su control de calidad. https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii_la_industria_textil_y_su_control_de_calidad

Madero, F., Reyna, E., Dávila, E., Martínez, J., Bueno, D., Raudry, C., Cruz, V., Gonzalez, P., Valdez, J., Esparza, M., Espinoza, C., & Rodríguez, J. (2010). Proceso continuo asistido por ultrasonido de frecuencia y amplitud variable, para la preparación de nanocompuestos a base de polímeros y nanopartículas (Patent N.o WO 2010/117253 A2).

Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment* 2020 1:4, 1(4), 189-200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>

Ovejero, R. (2014). Estudio del comportamiento de materiales textiles en relación con la electricidad estática. <https://doi.org/10.14201/gredos.127367>

Rashid, M. M., Simončič, B., & Tomšič, B. (2021). Recent advances in TiO₂-functionalized textile surfaces. *Surfaces and Interfaces*, 22, 100890. <https://doi.org/10.1016/J.SURFIN.2020.100890>

Sierra, E. (2000). NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas Protection contre l'électricité statique Protection against electrostatic discharges Redactores.

Sierra, S., Cáceres, P., & Pérez, M. (2021). Ropa de protección antiestática. https://previpedia.es/index.php/Ropa_de_protecci%C3%B3n_antiest%C3%A1tica

Tacha, M. (2020). Desarrollo de nanocompuestos de plata como agentes desinfectantes in-vitro maria camila tacha perez fundación universidad de américa facultad de ingenierias programa de ingeniería química.

Textor, T., & Mahltig, B. (2010). A sol-gel based surface treatment for preparation of water repellent antistatic textiles. *Applied Surface Science*, 256(6), 1668-1674. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2009.09.091>

Tovar, N., Martinez, J., & González, M. del C. (2018). La ropa inteligente, una importante aplicación de la nanotecnología. En *UNIVERSITARIOS POTOSINOS* (Vol. 225). <https://docplayer.es/93996510-La-ropa-inteligente-una-importante-aplicacion-de-la-nanotecnologia.html>

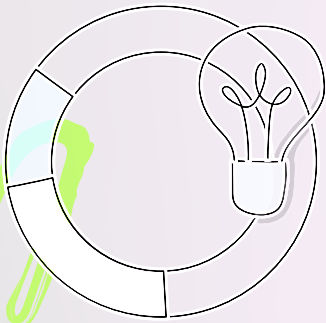
Union Europea. (2019). Environmental impact of textile and clothes industry.

Xu, Z., Zhu, Y., Pang, Z., & Ge, M. (2021). Sol-gel preparation and properties of electroconductive Sn-Al co-doped ZnO coated TiO₂ whisker and its applications in textiles. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 124. <https://doi.org/10.1016/J.MSSP.2020.105607>





Acercamiento a la identificación de la **tipología de busto de mujeres del Valle de Aburrá** para desarrollo de indumentaria.



*Approach to the identification of the
type of bust of women in the Valle de
Aburrá for making of clothing.*

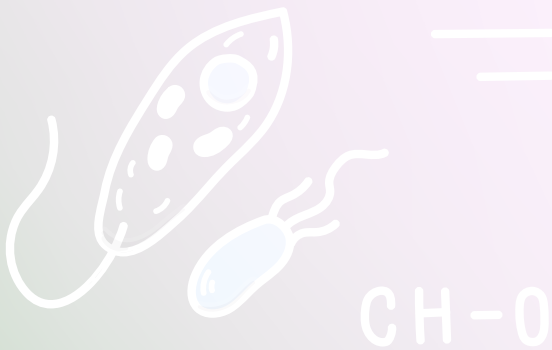
Jhon Fernando Jaramillo Taborda¹

Fabio Andrés Gaviria Londoño²

Sandra Velásquez³

Diego Giraldo⁴

Marisol Osorio Beltrán⁵



Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda
del Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Regional Antioquia:

1 Investigador en Moda - 2 Instructor - 3 Metodóloga de Normalización - 4 Profesor de Tiempo
Completo, Coordinador del Grupo de Materiales Poliméricos - 5 Dinamizadora Sennova

Resumen

ABSTRACT

Identificar la tipología de busto (forma, tamaño) debe ser una de las prioridades del mercado de ropa interior femenina, a fin de proponer productos más acordes a las necesidades reales de sus consumidoras. Esto tiene sentido, en tanto, la principal problemática para las usuarias, es la dificultad de encontrar en el mercado tallas de sostén que se ajusten a sus características físicas. De forma que, usar un sujetador, brasier o sostén que no sea de su talla, ni tenga la capacidad para el volumen de su busto, puede llegar incluso a ocasionar problemas de salud.

Tradicionalmente, para la construcción del sostén y la determinación de la talla y la copa más adecuada se tiene en cuenta la relación entre contorno submamario y contorno de busto, dejando de lado el volumen de la mama. Con base en lo anterior, se realizó un estudio antropométrico 3D con 46 mujeres del Valle de Aburrá del departamento de Antioquia, el cual permitió un acercamiento a la tipología de busto, permitiendo reconocer que no existe una relación directa entre el busto total y el tamaño de la copa ofrecido en el mercado.

Palabras clave:

Busto, medida, antropometría, 3D, escáner del cuerpo.

Identifying the type of bust - shape, size - should be one of the priorities of the women's underwear market, in order to propose products more in line with the real needs of its consumers. This makes sense since the main problem for users is the difficulty of finding bra sizes in the market that fit their physical characteristics. Therefore, wearing a bra that does not fit their size and does not have the capacity to accommodate the volume of their bust can even cause health problems.

Traditionally, for the construction of the bra and the determination of the most appropriate size and cup, the relationship between sub-mammary contour and bust contour is taken into account, leaving aside the volume of the breast. Based on the above, a 3D anthropometric study was carried out with 46 women from the Aburrá Valley of the department of Antioquia, which allowed an approach to the bust typology, allowing to recognize that there is no direct relationship between the total bust and the size of the cup offered in the market.

Keywords:

Bust, measurement, anthropometry, 3D, body scanner.

Introducción

Realizar un acercamiento para la identificación de la tipología de busto de las mujeres del Valle de Aburrá, a partir de un estudio de caso sobre la forma y el tamaño de éste, el cual hace parte de un proyecto de antropometría física que surge de la necesidad al reconocer la dificultad que presentan algunas mujeres a la hora de encontrar prendas de ropa interior superior acordes con sus necesidades reales. Esta problemática se presenta en doble vía, primero la falta de estandarización de tallas, pues los cuadros de medidas varían de marca en marca (Zheng et al. 2007); y segundo, la falta de claridad a la hora de determinar la talla y copa del este sujetador, brasier o sostén para que cumpla sus dos funciones primordiales, sostener y contener el volumen del busto, evitando así problemas de salud.

Este estudio de caso fue realizado por el Grupo de Investigación Aplicada a Moda y Diseño – INAMOD- del Centro de Formación en Diseño, Confección y Moda del SENA Regional Antioquia, con una muestra de 46 mujeres del Valle de Aburrá, utilizando un Body Scanner 3D para la toma de medidas, en concordancia con los hallazgos realizados por diversos autores sobre la efectividad de la toma de medidas 3D sobre la toma de medidas manual en cuanto a la exactitud de las mismas, lo cual es preponderante para poder garantizar que el sostén tenga la capacidad adecuada para el busto.

Dicho interés va en concordancia con que actualmente la industria del vestuario se está inclinando por la personalización, pasando de vestir grandes masas de personas a atender las necesidades reales y específicas de cada consumidora, lo que implica conocer los cuerpos de estas.

Marco teórico

Una de las partes del cuerpo femenino en la que se hace mayor énfasis es el busto, el tamaño, la forma, ¿cómo mejorar su apariencia desde el diseño de vestuario y las intervenciones quirúrgicas?. Poder identificar la tipología de busto –volumen, forma, tamaño- es una de las prioridades del mercado de ropa interior femenina, pues esta información debería influir en la generación de propuestas de diseño más acordes a las necesidades reales de sus consumidoras,

pues usar un sujetador, brasier o sostén que no sea acorde a su talla y volumen, puede llegar incluso a ocasionar problemas de salud al no cumplir una de sus funciones principales que es la de sujetar o ayudar a sostener el peso del busto. Dixon y Sainsbury (1993), Madera et al. (2008) y Chen et al. (2010) aseguran que cuando el ajuste del sostén no es el adecuado puede conducir a problemas en la columna vertebral, dolor de la pared torácica posterior, mal drenaje linfático entre otras.

En la construcción del sostén, se tiene en cuenta la relación entre contorno submamario y contorno de busto para determinar la talla y la copa más adecuada para la usuaria. Rong Zheng, Winnie Yu, Jintu Fan (2007), en su artículo Development of a new chinese bra sizing system based on breast anthropometric measurements afirman que el método tradicional para la toma de estas medidas no es fiable al no tener presente el volumen del seno para determinar la talla y copa del sujetador y quedarse en correlaciones lineales. Dentro de los factores que los autores identificaron de la falta de fiabilidad en la toma de medidas manual responden a que la cinta métrica puede deslizarse, en el caso de las mujeres plus sizes se dificulta la ubicación de la submamaria por los pliegues de piel lo cual puede inferir considerablemente en la toma de estas y alterar el resultado al no ser un proceso 100% estandarizado. A esto se le suma que el cuadro de tallas puede variar entre las marcas que ofrecen este tipo de productos (Zheng et al. 2007).

Ligado a lo anterior, Young (1995), Lipton (1996) y Boyes (1996) en sus estudios informaron que el 70% de la población femenina del Reino Unido, especialmente las mujeres de pechos grandes usaban un sostén de talla incorrecta. Pechter (1998) encuestó a 100 mujeres de las cuales el 77 % usaban el sujetador de tamaño incorrecto. Esto evidencia la falta de un método confiable para medir el tamaño de la mama con precisión (Schlonski, 2001).

Ante la identificación de dicha problemática se han realizado varios estudios encaminados a implementar nuevos métodos de medición del volumen del busto: radiografías, imágenes computarizadas, entre otros, (Sigurdson y Kirkland, 2006; Mahmoud et al., 2007) que tengan en cuenta otras áreas del busto para determinar su tamaño. De dichos métodos, el 3D Body Scanner se ha convertido en una de las alternativas con mayor ventaja por su nivel de confiabilidad y la facilidad para acceder a los datos. Si bien la mayoría de estos estudios se han desarrollado enfocados al mundo de la cirugía plástica, cobran relevancia en el campo del diseño y patronaje.

Los autores McGhee, D. E., Ramsay, L. G., Coltman, C. E., Gho, S. A., & Steele, J. R. (2018) , en su estudio Bra band size measurements derived from three-dimensional scans are not accurate in women with large, ptotic breasts realizan un estudio comparativo entre la toma de medidas de manera tradicional y el uso de métodos 3D para determinar el tamaño del busto a 111 mujeres entre los 21 y los 56 años de edad identificando que no hay un patrón de correlación entre el aumento del tamaño del busto y el aumento de talla, al comparar las medidas de ambos métodos, la extracción digital arrojaba medidas menores.

Algo similar a lo que concluyen Zheng et al. (2007). Al realizar un estudio antropométrico con 176 mujeres de talla grande en Sudáfrica se obtuvo que, al comparar la medida de ambos métodos, la relación entre submamario y contorno de busto, era un 11% más pequeño en la medición digital con relación al método manual. Se concluyó que para determinar el volumen del busto era más acorde utilizar la medida de longitud de busto, prominencia de busto y el volumen del cuadrante ($r = 0.81$) y no el contorno del busto tradicional.

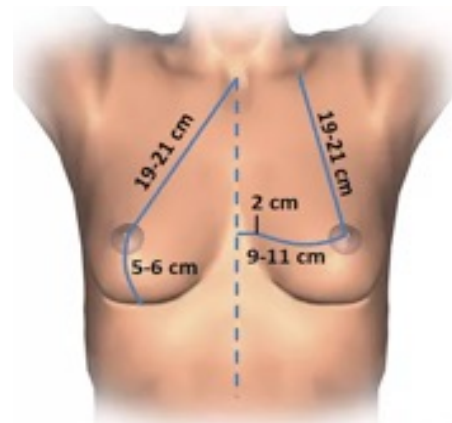
Petcher (1999) en Method of bra size determination by direct measurement of the breast propuso la determinación del tamaño de la mama mediante la medición horizontal directamente sobre los pechos individuales, para aplicaciones en la cirugía plástica, una medición determinando las copas de la siguiente manera: de 7 pulgadas serían una copa 'A', 8 pulgadas igual a una copa 'B' y así sucesivamente. Sin embargo, la forma y distribución de tejidos en mujeres de grandes pechos son diferentes al de las mujeres de pecho pequeño.

Por su parte Yu Liu et al. (2017) en Study of optimum parameters for Chinese female underwire bra size system by 3D virtual anthropometric measurement un estudio exploratorio para determinar el sistema óptimo de tallas de sostén para mujeres chinas, realizó un análisis con 275 mujeres, de las cuales tuvieron en cuenta 108 parámetros de medida. Se determinó que el valor del ancho del pecho (distancia recta desde el punto más interno al punto más externo del seno) debe ser añadido a los parámetros fundamentales para clasificar la forma del seno y para crear un cuadro de tallas totalmente nuevo para la fabricación de ropa interior femenina.

Catanuto et al. (2008). Centran su estudio en delimitar el busto en cuatro cuadrantes de referencia y que pueden ser identificados por las herramientas del 3D Scanner. Los cálculos generados se basan en el área de la superficie total del busto y en una subunidad de la mama (cuadrante).

En concordancia con lo anterior, el doctor Julio Eusse, especialista en cirugía plástica y estética (comunicación personal, mayo de 2019), afirma que para determinar la forma del busto éste se debe entender desde su composición interna y su conformación por cuadrantes que son nombrados en sentido horario: superolateral, inferolateral, inferomedial y el polo superomedial. La proporción de cada uno de los cuadrantes será un factor para determinar la forma del busto y por ende el tamaño de la copa. Dentro de los puntos fundamentales que se tienen en cuenta en el campo de la medicina y la cirugía estética para la caracterización del busto, hay siete zonas que permiten identificar la tipología del busto. Dichas medidas analizan el busto en relación con el cuerpo para hallar la proporción ideal con respecto a sí mismo a partir de la relación geométrica con un triángulo equilátero que se posicionaría en la distancia entre pezones o separación de busto y la horquilla clavicular. El canon de proporción es que esta distancia sea entre 19 y 21 cms aproximadamente, como se observa en la figura 1 y se amplía en la tabla 1.

Figura 1.
Medidas ideales de la mama.



Nota. Tomada de Olivas (2017). <https://www.cirurgiasdelamama.com/analisis-estetico>.

Es recurrente que muchas de las mujeres expresen molestias a la hora de seleccionar la talla correcta para su brasier, pues no se cuenta con una estandarización de estas y muchas veces se deja de lado el volumen de la copa. Dicha realidad puede incluso ocasionar problemas de salud en las usuarias por usar la talla incorrecta o incluso algunas no encuentran una talla que responda a sus necesidades. Según un estudio realizado en 2018 por el portal web blitzresults.com, identificó que el 20% de las mujeres usan un brasier demasiado pequeño, un 26% tiene problemas con el ajuste del brasier pues les toca usar tallas más grandes a las correspondientes a su morfología porque no encuentran opciones en el mercado. Sumado a eso, el 74% de las

Tabla 1.
Canon de proporción de las mamas.

Medida	Descripción
Horquilla - pezón	Distancia entre la horquilla supraesternal y el pezón. Suele tener una distancia entre 19 y 21 cm. Distancias mayores podrían deberse a ptosis de la mama
Pezón - Surco	Distancia entre el surco submamario y el pezón, con un valor entre los 5 y 6 cm.
Pezón - línea media	Línea horizontal que une el pezón con la línea media del tórax, y que presenta un valor entre 9 y 11 cm.
Espacio Intermamario	Región que separa ambas mamas en la línea media. Una distancia normal se sitúa entre los 2 y 4 cm. La ausencia de este espacio, y por tanto la falta de separación entre las mamas se conoce como sinmastia.
Eje de la mama	Está formado por la línea que une la mitad de la clavícula con el pezón. Suele tener una longitud de unos 19-21 cm en mamas jóvenes.
Base de la mama	Suele coincidir con la línea axilar anterior y la línea paraesternal (línea que prolonga el límite lateral del esternón).
Altura de la mama	Suele estar entre la 2ª y 6ª costilla.
Triángulo de las mamas	Triángulo equilátero cuyos vértices son la horquilla supraesternal y los pezones.

Nota. Elaboración propia basado en Olivas (2017).

mujeres encuestadas indicó que la forma de determinación de la talla a partir de la relación entre contorno de busto y submamario para la determinación de la copa y la talla, era un sistema confuso (Blitzresults, 2018).

El diseño, la talla y el material del brasier deben ser seleccionados cuidadosamente para que la prenda cumpla las funciones para las cuales es utilizado: contener y sujetar el volumen de la mama.

Otra consideración respecto al diseño del sujetador es que, de ser posible, se intenten elegir modelos en los que los tirantes estén centrados a la altura del pezón, ya que es la zona donde se concentra más el peso y, por tanto, donde se requiere una mayor sujeción (Blitzresults, 2018).

Así pues, este es un problema en doble vía, primero para las usuarias que no encuentran soluciones a sus necesidades y segundo, por parte de las empresas productoras de ropa interior femenina quienes podrían responder mejor a las necesidades reales de las consumidoras, incrementando sus ventas.

Esta realidad no es ajena a la mujer colombiana. En 2017, el Grupo de Investigación Aplicado al Diseño de Moda (INAMOD), realizó un estudio antropométrico 3D para la determinación de tallas y tipología corporal de las mujeres del Valle de Aburrá en el departamento de Antioquia con una muestra de 776 mujeres; en este estudio se identificaron 7 tipologías de cuerpo. Basados en la metodología de formulación de tablas de medidas propuesta por la norma ISO 85593 de 2017, se propusieron 4 tablas de medidas y tallas

de los grupos poblacionales en cuestión, con el fin de conocer las necesidades de las consumidoras de vestuario y la posibilidad de evidenciar el problema de la estandarización de las tallas en el mercado. Este problema también se evidencia en el sector de la ropa interior, en especial en el diseño y producción de brasier, por lo cual se vuelve imperante identificar la tipología de busto de dichas mujeres a partir de un estudio de caso.

Actualmente la industria de la indumentaria se está inclinando por la personalización del vestuario, pasando de vestir grandes masas de personas a atender las necesidades puntuales de individuos. Esto se puede lograr por medio del empleo de herramientas digitales que facilitan los procesos.

Método

Herramienta: 3D Body Scanner-

Es una herramienta tecnológica – hardware– que cuenta con 12 sensores, distribuidos en cuatro torres, que por medio de luz infrarroja produce una representación gráfica del cuerpo humano denominado “avatar”, determinado por una serie -nube- de puntos sobre los cuales se trazan algunas medidas antropométricas específicas empleadas para el diseño de prendas de vestir en la industria de la confección. Para su utilización, se hace indispensable el conocimiento de las diferentes medidas requeridas para la confección y así poder editar o establecer las variables a tener en cuenta al momento de generar los extractos de medidas a estudiar, dado que el software provee la posibilidad de reportar diferentes cuadros de medidas según los requerimientos.

Muestra:

Se realizó un estudio de caso con 46 mujeres distribuidas de la siguiente manera en rangos que varían de 5 cm partiendo de la base del contorno de busto, como se ve en la tabla 2.

Avatar 3D y medidas:

Por medio del 3D Body Scanner se procedió a la toma del avatar de cada una de las mujeres en ropa interior, con el cabello totalmente recogido y descalzas. El software arroja sus respectivas medidas -inicialmente 77-, que van desde el contorno de cuello a contorno de cintura.

Tabla 2.
Distribución de la muestra de mujeres según contorno de busto.

Rango	Mujeres
80 - 85 cm	2
86 - 90 cm	6
91 - 95 cm	10
96 - 100 cm	10
101 - 105 cm	8
106 - 110 cm	6
111 - 115 cm	3
116 - 120 cm	1

Nota. Elaboración propia.

Las mediciones se tomaron con y sin brasier, para el estudio de caso se determinó trabajar con la muestra sin brasier. Luego de hacer un filtro a partir del canon de proporción de las mamas, se identificaron tres medidas determinantes para caracterizar la tipología del busto: cateto izquierdo, cateto derecho (distancias horquilla-pezones -izquierda y derecha-) y separación de busto, además del uso de contorno torácico o submamario para determinar la talla y la relación contorno de busto-talla para definir el volumen.

Análisis y correcciones de avatares

Luego de tener la base de datos arrojada por el software del scanner se procedió al análisis detallado de cada uno de los datos arrojados, esto con el fin de poder detectar alguna inconsistencia en la información y poderla corregir mediante la modificación de la ubicación de los puntos.

Tabla 3.
Dimensiones femeninas para el estudio de caso

Medida	Descripción
Busto total	Contorno de busto tomado por la parte más prominente del busto de manera horizontal.
Sub mamario	Contorno total debajo del busto, o contorno torácico, tomado horizontalmente.
Talla	Equivalente al contorno submamario en pulgadas más tres (3) pulgadas.
Copa	Diferencia entre contorno de busto menos la talla, llevado a tabla de equivalencia en pulgadas (ver Tabla 5).
Hipotenusa	Separación de busto o distancia de pezón (ápex) a pezón (ápex). (el ápex o pivot —punto más alto del busto— no necesariamente coincide con el pezón en todas las mujeres).
Cateto izquierdo y cateto derecho	Distancia de la horquilla o manubrio clavicular al pezón, pivot o ápex.

Nota. Elaboración propia.

Figura 2.
BodyScanet 3D TC2



Nota: Elaboración propia

Resultados y análisis

A diferencia de los trabajos abordados en el estado de las cosas, en los que se toma como referencia una serie de medidas estandarizadas, en el presente estudio de caso se tomaron como punto referencial, las dimensiones y proporciones de cada una de las mujeres de la muestra con respecto a sí misma, como se ve en la Tabla 3.

Para la caracterización, se compararon ambos catetos izquierdo y derecho- y la hipotenusa entre sí. Si la diferencia resultó:

- Menor o igual a menos dos (≤ -2) se llamó corto (para los catetos) o corta (para la hipotenusa)
- Mayor o igual a dos (≥ 2) se llamó largo (para los catetos) o amplia (para la hipotenusa)

- Mayor o igual a menos uno punto nueve ($\geq 1,9$) y menor o igual a uno punto nueve ($\leq 1,9$) se llamó proporcional (tanto para catetos como para hipotenusa).

De la combinación entre las dos variables (catetos e hipotenusa) resultaron cinco (5) tipologías de busto en las mujeres de la muestra, así (presentando primero los catetos y luego la hipotenusa):

- Proporcional, proporcional (PP): La diferencia entre las tres medidas es proporcional, es decir, el triángulo es equilátero, Ver figura 4.

Figura 3.

Tabla de medidas mujeres de la muestra, 2019

busto total	submamario	talla	diferencia	copa	cateto izquierdo	cateto derecho	hipotenusa
81,63	71,10	31	1,1	A	17,64	17,48	18,78
85,98	74,55	32	1,5	A	21,46	22,04	17,55
86,38	76,51	33	0,9	AA	19,37	18,46	19,30
86,59	72,25	31	2,6	B	21,30	22,63	20,88
88,34	79,37	34	0,5	AA	23,13	23,88	19,53
89,64	75,59	33	2,5	B	24,05	24,77	22,55
89,87	77,02	33	2,1	B	22,48	22,39	18,33
90,10	80,17	35	0,9	AA	20,30	20,78	17,92
91,26	80,24	35	1,3	A	24,10	23,19	17,27
91,84	81,97	35	0,9	AA	24,78	24,76	14,32
92,17	83,62	36	0,4	AA	23,01	22,71	21,57
92,42	80,54	35	1,7	A	24,93	25,42	18,93
92,70	83,44	36	0,6	AA	19,54	18,81	18,19
93,52	80,26	35	2,2	B	22,68	21,12	24,02
95,57	82,25	35	2,2	B	24,31	24,00	18,51
96,35	81,50	35	2,8	B	25,13	24,83	16,79
96,59	86,18	37	1,1	A	22,15	21,15	18,69
97,27	82,61	36	2,8	B	22,97	23,35	15,60
97,62	81,71	35	3,3	C	23,06	23,70	22,02
97,90	87,78	38	1,0	AA	23,79	23,07	21,28
98,28	86,84	37	1,5	A	25,12	24,59	18,90
98,98	87,04	37	1,7	A	23,50	23,60	19,98
99,08	84,87	36	2,6	B	22,93	21,65	18,17
99,55	89,06	38	1,1	A	24,44	24,45	19,91
99,72	90,19	39	0,8	AA	26,55	26,61	19,52
100,08	80,29	35	4,8	D	27,81	28,43	17,90
101,18	83,24	36	4,1	D	24,53	25,54	23,32
102,16	84,10	36	4,1	D	26,79	26,59	25,18
102,29	85,91	37	3,4	C	24,90	24,76	21,36
102,70	84,11	36	4,3	D	28,69	27,43	23,71
102,77	84,33	36	4,3	D	17,02	15,41	19,80
103,26	95,31	41	0,1	AA	25,45	25,96	19,75
103,92	90,28	39	2,4	B	23,18	22,42	21,67
104,13	89,79	38	2,6	B	26,72	26,96	18,09
104,84	94,14	40	1,2	A	28,48	28,75	19,98
105,90	91,81	39	2,5	B	22,41	22,47	19,94
106,50	91,36	39	3,0	F	25,46	25,80	15,98
107,97	91,63	39	3,4	C	27,95	28,07	22,80
108,32	90,56	39	4,0	F	27,15	27,32	20,58
108,82	91,48	39	3,8	C	28,39	28,58	27,40
109,27	92,92	40	3,4	C	28,58	28,27	20,30
109,34	95,90	41	2,3	B	25,85	25,07	23,01
111,74	94,25	40	3,9	C	28,26	27,94	19,87
113,72	96,19	41	3,9	F	28,58	28,34	19,91
114,52	97,03	41	3,9	C	29,60	27,70	40,67
119,71	105,72	45	2,5	B	26,58	26,08	19,18

Nota. Elaboración propia.

Figura 4.
Tipología de busto Proporcional - Proporcional (PP)



Nota: Elaboración propia en Software Optitex 12

Figura 5.
Tipología de busto Proporcional - Cota (PC)



Nota: Elaboración propia en Software Optitex 12

Figura 6.
Tipología de busto Proporcional - Proporcional (PP)



Nota: Elaboración propia en Software Optitex 12

Figura 7.
Tipología de busto Largo - Corta (LC)



Nota: Elaboración propia en Software Optitex 12

Figura 8.
Tipología de busto Corto - Amplia (CA)



Nota: Elaboración propia en Software Optitex 12

Tabla 4.
Distribución de muestra por tipología.

Tipología	total
Proporcional, proporcional	17
Largo, Corta	15
Proporcional, corta	12
Largo, amplia	1
Corta, amplia	1

Nota: Elaboración propia

Copa	Diferencia en pulgadas	total mujeres
AA	6	9
A	7	9
B	8	13
C	9	7
D	10	5
F	11	3

Figura 9.
Distribución de muestra por tipología.



Nota: Elaboración propia

Conclusiones y recomendaciones

El estudio deja ver la necesidad de confeccionar sujetadores que se adapten a la anatomía de las mujeres, es decir, que tengan una relación real entre la copa y el tamaño de la mama. Lo que afirma la molestia expresada por las mujeres de la muestra a la hora de comprar sostén, ya que las marcas tienden a estandarizar un solo tamaño de copa (copa B) y variar solo en la talla.

Se observa que no existen una relación directa entre el busto total y el tamaño de la copa, ya que una mujer de talla 40 no necesariamente tiene un volumen grande de busto, ni viceversa.

El estudio arrojó 5 tipologías de busto a partir del análisis proporcional entre la medida de catetos e hipotenusa con relación al mismo cuerpo. Esto permite a la industria conocer mejor a su consumidora y generar prendas acordes a los cuerpos reales. Se recomienda continuar con un estudio sobre la forma volumétrica de cada una de las mamas de manera independiente, con el fin de desarrollar mejor los tipos de copa.

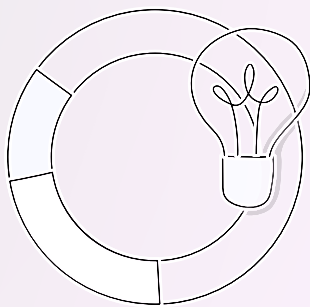
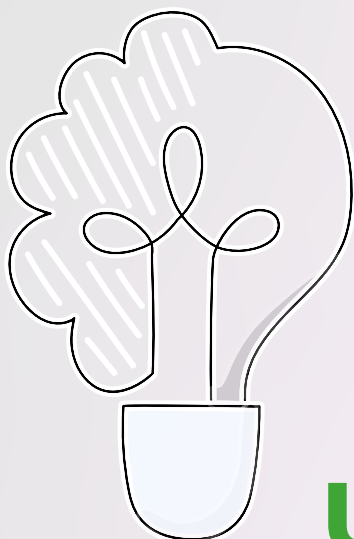
Al hacer el análisis de los datos se recomienda tener en cuenta las tallas intermedias, es decir, no solo las tallas pares (30, 32, 34, 36...) como actualmente lo hace la industria de la indumentaria interior. Una forma de solucionar esto es extendiendo el sujetador en su base por la espalda alargando la zona de los broches, ubicando más graduadores lo que permite abarcar así las tallas impares.

Este estudio de caso es un primer acercamiento que podrá ser insumo de proyectos de mayor envergadura, con muestras más amplias permitiendo resultados más representativos.

Referencias bibliográficas

- Blitzresults. (2018). Tallas de sujetador. <https://www.blitzresults.com/es/tallas-de-sujetador/>
- Catanuto, G., et al., 2008. Experimental methodology for digital breast shape analysis and objective surgical outcome evaluation. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*, 61 (3), 314–318
- Chen, C.-M., LaBat, E., and Bye, E., 2010. Physical characteristics related to bra fit. *Ergonomics*, 53 (4), 514–524.
- Dixon, M. and Sainsbury, J., 1993. *Handbook of diseases of the breast*. London, UK: Churchill Livingstone.
- Olivas. (2017). Análisis estético. Proporciones, medidas, tallas, horquilla-pezones. Análisis Estético de La Mama. <https://www.cirugiasdelamama.com/analisis-estetico>.
- McGhee, D. E., Ramsay, L. G., Coltman, C. E., Gho, S. A., & Steele, J. R. (2018). Bra band size measurements derived from three-dimensional scans are not accurate in women with large, ptotic breasts. *Ergonomics*, 61(3), 464–472. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1349936>
- Yu Liu, Jianping Wang & Cynthia L. Istook (2017) Study of optimum parameters for Chinese female underwire bra size system by 3D virtual anthropometric measurement, *The Journal of The Textile Institute*, 108:6, 877–882
- Zheng, R., Yu, W., and Fan, J., 2007. Development of a new Chinese bra sizing system based on breast anthropometric measurements. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37 (8), 697–705.





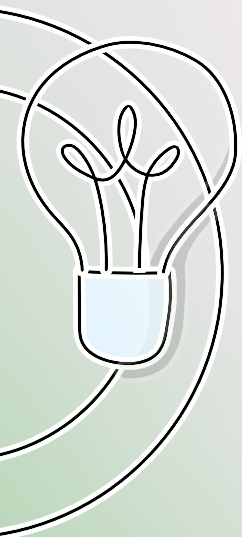
SENNA

Uso de STF en textiles

para elementos de
protección antipunzón

*Use of STF in textiles for
puncture protection elements*

Angélica Margoth Quiroga Barreto*



Resumen

ABSTRACT

En la industria manufacturera y de seguridad, existe el riesgo de lesiones por objetos cortantes o punzantes en sectores como la confección, metalmecánica, salud, veterinaria y construcción, debido a que el personal manipula herramientas con filo o punta. Los agentes de la policía y la milicia, al igual que de la correccional, también se ven expuesto a lesiones con arma blanca u objetos cortopunzantes. En ambos casos, se pueden ocasionar heridas fatales, generar incapacidad permanente o temporal y traumas que les impidan desempeñar sus funciones. Por este motivo, es indispensable el uso de elementos de protección personal resistentes a punción para mitigar el riesgo de accidentes ocupacionales.

Mediante el uso de nanotecnología, se ha logrado funcionalizar textiles para elementos de protección personal, confiriéndoles características excepcionales sin afectar su apariencia ni sus propiedades mecánicas. En este estudio, se dan a conocer los avances en el uso de fluidos de engrosamiento por esfuerzo cortante con nanopartículas de sílice, para aplicaciones antipunzón en textiles técnicos. Se tiene en cuenta la influencia de diferentes variables de proceso para la obtención del STF (Shear Thickening Fluid) y el método de impregnado en el textil, a partir de la recopilación de diferentes hallazgos en investigaciones realizadas alrededor del mundo mediante el análisis bibliométrico.

Palabras clave:

Antipunzón, aramida, dióxido de sílice, elemento de protección personal, Kevlar®, nanopartícula, nanotecnología, STF.

In the manufacturing and security industry, there is a risk of injuries caused by sharp or pointed objects in sectors such as clothing, metalworking, health, beauty and construction, due to the fact that personnel handle sharp or pointed tools. Police and military officers, as well as correctional officers, are also exposed to stab and sharps injuries; In both cases, this can cause fatal injuries, permanent or temporary disability and trauma that prevent them from performing their duties. For this reason, the use of puncture-resistant personal protection elements is essential to mitigate the risk of occupational accidents.

Through the use of nanotechnology, it has been possible to functionalize textiles for personal protection elements, giving them exceptional characteristics without affecting their appearance or their mechanical properties. In this study, advances in the use of shear thickening fluids with silica nanoparticles for anti-puncture applications in technical textiles are reported. The influence of different process variables is taken into account to obtain the STF (Shear Thickening Fluid) and the impregnation method in the textile, based on the compilation of different findings in investigations carried out around the world through bibliometric analysis.

Keywords:

Puncture resistance, aramid, silica, personal protection element, Kevlar®, nanoparticle, nanotechnology, shear thickening fluid.

Introducción

El uso de elementos de protección personal (EPP), es indispensable para mitigar el riesgo de accidentes ocupacionales en la industria manufacturera y de seguridad, causados por la manipulación de instrumentos y equipos, el traslado dentro espacios con movilidad reducida o la presencia de objetos peligrosos en el área de trabajo. Uno de estos riesgos, implica la posibilidad de desarrollar enfermedades infecciosas por lesiones graves con objetos cortopunzantes (Ind & Jeffries, 1999).

En los sectores industriales de la confección (Ind & Jeffries, 1999), metalmecánica (Elles et al., 2018) y construcción (Birhane et al., 2020), los accidentes con objetos puntiagudos (puntillas, agujas, cuchillas, tijeras, entre otros), pueden ocasionar enfermedades bacterianas como el tétanos, que ingresa al cuerpo a través de un corte profundo o el estreptococo que puede provocar una infección necrosante, con pérdida de miembros del cuerpo o fatalidad.

Por su parte, los prestadores de servicios de aseo (Oza et al., 2022), salud y belleza (Auta et al., 2018), se encuentran expuestos a lesiones percutáneas que pueden derivar en el contagio de enfermedades virales como VIH, Hepatitis B y Hepatitis C, ocasionadas por la manipulación de agujas contaminadas biológicamente. Los prestadores de servicios veterinarios (Epp & Waldner, 2012) se enfrentan al contagio de enfermedades zoonóticas por el mismo mecanismo de punción y por mordidas de animales.

Adicional a los riesgos en la industria, en temas de seguridad ciudadana en el país, el hurto a personas representa el 38% de las modalidades delictivas que más preocupan a los habitantes del Distrito Capital, y de acuerdo con la encuesta realizada por la Cámara de Comercio de Bogotá, en el 40% de los asaltos, el agresor usó un arma blanca (Cámara de Comercio de Bogotá, 2021). La inseguridad en el país a consecuencia de la delincuencia común, también implica que el personal de la fuerza pública, vigilancia y guardia penitenciaria y carcelaria, se encuentre más expuesto a este tipo de agresión, lo que traduce en incapacidades, discapacidades y asesinatos dentro de las instituciones de defensa (Coca Muñoz & Thomas Argueta, 2017).

Por lo anterior, los elementos de protección personal desempeñan un papel importante en

garantizar la integridad de quien los usa, y los avances tecnológicos son indispensables para motivar su uso adecuado.

Actualmente, existe una amplia variedad de elementos de protección personal contra objetos cortopunzantes; los cuales están elaborados con materiales resistentes como fibra de polietileno, poliuretano, Nylon® o aramida (Yang et al., 2016), nitrilo reforzado, látex o hule (Villano et al., 2017), fibra de vidrio (Shi et al., 2021), cuero o lona (Memon et al., 2020) y grafeno (Bhattacharjee et al., 2019).

Sin embargo, los tejidos elaborados con materiales técnicos como el Kevlar® o el Nomex® a partir de fibra de aramida, se enfrentan al desafío de resistir el impacto de una puñalada en un área de contacto pequeña, ya que la punta genera que los hilos se separen y entre con relativa facilidad, adicional al corte que causa el filo, conllevando a una falla en la onda de disipación de la energía en el impacto a baja velocidad (Wang, 2016).

Para mejorar las propiedades mecánicas de los tejidos y hacerlos más resistentes a la punción, es necesario usar textiles de alta densidad (más de 12 hilos de trama/cm), en comparación de los usados en balística que son de baja densidad por someterse a un impacto en un área de contacto más grande (7-9 hilos de trama/cm) (Wang, 2016).

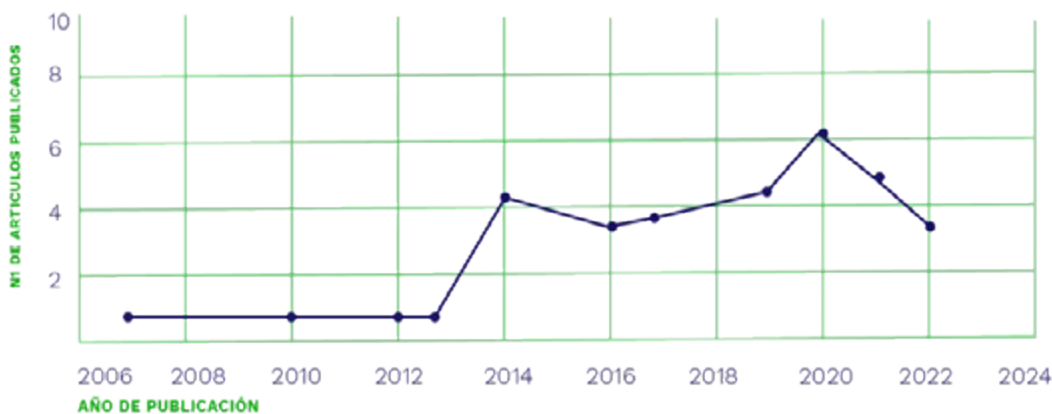
Adicional, para conferir esta propiedad al elemento, es necesario reforzar la fibra de Kevlar® con Nylon®, fibra de vidrio, resinas o hule, ocasionando que aumente su volumen y disminuya su flexibilidad (Dong et al., 2010).

El peso y el rendimiento, en cuanto a nivel de protección, son las variables críticas para utilizar un material en elementos de protección anticorte y antipunzón (Dong et al., 2010). Por lo tanto, es fundamental usar nuevas tecnologías para evitar el uso de recubrimientos o multicapas en textiles destinados a esta aplicación.

Mediante el uso de Nanotecnología, se ha logrado funcionalizar tejidos para la fabricación de EPP, mejorando la rigidez al corte y la perforación, disminuyendo el peso y el calibre (Abed & Jawad, 2022). A diferencia de otros aditivos, los recubrimientos con nanomateriales no forman una capa superficial sobre la tela, sino que interactúan íntimamente con el textil tratado, confiriéndole propiedades de resistencia y mayor durabilidad (Campos, 2014). Esto permite incorporar nanopartículas en el tejido sin afectar significativamente sus propiedades físicas como suavidad, acabado, flexibilidad y caída (Quintili, 2012).

Para esta aplicación específica (anticorte y

Figura 1.
Producción científica de artículos relacionados con el tema central



Nota. Autoría propia - biblioshiny

antipunzón), las nanopartículas se adhieren al tejido mediante el uso de un STF (Shear Thickening Fluid) o fluido de engrosamiento por esfuerzo cortante, que se caracteriza por ser una dispersión coloidal que exhiben un aumento abrupto de la viscosidad cuando la tasa de corte o la tensión aplicada se encuentran por encima de un valor crítico (Ding et al., s.f).

En este estudio, se da al conocer los avances en el uso de fluidos de engrosamiento por esfuerzo cortante, para aplicaciones antipunzón en textiles técnicos. Se tiene en cuenta la influencia de diferentes variables de proceso para la obtención del STF y el método de impregnado en el textil, a partir de la recopilación de diferentes hallazgos en investigaciones realizadas alrededor del mundo utilizando técnicas bibliométricas.

Metodología

Se revisaron investigaciones publicadas entre los años 1999 a 2022, sobre elementos de protección personal antipunzón a partir de textiles

técnicos funcionalizados con STF, con el objetivo de recopilar la información y reconocer los aspectos relevantes para la obtención de estos. En una primera etapa, como fuente de información inicial, se utilizó Web of Science, y se obtuvieron 121 resultados ordenados por relevancia a partir de la ecuación (“puncture resistance” OR stab resistance) AND (textile OR fabric) AND (STF OR “shear thickening fluid”) (“body armour”).

A partir de esta búsqueda, se realizó el análisis bibliométrico mediante el uso de la herramienta Biblioshiny de Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017); se encontró que se han realizado publicaciones relacionadas en 24 revistas científicas con un promedio de 4,09 artículos por año entre 2007 y 2022.

En la Figura 1, se puede observar que en los últimos 3 años hay un creciente interés en la investigación de los STF en textiles con aplicaciones antipunzón, con una tasa anual de crecimiento del 17,46% y en la Figura 2 se encuentra la red de coocurrencia y las palabras clave más relevantes dentro de las publicaciones revisadas.

Figura 2.
Red de coocurrencia y palabras clave



Nota. Autoria propia - biblioshiny



En la Figura 3, se encuentra que los países en que más se realiza producción científica relacionada son: China en primer lugar con 71 artículos, seguido de Irán con 24, Turquía con 15 e India con 14, y en menor medida Corea del Sur, Estados Unidos, Brasil, Lituania, Polonia y el Reino Unido. Teniendo en cuenta la relevancia de los artículos analizados mediante el uso de Bibloshiny, se usa la herramienta Tree of Science para definir los artículos seminales de los originales de interés (20 publicaciones), los artículos donde se hicieron las primeras aplicaciones del tema (20 publicaciones) y los que sintetizan la información relacionada con los hallazgos más recientes (14 publicaciones).

Finalmente, a partir de la lectura rápida del resumen de cada artículo, se seleccionaron los que eran más acordes al tema central, encontrando 33 resultados que cumplieran con los criterios.

En una segunda etapa, se identificó la necesidad de ampliar la información sobre la evolución de los EPP a través de la historia y el uso de nanopartículas de sílice como componente principal en la obtención de STF. Se realizaron dos búsquedas por separado para ahondar en estos aspectos a partir de las ecuaciones (injuries*) AND (industry*) AND (punction*) AND (“personal protection elements”) para elementos de protección personal y (“silica*” OR

“silice*”) AND (nanoparticle* OR particle*) AND (síntesis* OR production*) (“silica nanoparticles” OR “nanopartículas de sílice”) para la síntesis de nanopartículas de sílice.

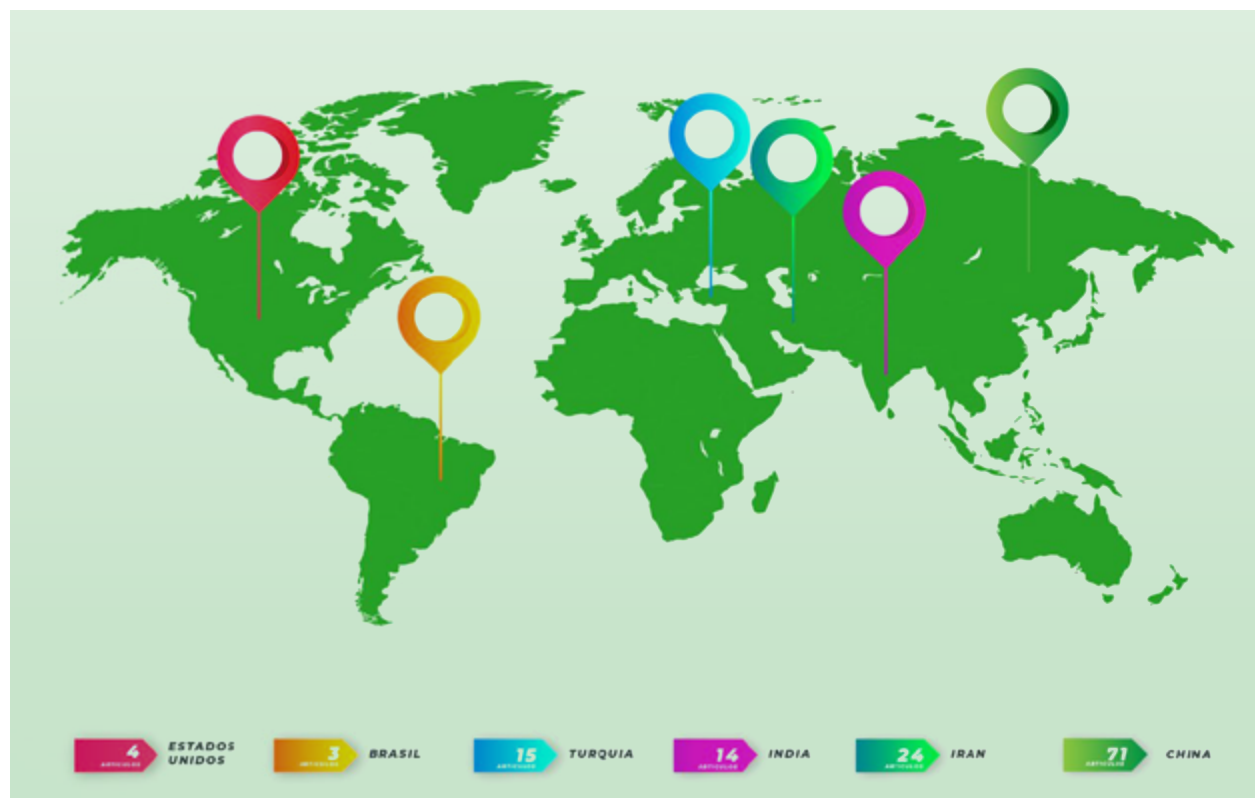
De ésta última etapa, se revisaron únicamente los artículos seminales y a partir del contenido, se eligieron 9 publicaciones para ahondar el tema sobre la obtención de nanopartículas de sílice y otras 9 publicaciones para conocer la evolución de los materiales usados en protección personal antipunzón.

Finalmente, se complementaron las estadísticas con otro tipo de recursos diferentes a artículos científicos, procedentes de entidades y empresas expertas en el tema.

Textiles para aplicaciones antipunzón

Para la fabricación de armaduras y otros elementos de protección personal, se han utilizado textiles que sean resistentes y en lo posible, que no reduzcan la movilidad. Los asirios afirmaron ser los primeros en usar “armaduras textiles” que se prepararon a partir de múltiples capas de lino acolchadas como una sola armadura. La armadura hecha de lino acolchado se usaba para un bajo nivel de protección contra

Figura 3.
Producción científica por país



Nota. Autoría propia – Tree of Science

los arqueros, y la armadura de láminas metálicas se usaba para una mayor protección contra las lanzas. Esto indica que los diseñadores eran conscientes de los problemas ergonómicos en ese momento (Nayak et al., 2017).

Las armaduras textiles permitieron que surgiera un nuevo tipo de protección “blanda”, ya que éstas eran fabricadas con elementos rígidos como madera, piedra y metal (Nayak et al., 2017). Los materiales usados para esta aplicación, a través de la historia se han adaptado a las necesidades y el entorno, conforme avanza la tecnología.

Para la primera guerra mundial, se desarrollaron uniformes de seda que podían resistir proyectiles a baja velocidad (hasta 120m/s); Sin embargo, no eran suficientes para velocidades superiores a 180m/s (Mawhlieng et al., 2020). En la segunda guerra mundial, surgieron los uniformes en Nylon® que proveían una barrera contra los fragmentos de metralla, pero aún no soportaban el impacto de un rifle; además, eran voluminosos y muy pesados, afectando el rendimiento del personal a la hora de la batalla (Mawhlieng et al., 2020).

Finalmente, en 1965, la empresa Dupont desarrolló una fibra sintética de p-aramida con alta resistencia y baja densidad que mostraba un buen desempeño balístico y antipunzón, además de ser menos pesada e incómoda (Mawhlieng et al., 2020). La variedad más usada de este material es el Kevlar®; su estructura química comprende varios enlaces entre cadenas recurrentes entrelazadas con hidrógeno, proporcionando una fuerza tensil 10 veces mayor que el acero con un similar (DuPont, 2022).

La fibra de Kevlar® 29 se utiliza en aplicaciones balísticas, cuerdas y cables, vestuario de protección (guantes resistentes a los cortes), elementos de protección de vida (cascos, blindajes y chapados) y como refuerzo de caucho en neumáticos y mangueras de automóviles (DuPont, 2022).

Su alta resistencia a la tracción y módulo, y el menor alargamiento de la fibra, hacen que las aramidas ofrezcan grandes ventajas sobre otras fibras sintéticas. Por sus características, permiten que se formen telares más fácilmente que con filamentos quebradizos como la fibra de vidrio, de carbono o de cerámica, no tienen punto de fusión (se degradan a temperaturas mayores a 500°C) y tienen baja inflamabilidad (Wang, 2016).

Pese al buen desempeño de las aramidas en protección balística y anticorte, el uso de nanotecnología para la funcionalización de textiles técnicos ha permitido mejorar el rendimiento y el confort de los EPP a la vez que aumenta la

resistencia en estas aplicaciones, sin afectar apreciablemente las propiedades mecánicas (Soliman & Hassabo, 2021).

A continuación, se describe el uso de nanotecnología en textiles para el mejoramiento de propiedades físicas, químicas y microbiológicas a partir de nanopartículas en suspensión.

Nanotecnología en el mejoramiento de textiles

Los textiles mejorados con nanotecnología se denominan *Textiles Nanotecnológicos*. Algunas aplicaciones incluyen el aislamiento térmico en prendas de vestir para deportistas, textiles con protección ultravioleta (UV), antibacteriales, autolimpiantes y antirreflejo y elementos de protección personal ignífugos, anticorrosivos, repelentes al agua y resistentes al corte (Quintili, 2012).

Los nanomateriales se caracterizan por presentar un tamaño de partícula entre y 1nm y 100nm en al menos una dimensión; debido a su tamaño exhiben propiedades fisicoquímicas únicas y características ajustables, alta resistencia mecánica, bioactividad y reabsorbilidad mejoradas (Hincapié et al., 2020).

A diferencia de otros aditivos, los recubrimientos a base de nanotecnología no forman una capa superficial sobre el textil, sino que interactúan íntimamente con el material tratado, confiriéndole propiedades de resistencia y mayor durabilidad (Campos, 2014).

Esto permite incorporar nanopartículas en el tejido sin afectar significativamente sus propiedades físicas como suavidad, acabado, flexibilidad y caída (Wang, 2016).

Los materiales fabricados con Nanotecnología tienen menos defectos y mejor calidad, ya que su estructura presenta propiedades uniformes y suponen un mayor control durante su elaboración; sin embargo, es una tecnología que todavía se encuentra en etapa de crecimiento, donde un gran número de aplicaciones aún son estudiadas a nivel de laboratorio y no han llegado a la escala industrial (Ruta Medellín, Centro de Innovación y Negocios, 2015).

Uno de los compuestos ampliamente usados para la funcionalización de textiles es el dióxido de silicio o sílice (SiO₂); se utiliza para la fabricación de recubrimientos a escala nanométrica, ya que es uno de los más abundantes del planeta, no es tóxico y es amigable con el medio ambiente

(Fernandes et al., 2019). Este compuesto se encuentra presente principalmente en arena y cuarzo, pero también hay otras fuentes naturales como la cascarilla de arroz y las verduras de hojas verdes, que lo poseen en menor cantidad (Arcos et al., 2007). En la siguiente sección, se describe la obtención de nanopartículas de SiO₂ mediante el proceso Sol-Gel y su uso en el mejoramiento de materiales.

Síntesis de nanopartículas de SiO₂ para recubrimientos textiles

Las nanopartículas de sílice son ampliamente usadas en diversas aplicaciones debido a su facilidad de síntesis, alta biocompatibilidad de área específica y fase vítrea residual, valores de dureza mejorados, propiedades mecánicas robustas, composición química relativamente inerte, alta estabilidad frente a la degradación enzimática, alta capacidad de carga, biodegradabilidad mejorada, gran área de superficie, grandes volúmenes de poros adaptables (1.3-50 nm) y la capacidad de funcionalizarse con diferentes materiales y/o moléculas a través de la ingeniería de superficies (Hincapie et al., 2020).

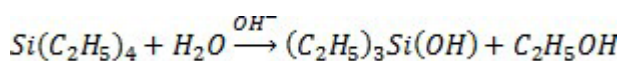
Además, las nanopartículas se utilizan como soportes catalíticos, para modificar las propiedades superficiales de las películas sintéticas, aumentar la dureza, la durabilidad y la integridad de los recubrimientos (Vasconcelos et al., 2002), en sustratos electrónicos, películas delgadas, aislantes eléctricos/térmicos, emulsionantes y estabilizadores (Rahman et al., 2007), entre otros. La calidad de estos productos depende en gran medida del tamaño y la distribución de las partículas de sílice.

Para la obtención de partículas de sílice, (Stober & Fink, 1968) desarrollaron un sistema de reacciones químicas basado en el proceso Sol-Gel, que permite el crecimiento controlado de partículas esféricas de sílice de tamaño uniforme, mediante la hidrólisis de silicatos de alquilo y la posterior condensación del ácido silícico en soluciones alcohólicas. Los silicatos de alquilo son usados como precursores debido a que su rapidez de reacción química permite realizar variaciones en los parámetros de reacción durante el proceso de síntesis, lo que conduce a la obtención del material con las propiedades deseadas (Ludeña, 2021). Los dos silicatos de alquilo más empleados para realizar la obtención de sílice son el tetraetil ortosilicato (TEOS) [Si(C₂H₅)₄], y el tetrametil ortosilicato (TMOS) [Si(OCH₃)₄]. Se ha observado que la longitud de la cadena orgánica afecta a la rapidez de hidrólisis debido a factores estéricos,

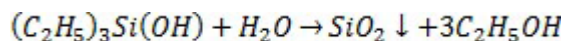
es decir que, si la longitud de la cadena orgánica aumenta, la rapidez de hidrólisis disminuye, lo que permite un cierto control del proceso desde la naturaleza del silicato de alquilo precursor (Ludeña, 2021).

El proceso sol-gel consiste en la progresiva conversión de moléculas precursoras a un coloide (Sol) y luego a una red integrada (Gel); un Sol es un coloide, es decir, partículas muy finas dispersas en un medio continuo en el que las partículas son sólidas y el medio de dispersión es un fluido. Estas partículas deben poseer dimensiones menores a 1µm para que el sistema este gobernado por el movimiento Browniano y éstas permanezcan dispersas en el fluido. Por lo contrario, si las dimensiones son mayores a 1µm, la fuerza gravitatoria empieza a gobernar el sistema obligando a las partículas a sedimentar. Un gel es un coloide donde el medio líquido se ha vuelto lo suficientemente viscoso y se comporta de forma similar a un “sólido”. La ventaja de usar el proceso Sol-Gel es que permite el control de la síntesis desde los precursores hasta el producto final (Ludeña, 2021).

El método Stober describe la síntesis a partir de la hidrólisis del Tetraetil OrtoSilicato (TEOS) y la condensación en Etanol [C₂H₅OH], usando como catalizador, hidróxido de Amonio [NH₄OH]. La reacción de hidrólisis produce el monómero monohidrolizado de TEOS, trietilsilanol [(C₂H₅)₃Si(OH)], como se muestra a continuación (Green et al., 2003):



Este producto de reacción intermedio se condensa para finalmente formar sílice, como se muestra en la siguiente condensación simplificada:



La reacción de condensación puede observarse fácilmente porque, después de una reacción hidrolítica, la condensación se indica mediante una creciente opalescencia de la mezcla que comienza 1-5 minutos después de añadir el TEOS; posterior a esa fase inicial, una suspensión blanca turbia ocurre pocos minutos después. (Stober & Fink, 1968)

Aunque es un método sencillo, directo y de bajo costo (Gaoyuan et al., 2020), es altamente dependiente de las concentraciones de todos los reactivos involucrados, la temperatura y la velocidad de agitación; estas variables afectan las tasas de hidrólisis y condensación y, en consecuencia, el tamaño final de las partículas, así

como su distribución y área superficial. Una tasa de hidrólisis más alta y una tasa de condensación más baja producen partículas más pequeñas y viceversa (Fernandes et al., 2019). Para reducir la producción de partículas de diferente tamaño, es importante mantener constantes las condiciones de temperatura y agitación (Stober & Fink, 1968).

Dependiendo de los parámetros del proceso de síntesis, la estructura de las partículas coloidales puede variar desde partículas esféricas aisladas hasta aglomerados de estructuras complejas (Vasconcelos et al., 2002).

El procedimiento generalizado consiste en la adición de agua y TEOS al etanol con calentamiento y agitación constantes hasta homogenización y luego se agrega el catalizador en medio ácido o básico para propiciar la formación del gel. Posteriormente se somete el producto final a secado (Flores, 2009).

Como (Fernandes et al., 2019) concluyó en su investigación, la velocidad de agitación no afecta el tamaño de las partículas y el diámetro disminuye a medida que aumenta la temperatura del sistema de reacción. Sin embargo, influye en la morfología, ya que una baja velocidad de agitación permite obtener partículas más uniformes. Por su parte, (Vasconcelos et al., 2002) menciona que el diámetro de las partículas de sílice aumenta al elevar las cantidades de NH_4OH y H_2O , y al disminuir la cantidad de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Por otro lado, (Ludeña, 2021) estudia el efecto del pH, encontrando que si el proceso sol-gel se realiza en valores bajos de pH (catálisis ácida) la reacción de hidrólisis es más rápida que la reacción de condensación, lo que favorece la formación de una red polimérica poco ramificada; a valores altos de pH (catálisis básica) la reacción de condensación es más rápida que la reacción de hidrólisis favoreciéndose la formación de estructuras altamente ramificadas con anillos internos.

Por su parte, (Rahman et al., 2007) encontraron que el aumento en la concentración de TEOS dió como resultado un polvo más grande y distribuido, mientras que en alta temperatura y en la agitación magnética se produjo un polvo altamente agregado. Una relación $\text{H}_2\text{O}/\text{TEOS}$ más alta y una concentración de amoníaco más baja a una velocidad de alimentación más lenta, produjeron partículas en el rango de 10-14nm. De hecho, afirman, que la concentración de TEOS, amoníaco, agua, disolvente (alcohol) y la temperatura de reacción son los 5 parámetros clave que rigen el tamaño y distribución de las estas partículas.

Finalmente, (Guo et al., 2016) contempla otro factor en la reacción donde adiciona PEG1000 como tensioactivo; obtiene partículas entre 18-35nm pero completamente amorfas, por lo que su aplicación no resultaría conveniente en todos los campos.

Teniendo en cuenta cómo influye el tamaño, forma y distribución de las partículas en su aplicación, a continuación, se describe el uso de SiO_2 a escala nanométrica para la obtención de STF que permita mejorar la resistencia antipunción de textiles técnicos.

Fluidos de engrosamiento por cizallamiento – STF (Shear Thickening Fluids)

Los fluidos espesantes por cizallamiento o Shear Thickening Fluids (STFs) son dispersiones coloidales que exhiben un aumento abrupto de la viscosidad cuando la tasa de corte o la tensión aplicada se encuentran por encima de un valor crítico (Ding et al., s.f).

En general, los STF se componen de dos fases: una fase sólida de Nano o Micropartículas y una fase líquida que actúa como vehículo. Las partículas dispersas deben ser más pequeñas que el diámetro de la fibra que será impregnada y el medio de dispersión debe ser estable a condiciones ambiente para que se favorezca la dispersión uniforme de las partículas y se mantengan adheridas al tejido (Zarei & Aalaie, 2020).

La fase líquida puede estar compuesta por etanol, Polietilenglicol (PEG), Etilenglicol (EG), Polipropilenglicol (PPG), aceites siliconados o una mezcla de estos con tensioactivos y/o polímeros. Para la fase sólida, los compuestos comúnmente usados son dióxido de sílice (SiO_2), carbonato de calcio (CaCO_3), polietileno (PE) y polimetilmetacrilato (PMMA) (Lin et al., 2019).

Un ejemplo de estos compuestos es el desarrollado por (Gong et al., 2014), donde obtuvieron STF variando las partículas dispersas de SiO_2 , PMMA y Poliestireno-etilacrilato (Ps EA) en soluciones de etanol, PEG200 y PEG600 para evaluar sus propiedades reológicas del fluido y su comportamiento en el textil impregnado ante pruebas de resistencia anticorte y antipunción.

El Polietilenglicol es uno de los vehículos más usados para STF, ya que es altamente estable, tiene un punto alto de ebullición y no es inflamable. Un STF típico está compuesto por nanopartículas de sílice (SiO_2) suspendidas en PEG (Wang, 2016).

Los principales mecanismos para explicar cómo se obtiene esta transición abrupta de líquido a sólido en los STF son (Zarei & Aalaie, 2020):

- Transición orden-desorden: implica un aumento de arrastre entre las partículas que ocasiona pasar de una estructura ordenada a una estructura desordenada cuando la tasa de corte es alta.
- Agrupación hidráulica (hydroclusters): Describe la tendencia de las partículas hacia la formación de cúmulos bajo fuerzas de corte, conduciendo a un aumento de las fuerzas de arrastre entre las mismas.
- Fuerzas de contacto: La fuerza de corte causa una fuerza hidrodinámica que tiende a sacar a las partículas de la capa ordenada en la que se encuentran, propiciando la interacción con otras moléculas. Con un esfuerzo cortante bajo, no hay contacto significativo entre partículas, por lo que el comportamiento del STF será newtoniano y no habrá un aumento en la viscosidad que permita una resistencia al impacto. Entre mayor sea la tensión, más viscoso será el fluido y podrá alcanzar un estado completamente sólido; sin embargo, es un comportamiento reversible, ya que una vez disminuya la tensión, volverá a su estado líquido normal.

A bajas tasas de cizallamiento, el STF tiene baja viscosidad y se comporta como un fluido; a altas tasas de cizallamiento, las fuerzas hidrodinámicas superan a las fuerzas repulsivas y se forman hidrocúmulos, lo que ocasiona que el líquido sea incapaz de llenar los espacios entre partículas y la fricción provoque un enorme aumento de viscosidad. Cuando un STF es sometido a cizallamiento, se le puede considerar un fluido no newtoniano (Ding et al., s.f).

La naturaleza real del espesamiento por esfuerzo cortante depende de los parámetros físicos de la fase suspendida: volumen, tamaño y forma de la partícula (distribución), así como de la fase de suspensión: viscosidad, tipo de deformación (flujo de cizallamiento o extensional, constante o transitorio), y el tiempo y tasa de deformación (Xu et al., 2010).

A mayor fracción de volumen y tamaño de partícula, la velocidad de corte crítica es menor, lo que conlleva a una mayor amplitud de resistencia a impactos más lentos; sin embargo, puede afectar la adherencia al tejido. Partículas con estructuras uniformes (tubulares) tienen mayor engrosamiento por cizallamiento

que aquellas que son esféricas o amorfas. Las partículas con un núcleo duro y una capa blanda son ideales para la preparación de STF de alto rendimiento (Zarei & Aalaie, 2020).

Por su parte, (Gong et al., 2014) encontraron que la dureza de la partícula es el factor dominante en la aplicación anticorte, mientras que la fricción entre los hilos del tejido juega un papel crítico en la resistencia antipunzón. Por el contrario, (Lin et al., 2019) exploran como influyen las características de la fibra en la resistencia antipunzón usando STF en telas de Kevlar® y Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE) y la concentración de la fase sólida en el STF. Encontraron que la concentración del STF y el tamaño de las partículas afectan significativamente la propiedad de resistencia a la punción, pero la resistencia al corte depende principalmente de las características de la fibra. Comparativamente, las telas compuestas STF-UHMWPE exhiben una mejor resistencia a las puñaladas pero una menor resistencia a las perforaciones con puntas que las telas STF-Kevlar®. Así, se evidencia que de acuerdo con la aplicación principal que se busque, se debe adaptar la composición del STF y el tipo de tejido.

Por otro lado, (Zhang et al., 2020) evaluaron como influye el tamaño de partícula de SiO₂ en el STF, mezclando micro y nano partículas para funcionalizar un textil de Kevlar®. Encontraron que mejora la resistencia anticorte y antipunzón cuando usaron ambos tamaños de partícula en el STF (12nm y 0,5µm), en comparación con los fluidos obtenidos con un solo tamaño de partícula. Esto demuestra que pese a que el tamaño de partícula influye en la velocidad de corte crítica del fluido, partículas de diferente tamaño pueden resultar ventajosas en la aplicación en el textil porque rellenan todo tipo de espacios existente entre los hilos. Por su parte, (Zhenqian et al., 2021) evaluaron el efecto del tamaño de partícula a escala nanométrica, mediante la elaboración de STF con SiO₂ de 12nm y 40nm, encontrando que los fluidos obtenidos con las partículas de mayor tamaño tienen un mejor efecto de espesamiento por cizallamiento y que en su aplicación en el textil de Twaron® permiten la fabricación de una armadura corporal blanda más liviana y con mayor protección ante el riesgo de perforación.

Por otro lado, (Baharvandi et al., 2014) estudia la influencia de la concentración de la fase sólida en el STF con partículas SiO₂ de diferente tamaño (12nm y 60nm), encontrando que en concentraciones menores al 25% p/p, la reducción de la partícula tiene un gran efecto

sobre la capacidad de carga de los tejidos de aramida pese a que el fluido por sí solo presenta un aumento en la viscosidad y la tasa de corte. Sin embargo, en concentraciones mayores al 35% p/p, para las partículas de 12nm y 60nm, la diferencia entre las cargas máximas soportadas por el tejido es insignificante.

Otra variable a considerar es la morfología de las partículas de la fase sólida, como determinaron (Deepak et al., 2020) en su desarrollo de STF con nanopartículas de sílice sintetizadas por dos métodos diferentes (método sol-gel y método Stôber modificado). Encontraron que la forma de la partícula afecta la viscosidad del STF y su adhesión al textil, ya que las partículas completamente esféricas mostraron mejores propiedades antipunzón en el tejido de polipropileno en comparación con las que tenían forma de escamas.

El tipo de vehículo y su peso molecular también intervienen en el desempeño del STF. Se obtiene una velocidad de corte crítica menor con medios de dispersión de alto peso molecular; sin embargo, dificulta que se impregne en el material y, por lo tanto, el rendimiento en el tejido disminuye (Wang, 2016). Los medios de dispersión de menor peso molecular tienen mejores propiedades mecánicas en el textil, ya que favorecen la fricción entre los hilos. (Baharvandi et al., 2015) encontraron que, pese a que a altas concentraciones la resistencia del STF a la punción es mejor, la suspensión es inestable y se puede presentar precipitación de la fase sólida, por lo que es necesario usar un vehículo de alto peso molecular.

Otra variable a considerar en el rendimiento de un STF, es el uso de aditivos. En el caso de (Gurgen & Kusham, 2017), usaron Carburo de Silicio (SiC) como aditivo para un STF bifásico a base de SiO₂ y PEG que logró mayor resistencia antipunzón en los tejidos impregnados respecto a los que contenía un STF monofásico. También resulta determinante la temperatura a la que el STF recibe el impacto, como lo describen (D. Li et al., 2020) en su investigación. Ellos obtuvieron el perfil reológico del STF a 20°C y a 50°C, encontrando que la viscosidad es mayor a bajas temperaturas y por lo tanto presenta una mayor resistencia antipunzón, lo que permite identificar la necesidad de mantener el textil a una temperatura baja para que no se vea afectada su función.

Los STFs tienen múltiples aplicaciones en el desarrollo de materiales de protección, absorbentes de choques (terremotos, remolinos,

fuerte oleaje), mejoramiento de sistemas de amortiguación adaptativos, disminución del impacto de vibraciones, estructuras inteligentes, chalecos antibalas y almohadillas para equipo deportivo (Zarei & Aalaie, 2020).

Un ejemplo de éstas múltiples aplicaciones, se encuentra en el estudio realizado por (Qin et al., 2019) donde desarrollaron un STF a partir de SiO₂ y líquidos iónicos (IL) para brindarle al textil una doble aplicación, haciéndolo resistente a la perforación y al mismo tiempo generando una buena conductividad.

STF en textiles con aplicación antipunzón

Los textiles de p-aramida impregnados con STF han sido ampliamente usados para la fabricación de armadura líquida (liquid armor), ya que se busca garantizar la protección personal ante disparos o estocadas con objetos cortopunzantes. Estos textiles muestran mayor resistencia a punción, manteniendo su bajo espesor y alta flexibilidad (Ding et al., s.f).

Textiles de Kevlar® y Nylon® con STF han mostrado una mejora en aplicaciones anti-punzón, de acuerdo con los estudios realizados por las Fuerzas Armadas de U.S. Las partículas con mayor dureza contribuyen a una mejor protección contra puñaladas, debido a que la energía se transfiere mejor y se genera más fricción entre las partículas y los filamentos del material (Kejing et al., 2012).

Por su parte, (Dong et al., 2010) estudian el mejoramiento del Kevlar® con nanopartículas en polvo seco, lo que implica la capacidad de controlar que la dispersión sea uniforme en el tejido. Esta problemática se resuelve usando un vehículo como agente dilatante; sin embargo, requiere que el textil se someta a secado con el riesgo de afectar la flexibilidad del mismo. Para evitar esta consecuencia, se usan aditivos como glicerina que ocasionan un aumento en el peso del producto final. Por otro lado, (Feng et al., 2014) muestran que el uso de partículas de SiO₂ en STF para la funcionalización de textiles mejora significativamente su resistencia al corte y la punción.

Los hilos en tejidos de Kevlar® impregnados con STF se convierten en un material sólido bajo impacto. Usar nanopartículas del mismo tamaño, muestra un mejor rendimiento en el impacto, absorbiendo más energía que con partículas de diferente tamaño (Dong et al., 2010).

En el caso de (Na et al., 2016), realizaron un estudio donde impregnaron textiles de aramida con STF y observaron que existe un comportamiento dependiente de la velocidad del impacto en el tejido durante la prueba de tracción uniaxial; sin embargo, el efecto del tratamiento STF fue leve y consistente con solo el efecto inherente de la naturaleza polimérica de sus fibras constituyentes, aunque la rigidez y sensibilidad al corte del tejido aumentó debido a la presencia del STF en los cambios en la velocidad de deformación.

Para garantizar que el STF tenga la composición esperada y las fases se encuentren bien dispersas en la solución, se realiza la caracterización del fluido mediante difracción de rayos X y microscopía SEM. El análisis reológico permite estudiar la deformación y el flujo de la materia bajo esfuerzo. Con el perfil reológico se determina la tasa crítica de corte frente al esfuerzo por cizalla aplicado sobre el material, de modo que se obtenga el ciclo de histéresis propio de este tipo de fluidos dependientes del tiempo (Dong et al., 2010).

Una vez se obtiene el STF, es necesario diluirlo en un solvente como etanol o acetona para facilitar el proceso de adherencia al tejido. Para impregnar el textil, puede hacerse por inmersión total del tejido en un baño con el STF (en estos casos se utiliza el foulard, donde el tejido pasa por una tina con una solución del producto y luego es exprimido mediante cilindros) o se puede aplicar el producto en la superficie, utilizando las rasquetas o los cilindros lamadores que permiten aplicar líquidos o espumas (Soliman & Hassabo, 2021).

Normalmente después de la aplicación, ya sea mediante impregnación o mediante recubrimiento es necesario pasar por el proceso de secado y/o curado del producto aplicado.

La morfología del textil impregnado es analizada por microscopía SEM, con el propósito de verificar que las partículas se encuentren dispersas uniformemente en el material. Un análisis de espesor y tensión permite determinar si el material ha sufrido cambios en el volumen y flexibilidad después del tratamiento.

Las pruebas de resistencia a las puñaladas se realizan bajo la norma estándar NIJ 0115.00 que establece el procedimiento y condiciones para la ejecución del ensayo y la validez de sus resultados (Kejing et al., 2012). Estas pruebas pueden hacerse cuasi estáticas o dinámicas, siendo la última opción la más acertada si se busca un resultado que se asemeje a un escenario real.

La norma estándar NIJ 0115.00 establece dos tipos de ensayo: uno orientado a determinar la resistencia ante objetos comunes como cuchillos de cocina, navajas, picahielos, punzones, entre otros y otro enfocado en armas improvisadas que puedan ser fabricadas en cárceles y centros de detención. Para el ensayo comercial sugiere energías de impacto entre los 24J y 36J, mientras que para armas improvisadas el valor es superior (entre 43J y 65J) (National Institute of Justice, 2020).

Para llevar a cabo el ensayo, se requiere un equipo que permita la caída de una masa con velocidad controlada sobre el textil objeto de estudio, que a su vez debe estar sobre un material compuesto de respaldo de aproximadamente 60cm (National Institute of Justice, 2020).

Para la prueba de resistencia es determinante la forma geométrica del objeto que impacta en el textil, como lo demuestran (Aliverdipour et al., 2020) en sus ensayos con cuchillos de doble filo, un solo filo y dos puntas. Encontraron que la geometría de la herramienta tiene una influencia determinante en los parámetros de apuñalamiento y la destrucción de los tejidos, ya que el tamaño y forma del desgarre difiere si el punzón es puntiagudo, redondo o triangular.

Por su parte, (W. Li et al., 2016) realizaron pruebas dinámicas de resistencia anticorte y aintipunzón en tejidos de UHMWPE (polietileno de ultra alto peso molecular) impregnados con STF de SiO₂ y PEG. Los resultados demostraron que la resistencia dinámica al pinchazo del tejido UHMWPE mejora significativamente debido a la presencia de STF, ya que disminuye efectivamente la movilidad del hilo y acelera la respuesta transversal de la tela.

También influye en los resultados de resistencia a la perforación y corte, la velocidad a la que se haga la prueba. En la investigación de (Decker et al., 2007), se realizaron ensayos a alta y baja velocidad en textiles de Nylon® y Kevlar® impregnados con STF.

Se observaron mejoras dramáticas en la resistencia anti-punzón en condiciones de carga de alta y baja velocidad, en comparación con los materiales sin tratar. Los estudios sobre el efecto de la arquitectura de la tela indican que la adición de STF brinda beneficios análogos al efecto de aumentar el número de hilos de la tela, y la adición de STF reduce principalmente la movilidad de los filamentos e hilos en la zona de impacto.

Conclusiones

El uso de STFs a partir de nanopartículas de sílice permite la optimización de elementos de protección personal antipunzón, confiriendo características excepcionales a los textiles sin afectar apreciablemente su apariencia ni sus propiedades mecánicas, por lo que existe un amplio campo de estudio para la aplicación de esta tecnología en la prevención de accidentes laborales. Aún hay un gran número de posibilidades para mejorar los tejidos a partir de STFs, con el uso de aditivos o vehículos que provean propiedades adicionales como resistencia, durabilidad, antiestática, protección UV y suavidad sin afectar la aplicación principal. Se identificaron como variables críticas del proceso de obtención del fluido, la fracción volumétrica y el tamaño de las partículas, al igual que el tipo de vehículo y textil a funcionalizar con el STF. Los estudios más recientes se han enfocado en la caracterización y análisis de las variables que influyen en la resistencia anti-punzón, ampliando el espectro de ensayos y determinantes para mejorar el desempeño final en diversas aplicaciones.

Con las nuevas tecnologías y materiales que pueden usarse dentro de este tipo de aplicaciones, aún falta investigación para mejorar las propiedades y usos de los STF en la industria, desde una perspectiva comercial y ocupacional.

Referencias bibliográficas

Abed, M. S., & Jawad, Z. A. (2022). Nanotechnology for defense applications. En E. N. Mubarak, S. Gopi, & P. Balakrishnan (Eds.), *Materials horizons: From nature to nanomaterials* (pp. 187-205). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6022-1_10

Aliverdipour, N., Ezazshahabi, N., & Mousazadegan, F. (2020). Characterization of the effect of fabric's tensile behavior and sharp object properties on the resistance against penetration. *Forensic Science International*, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.forsci>

Arcos, C., Maciaz, D., & Rodríguez, J. (2007). La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂ (pp. 7-20). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-62302007000300001&lng=en&nrm=.pf&tlng=es

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Baharvandi, H. R., Alebooyeh, M., Alizadeh, M., Khaksari, P., & Kordani, N. (2015). Effect of silica weight fraction on rheological and quasi-static puncture characteristics of shear thickening fluid-treated Twaron composite. *Journal of Industrial Textiles*, 1-22. <https://doi.org/10.1177/1528083715589750>

Baharvandi, H. R., Khaksari, P., Alebooyeh, M., Alizadeh, M., Khojasteh, J., & Kordani, N. (2014). Investigating the quasi-static puncture resistance of p-aramid nanocomposite impregnated with the shear thickening fluid. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 1-9. <https://doi.org/10.1177/0731684414554635>

Bhattacharjee, S., Joshi, R., Chughtai, A. A., & Macintyre, C. R. (2019). Graphene modified multifunctional personal protective clothing. *Advanced Materials Interfaces*, 1-27. <https://doi.org/10.1002/admi.201900622>

Birhane, G. E., Yang, L., Geng, J., & Zhu, J. (2020). Causes of construction injuries: Review. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-26. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1761678>

Coca Muñoz, C. A., & Thomas Argueta, M. C. (2017). Bienestar policial: Una mirada a la salud, a la seguridad ocupacional y a la prevención de los riesgos ocupacionales de los policías en El Salvador. *Policia y seguridad pública*, 2, 143-225. <https://doi.org/10.5377/rpspv.712.5465>

Decker, M. J., Halbach, C. J., Nam, C. H., Wagner, N. J., & Wetzel, E. D. (2007). Stab resistance of shear thickening fluid (STF)-treated fabrics. *Composites Science and Technology*, 565-578. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.08.007>

Deepak, S., Thirumalaikumarasamy, D., Thirumal, P., T., D., Bhuvana, K. P., Bensingh, J., & Nayak, S. (2020). Preparation and characterization of shear thickening fluid coated polypropylene fabric for soft armour application. *The Journal of The Textile Institute*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.18>

Ding, J., Li, W., & Shen, S. Z. (s.f). Research and Applications of Shear Thickening Fluids. *Materials Science and Engineering*.

Dong, Z., Manimala, J. M., & Sun, C. T. (2010). Mechanical Behavior of Silica Nanoparticle-Impregnated Kevlar Fabrics. *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 5(4), 23.

Elles, R. D., Villabona, N., & Martelo, R. J. (2018). Occupational health and safety management in companies in the metalworking sector. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(39), 1901-1909. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.84185>

Epp, T., & Waldner, C. (2012). Occupational health hazards in veterinary medicine: Physical, psychological, and chemical hazards. *The Canadian Veterinary Journal*, 53(2), 151-157

Feng, X., Li, S., Wang, Y., Wang, Y., & Liu, J. (2014). Effects of different silica particles on quasi-static stab resistant properties of fabrics impregnated with shear thickening fluids. *Materials and Design*, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.06.060>

Fernandes, R. S., Raimundo Jr, I. M., & Pimentel, F. (2019). Revising the synthesis of Stöber silica nanoparticles: A multivariate assessment study on the effects of reaction parameters on the particle size. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 577, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.053>

Gaoyuan, R., Hongjiu, S., & Shudong, W. (2020). The combined method to synthesis silica nanoparticle by Stöber process. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05322-y>

Gong, X., Xu, Y., Zhu, W., Xuan, S., Jiang, W., & Jiang, W. (2014). Study of the knife stab and puncture-resistant performance for shear thickening fluid enhanced fabric. *Journal of Composite Materials*, 48(6), 641-657. <https://doi.org/10.1177/0021998313476525>

- Green, D. L., Lin, J. S., Lam, Y.-F., Hu, M. Z., Schaefer, D. W., & Harris, M. T. (2003). Size, volume fraction, and nucleation of Stober silica nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 266, 346-358. [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(03\)00610-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(03)00610-6)
- Guo, Q., Huang, D., Kou, X., Cao, W., Li, L., Ge, L., & Jiangong, L. (2016). Synthesis of disperse amorphous SiO₂ nanoparticles via sol-gel process. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.09.133>
- Hincapie, D. F., Rojas, S., Castaño, F., Parra, K., & Giraldo, L. (2020). Mesoporous Silica Nanoparticles obtention, functionalization and biomedical applications: A review. *DYNA*, 87(215), 239-253. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.88586>
- Ind, J. E., & Jeffries, D. J. (1999). Needlestick injury in clothing industry workers and the risks of blood-borne infection. *Occupational Medicine*, 49(1), 47-49. <https://doi.org/10.1093/occmed/49.1.47>
- Kejing, Y., Haijian, C., Kun, Q., Lingling, J., & Hongshun, L. (2012). Synthesis and Stab Resistance of Shear Thickening Fluid (STF) Impregnated Glass Fabric Composites. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, Institute of Biopolymers and Chemical Fibres, 3.
- Li, D., Wang, R., Liu, X., Zhang, S., Fang, S., & Yan, R. (2020). Effect of dispersing media and temperature on inter-yarn frictional properties of Kevlar fabrics impregnated with shear thickening fluid. *Composite Structures*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112557>
- Li, W., Xiong, D., Zhao, X., Sun, L., & Liu, J. (2016). Dynamic stab resistance of ultra-high molecular weight polyethylene fabric impregnated with shear thickening fluid. *Materials & Design*, 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.006>
- Lin, T.-T., Dai, W., Wu, L., Peng, H.-H., Zhang, X., Shiu, B.-C., & Lou, C.-W. (2019). Effects of STF and Fiber Characteristics on Quasi-Static Stab Resistant Properties of Shear Thickening Fluid (STF)-Impregnated UHMWPE/Kevlar Composite Fabrics. *Fibers and Polymers*, 20(2), 328-336. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-8446-6>
- Mawhlieng, U., Majumdar, A., & Laha, A. (2020). A review of fibrous materials for soft body armour applications. *Teh Royal Society of Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/c9ra06447h>
- Memon, A. H., Peerzada, M. H., Brohi, K. M., Memon, S. A., & Mangi, S. A. (2020). Performance evaluation of conventional and hybrid woven fabrics for the development of sustainable personal protective clothing. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 33835-33847. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09610-6>
- Na, W., Ahn, H., Han, S., Harrison, P., Park, J. K., Jeong, E., & Yu, W.-R. (2016). Shear behavior of a shear thickening fluid-impregnated aramid fabrics at high shear rate. *Composites Part B, Engineering*, 162-175. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.05.017>
- Nayak, R., Crouch, I., Kanesalingam, S., Ding, J., Tan, P., Lee, B., & Wang, L. (2017). Body armor for stab and spike protection, Part 1: Scientific literature review. *Textile Research Journal*, 1-21. <https://doi.org/10.1177/0040517517690623>
- Oza, H., Lee, M., Boisson, S., Pega, F., Medlicott, K., & Clasen, T. (2022). Occupational health outcomes among sanitation workers: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 240, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113907>
- Qin, J., Guo, B., Zhang, L., Wang, T., Zhang, G., & Shi, X. (2019). Soft armor materials constructed with Kevlar fabric and a novel shear thickening fluid. *Composites Part B, Engineering*, 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107686>
- Rahman, I. A., Vejayakumaran, P., Sipaut, C. S., Ismail, J., Abu Bakar, M., Adnan, R., & Chee, C. K. (2007). An optimized sol-gel synthesis of stable primary equivalent silica particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 294, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.08.001>
- Shi, J., Li, H., Xu, F., & Tao, X. (2021). Materials in advanced design of personal protective equipment: A review. *Materials Today Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2021.100171>
- Vasconcelos, D. C., Campos, W. R., Vasconcelos, V., & Vasconcelos, W. L. (2002). Influence of process parameters on the morphological evolution and fractal dimension of sol-gel colloidal silica particles. *Materials Science and Engineering*, A334, 53-58. [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(01\)01762-2](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(01)01762-2)
- Villano, J. S., Follo, J. M., Chappel, M. G., & Collins Jr, M. T. (2017). Personal protective equipment in animal research. *Comparative Medicine*, 67(3), 203-214.
- Xu, Y. I., Gong, X. -I., Peng, C., Sun, Y. -q., Jiang, W. -q., & Zhang, Z. (2010). Shear Thickening Fluids Based on Additives with Different Concentrations and Molecular Chain Lengths. *Chinese Journal of Chemical Physics*, 5. <https://doi.org/10.1088/1674-0068/23/03/342-346>
- Yang, D., Hu, Y., Gong, X., Zhang, S., & Chen, X. (2016). Review of body armor research. *Journal of Research*, 4(6), 1-9. <https://doi.org/10.14504/ajr.4.6.4>
- Zhang, X., Li, T.-T., Peng, H.-K., Wang, Z., Huo, J., Lou, C.-W., & Lin, J.-H. (2020). Effects of bi-particlesized shear thickening fluid on rheological behaviors and stab resistance of Kevlar fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 1-16. <https://doi.org/10.1177/1528083720907400>
- Zhenqian, L., Zishun, Y., & Jiawen, Q. (2021). Effect of particle size of fumed silica on the puncture resistance of fabrics impregnated with shear thickening fluid. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16, 1-10. <https://doi.org/10.1177/15589250211061393>





Medición de variables de **confort para el calzado** del sector médico laboral

*Measurement of comfort variables for
occupational footwear in the medical sector*

Alejandra Concha¹

Fredy Calderón²

Ángela Quiroga³

Camila Botia⁴

Jairo Cajicá⁵



Centro de Manufactura en Textil y Cuero - SENA:

1 Instructora, alejandraconcha@misena.edu.co

2 Instructor, fredy.calderon@misena.edu.co

3 Investigadora, avquirogavergel@sena.edu.co

4 Aprendiz, camila.botia@misena.edu.co

5 Aprendiz, jacajica@misena.edu.co

**“...INICIAR EL PROCESO DE
DISEÑO, EL RECONOCIMIENTO
DE TODAS LAS VARIABLES
IMPLICADAS Y ANALIZANDO
ESTAS A PROFUNDIDAD
PERMITE QUE EL PRODUCTO
FINAL SATISFAGA MEJOR
LA NECESIDAD DEL USUARIO...”**



Resumen

ABSTRACT

Actualmente el personal de la salud colombiano tiene que cumplir con extensas jornadas laborales; entre 12 y 24 horas, en las cuales deben permanecer de pie y en constante movimiento. Un calzado inadecuado para esta labor puede generar problemas de salud y baja calidad de vida, por tanto, el objetivo de este proyecto es realizar un análisis de las variables de confort del calzado que utiliza el personal actualmente y encontrar sus falencias, ya que son pocos los estudios realizados para este tema. Por ello, se realizó el estudio del estado del arte, de la definición de las variables de confort, se aplicaron entrevistas y se tomaron medidas de la distribución de presiones plantares en el calzado actual. Encontrando que el calzado mayormente utilizado por el personal de salud son los denominados “zuecos”, que no son los más recomendables para este tipo de labores. Debido a esto se plantea el desarrollo de un calzado que intente solventar las falencias encontradas en la siguiente propuesta.

Palabras clave:

calzado laboral, confort, mocasín, sector salud, sanitario, tenis, zuecos.

Currently, health personnel must comply with long working hours of up to 12 hours and during this time many of them have to remain standing or in constant movement. Inadequate footwear for this work can cause health problems and low quality of life, therefore, the objective of this project is to analyze the comfort variables of the footwear currently used by the staff and find their shortcomings, since they are few. studies carried out for this topic, in the health sector. For this, a study of the state of the art was carried out, of the definition of comfort variables, interviews were applied, and measurements were taken of the distribution of plantar pressures in current footwear. Finding that the clogs, the most common footwear, is not the most recommended for this type of work and footwear sketches are proposed that try to solve the shortcomings found.

Keywords:

work footwear, comfort, moccasin, health sector, sanitary, tennis, clogs.

1. Introducción

Durante la pandemia del COVID-19, la labor del personal de salud fue primordial y su papel en nuestra sociedad fue reconocido y valorado, incluso 120 médicos dieron su vida en la lucha contra este virus. Según el Ministerio de Salud (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020), Colombia cuenta con 122.800 médicos, de los cuales 87.000 son médicos generales y 28.900 son especialistas. Según comenta la Dra. Gilma Rico presidenta de la (ANEC, 2020), hay 68.700 enfermeras registradas en Colombia, cifra que es mejor a lo recomendado por las organizaciones internacionales para la población del país.

En Colombia la jornada laboral ordinaria es de 8 horas máximo al día, sin embargo, para trabajadores de la salud, se establece en el párrafo 1 de la ley 1917 de 2018 turnos de 12 horas para médicos residentes y en el artículo 2 de la ley 269 de 1996, establece jornadas máximas de 12 horas diarias para trabajadores de la salud del sector público. Las extensas jornadas aumentan el tiempo continuo que el personal de salud debe permanecer en pie, sin embargo, algunos estudios y artículos indican que estas jornadas son más favorables para el personal de salud, ya que pueden descansar un día entero, cuentan con más flexibilidad para sus planes personales y les aporta una mejor calidad de vida (Moreno Arroyo et al., 2013).

Cabe resaltar que según el boletín de prensa No. 338 de 2021, el Ministerio de Salud hace un reconocimiento al talento humano en salud, principalmente a las mujeres; ellas representan el 79% de los profesionales en salud del país. Dentro del reporte también se establece que, para áreas como nutrición, terapia ocupacional, enfermería, entre otras, las mujeres representan el 90% de la población. (MinSalud, 2021). Por esta razón, se selecciona como población de estudio a las mujeres, ya que representan la mayor cantidad.

Reconociendo la población objetivo del estudio, se revisaron en la literatura investigaciones sobre el calzado médico laboral. Inicialmente se encuentra uno, realizado por el Instituto de Biomecánica de Valencia (Belenguer, 1999), que analiza en el ámbito del personal de salud, cuál es el calzado más adecuado para estos profesionales que pasan cerca del 75% de sus horas de trabajo en pie. Allí encontraron que, para estas largas jornadas, la firmeza del paso tiende a disminuir como un mecanismo de disminución de los impactos. Otro efecto visible es la disminución del ángulo de ataque del paso, con el objetivo de tener un mejor control muscular de la flexión del tobillo, disminuyendo la eficiencia de la marcha y aumentando el cansancio. En cuanto a las presiones plantares, indica que se encuentra un desplazamiento del talón respecto a su alojamiento en el calzado, aumentando las presiones en el talón.

Tabla 1.
Ejemplos de calzado nacional ofrecido como dotación para sector salud.

TIPO	TENIS	ZUECOS	MOCASÍN
Imagen			
Empresa	Gerama Calzado	Evacol	Calzado Romulo
Ciudad	Bogotá	Yumbo	Bogotá
Referencia de calzado	Ref 1911	Sku 0114-000-008	Ref: 8004
Beneficiós	Suela de materia flexible, liviano y de gran estabilidad.	Calzado liviano, antiderrapante, no es tóxico, no absorbe agua	Capacidad de agarre, memoria, plantillas removibles, absorbe el impacto al caminar.
Material	Cuero natural y goma EVA	Goma EVA	Capellada polipiel
Precio	\$93.100	\$ 48.500	\$79.900

Nota: Resumido por los autores y tomado de (Calzado Gerama, 2022), (Evacol, 2022) y (Calzado Romulo, 2022)

Actualmente el personal de la salud utiliza comúnmente calzado tipo zueco, tipo mocasín y tenis. Para tener una percepción del mercado nacional se revisaron algunos ejemplos:

A nivel internacional también se encuentran muchas opciones de calzado médico laboral en el mercado. Se seleccionaron algunas para tener una idea general de la competencia internacional:

Como resultado de la revisión del mercado nacional e internacional, se puede observar que los zuecos son el calzado más utilizado por el personal asistencial debido a su economía y la facilidad en su fabricación. Sin embargo, este calzado tiene falencias debido a su poco desarrollo en términos de ergonomía y confortabilidad. En la industria colombiana no se encuentra un calzado que cumpla todos los requerimientos de la actividad laboral, por el contrario, es una constante la utilización de calzado inadecuado o diseñado para otros propósitos. El problema se agudiza, cuando se revisa que el calzado de dotación es genérico, sin contemplar las características antropométricas y biomecánicas de cada género, desconociendo por completo al género femenino.

Otro problema que presenta el calzado comúnmente utilizado por el sector médico, es el riesgo de seguridad por el uso de los zuecos. Este tipo de calzado no presenta buen ajuste, por lo

que fácilmente se pueden ocasionar tropiezos o liberación repentina del zapato al correr o atender una urgencia. Por esta razón, Maite García del Colegio Oficial de Podólogos de la Comunidad de Valencia indica que algunas de las consecuencias podían ser esguinces, rozaduras en el empeine, dedos en garra, duricias en la zona del metatarso y talón y dolor de espalda (Europa Press, 2020). Por otro lado, la empresa de calzado (Alviflex, 2019) no recomienda el uso de zuecos, ya que el uso de calzado inadecuado también podría ser la causa de patologías como fascitis plantar, callos y durezas, hiperhidrosis, metatarsalgia, edemas, entre otros. Así también lo confirma un estudio realizado por dos técnicos de prevención de riesgos laborales, quienes afirman que adicional a los problemas de inestabilidad del pie, el zueco de goma favorece la sudoración, por lo que son necesarias las aberturas para la ventilación del pie, lo que supone de un riesgo por la posibilidad de pinchacos o el contacto directo con fluidos corporales o agentes químicos (Romo, 2022).

Un 90% de las personas prestadoras de servicios de salud en Colombia son mujeres, las cuales necesitan un diseño de zapato que sea adecuado: 1) Ergonomía y confort. 2) Protección de fluidos corpóreos y fácil limpieza. Este estudio pretende estudiar a fondo estas dos necesidades para el desarrollo de un calzado adecuado para el personal femenino asistencial.

Tabla 2.
Ejemplos de calzado internacional ofrecido como dotación para sector salud.

IMAGEN			
EMPRESA	Xiamen Seatyle Import & Export Co., Ltd	PLS	Nike
PAIS	China	Reino Unido	Estados Unidos
REFERENCIA DE CALZADO	Anti Skid Zuecos	OXYCLOG	Nike Air Zoom Pulse
BENEFICIOS	Antideslizante, Resistente a los Pinchazos, Impermeable, Antiestático	Zueco de enfermería esterilizable en autoclave.	Combina amortiguación y tracción flexible, antideslizante y con correa elástica para ajuste.
MATERIAL	EVA	Resina termoplástica (TPR)	Material sintético
PRECIO	\$9USD	\$54USD	\$120USD

Nota: Resumido por los autores y tomado de (Xiamen Seatyle Import & Export Co., Ltd, 2022), (PLS, 2022) y (Nike, 2022)

2. Variables de confort

Al analizar las características que debe tener cualquier tipo de calzado, y más aquel que está destinado a acompañar al personal de la salud, en sus largas y extenuantes jornadas laborales, vemos que deben estar asociadas a conceptos de confort, los cuales deben ser manejados de forma integral, ya que estos se relacionan entre sí, se complementan y funcionan como un todo.

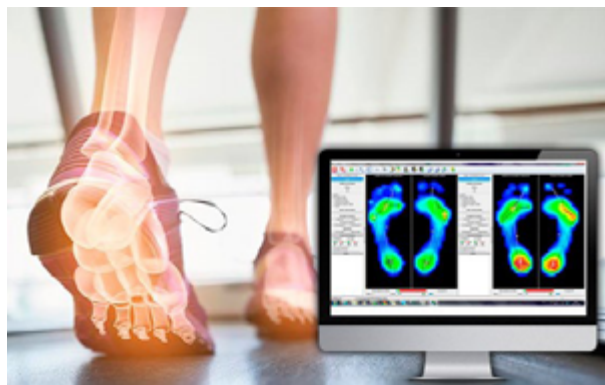
Estas variables de confort, dependiendo del usuario, del contexto y de la actividad a la cual se está dirigiendo el producto de calzado, tienen mayor o menor grado de incidencia en el desarrollo del proyecto, el cual se determina revisando los factores que afectan el uso tal como se hizo en este ejercicio de investigación. A continuación, se describen los principales elementos, de las variables de confort que tienen mayor incidencia en este producto.

2.1 Presiones plantares.

Las presiones plantares están relacionadas con la distribución de las fuerzas del pie, que provienen de la acción del peso – masa sobre el movimiento, dadas en la marcha, posturas mono pódicas, bi pódicas y en la posición sedente. La medición y análisis de dichas presiones son útiles para encontrar la causa de incomodidad y realizar un diagnóstico de una patología en puntos específicos, lo cual ayuda al adecuado desarrollo de prótesis, plantillas y calzado deportivo especializado.

Existen diferentes sistemas para medir y analizar la distribución de las presiones plantares, como los podómetros, las plantillas instrumentadas o podo barógrafo. Dichos sistemas, además de tomar los datos de presión en puntos específicos, cuentan con un software de procesamiento de

Figura 1.
PodoBarometría



Nota: Tomado de (Nunes, 2022)

datos, que realiza el análisis de esta información. De esta manera se agilizan los procesos de desarrollo e investigación.

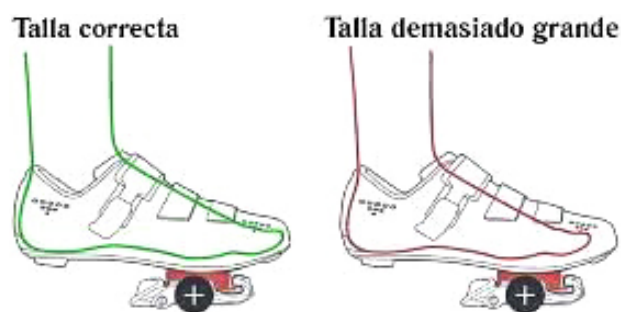
2.2 Ajuste

El ajuste en el calzado está relacionado con qué tanto se adapta el zapato al pie, en todo sentido. Por eso al hablar de ajuste se debe tener en cuenta como primera medida la talla (determinada por el sistema de medida del calzado en cada región a nivel mundial) y la forma en que han llevado los análisis de la morfología del pie a estos sistemas de medidas o tablas de tallas.

De igual forma, nos lleva a pensar en el diseño de las hormas, que son la representación de la fisonomía del pie, incorporando elementos de tipo formal estético, según el estilo del zapato que se vaya a diseñar; variables asociadas a la biomecánica y anatomía de usuario, según a la actividad asociada, al uso y factores de tipo productivo.

Por último, están aquellos elementos que haciendo parte integral del diseño del producto de calzado, ayudan a que éste se mantenga en una posición adecuada, en relación con el pie durante el desarrollo de las actividades de su usuario.

Figura 2.
Selección de la talla correcta para calzado deportivo.



Nota: Tomado de (Culto.pro, 2022)

2.2.3 Control de la temperatura

La regulación de la temperatura en el calzado se refiere en como el zapato contribuye a mantener un clima adecuado para el pie. Que se aíse el pie de la humedad del exterior y que se evite la producción excesiva de sudor desde el pie.

- Que se permita la ventilación del pie, pero sin permitir el paso de fluidos al interior del calzado.
- Que se controle la fricción interna del pie sobre el calzado, ya que esta produce un incremento en la temperatura.

- Que gestione de manera adecuada el sudor, absorbiéndolo durante el uso y permitiendo su evaporación en el tiempo de descanso.

2.4 Peso

El peso es un factor de gran importancia en el diseño de calzado laboral, ya que el incorporarle “sobrepeso” a este elemento de la indumentaria del trabajador puede causar una fatiga, que en el caso de las largas jornadas laborales, pueden resultar perjudiciales para la salud. Se considera calzado “ligero”, aquel que pesa menos de 226 gramos y “pesado” al que supera los 297 gramos. Pero es importante proporcionar al calzado la masa necesaria para que contribuya con la estabilidad del usuario, ubicándola en lugares estratégicos, según el análisis biomecánico para cada tipo de zapato.

Figura 3.
Ejemplo de medición de peso de zapato.



Nota: Tomado de (Clínica del Corredor, 2022)

2.5 Fricción

La fricción es el fenómeno físico que nos permite caminar, hace referencia al coeficiente de rozamiento dado entre la superficie de la suela y el piso que da el agarre necesario, para que al dar el paso, el pie se impulse y le permita avanzar. Si la fuerza de fricción es baja, existe riesgo de deslizarse y caer, y el impulso que se puede ejercer sobre el calzado es bajo. Si la fuerza de fricción es excesiva, se dificultan los giros, aumentando el riesgo de tropiezos. El coeficiente de rozamiento o fricción está dado por el material en que se fabrique la suela, la textura y la huella que se haya diseñado para dicho calzado.

La medición de esta variable se puede realizar sobre el calzado en el laboratorio determinando el coeficiente de fricción, el cual refleja el rendimiento antideslizante del zapato. Entre más alto sea este valor, mejor será su antideslizamiento.

Figura 4.
Imágenes representativas de la variable fricción.



Nota: Tomado de (McGowan Program Administrators, 2020)

Estos ensayos se definen por normas como la ISO 13287:2008, la cual realiza mediciones sobre dos tipos de superficies de referencia (acero, cerámica) y lubricantes (glicerina, dilución acuosa de lauril sulfato sódico). El calzado se somete a un valor específico de fuerza normal para moverse horizontalmente en relación con la superficie, como resultado de la prueba se mide el coeficiente de fricción y es comparado con los estándares mínimos, si este valor se supera, habrá aprobado la prueba y se denomina como antideslizante (Uniforma, 2016). Otra prueba de laboratorio que puede dar a conocer el antideslizamiento consiste en aplicar un fluido sobre un plano inclinado, luego la persona camina sobre esta superficie, a medida que el ángulo se va haciendo más pronunciado la persona tendrá más dificultad para caminar sin deslizarse. En el ángulo donde se resbala, se selecciona como el ángulo crítico y se ubica dentro de la clasificación del estándar (basado en norma DIN51130).

2.6 Higiene

En general, es de gran importancia el mantener la limpieza en los artículos de uso personal como la indumentaria, y en éste caso, los productos de calzado, para mantener la salud y una buena presentación en todo momento. En el caso de la dotación para el personal de la salud, cobra especial importancia, dado que se trata del elemento fundamental para conservar la vida en estos ambientes, donde los pequeños detalles hacen la diferencia. Se resaltan los siguientes aspectos en relación con la higiene:

- Que el material disminuya la probabilidad de ingreso de partículas del ambiente y microorganismos al pie.
- Que no existan lugares que permitan la acumulación de suciedad.

- Que el producto de calzado no cuente con mecanismos que posibiliten el transporte o dispersión de elementos contaminantes.
- Que el producto de calzado de fácil limpieza, teniendo acceso a todos elementos que lo componen.
- Que los productos de calzado puedan ser compatibles con otros elementos de seguridad e higiene con que cuente la entidad de salud.

3. Estudio de las necesidades del personal de la salud

3.1 Metodología

Para conocer los requerimientos del sector salud, se realizó un trabajo de campo en el que 20 voluntarias contaron al equipo de trabajo su experiencia con el calzado que utilizaban actualmente para realizar sus actividades diarias. Se seleccionaron 10 voluntarias que trabajaban en áreas quirúrgicas que permanecían de pie toda la jornada laboral con cortos movimientos y 10 voluntarias que estaban en constante movimiento, como enfermeras y médicas internistas. El instrumento utilizado para todas las entrevistas fue el mismo, en este se consultaba sobre la edad, la experiencia, la profesión, las actividades recurrentes laborales, las jornadas de trabajo más largas, ubicación corporal del cansancio, tipo de calzado actual, beneficios, problemas que le ha generado, mejoras que realizaría al calzado y una descripción del calzado ideal.

3.2 Resultados Obtenidos

Al realizar las encuestas se encuentra como característica común, que el personal de salud trabaja largas jornadas (mínimo 8 horas y puede extenderse hasta 12 horas). Lo anterior genera cansancio principalmente en las extremidades inferiores, centrándose en los gastrocnemios y en el talón. Actualmente las personas más jóvenes en el área de instrumentación utilizan zuecos de nitrilo, elaborados en una sola pieza. De las entrevistas se determinó que el personal de la salud utiliza principalmente 3 tipos de calzado: zuecos, zapato tipo mocasín y zapato deportivo o tenis. Dentro de los hallazgos arrojados por las entrevistas, se encuentra que los requisitos en indumentaria médica antes de la pandemia estaban más dirigidos hacia la jerarquización y actualmente se dirigen más hacia la bioseguridad de los espacios.

Otro aspecto para resaltar: El personal médico entrevistado en su gran mayoría adquiere su

calzado laboral según su preferencia, ya sea en marcas especializadas en dotaciones o calzado deportivo. Algunos de los más comunes son los zuecos de una sola pieza, que permiten al usuario sentirse cómodo al inicio de su jornada laboral. Sin embargo, ya a la mitad de la jornada, lo encuentran problemático. Este aspecto se confirma con lo indicado por el Dr. Gustavo Rincón, jefe servicio de ortopedia en el Hospital San José de Bogotá, quien indica para la revista Diner's que utilizar este tipo de calzado por largas horas puede llegar atrofiar la fascia plantar (Mena, O, 2021). Adicionalmente, se encuentra que el personal más joven o con menor experiencia en el área, tiene la tendencia a elegir el calzado de una sola pieza, por aparente comodidad, estética, facilidad de limpieza y adquisición. Mientras que las personas con mayor tiempo de experiencia priorizan su comodidad, seguridad y salud, eligiendo otro tipo de calzado como tenis o mocasín. Esto por los accidentes presentados con el uso de zuecos, se zafan, se resbalan en suelos húmedos y nos les permite correr.

De las entrevistas se infiere que el diseño del calzado debe estar enfocado a dos grupos: El primero de ellos, las personas que permanecen largas jornadas de pie, sin desplazamientos significativo. El segundo, el personal que tiene como actividad principal el moverse en las diferentes áreas, debido a la naturaleza de sus funciones y la necesidad del servicio. También es importante considerar en el diseño, que para cada una de las áreas se cuentan con protocolos diferentes, por ejemplo, en salas de cirugía y laboratorios, es necesario que el calzado sea completamente cerrado, para evitar contacto de la piel con fluidos corporales.

En cuanto al calzado ideal para las voluntarias entrevistadas, se refieren a un zapato elegante, liviano, flexible, cómodo, con buena ventilación, pero a la vez anti fluido, cerrado, antideslizante, con diseños femeninos, fáciles de lavar, similares a tenis suaves y con protección al frío.

3.3 Análisis cualitativo de las variables de confort en calzado de uso actual

Para el calzado actual, se seleccionaron las variables más importantes reconocidas en las entrevistas y se dio una calificación cualitativa de 1 a 10, donde 10 expresa que el calzado favorece al usuario en ese aspecto y es adecuado para su aplicación. Al final se ponderaron los resultados, para conocer el tipo de calzado que más satisface las necesidades de los trabajadores de la salud.

Tabla 3.
Evaluación cualitativa para el calzado laboral médico común.

VARIABLE	MOCASÍN	BOTÍN	ZUECO CON PERFORACIONES	ZUECO CERRADO
Ajuste	8	10	4	4
Control humedad	7	6	10	9
Confort térmico	6	6	4	4
Gestión del sudor	2	2	2	2
Peso del Calzado	4	5	3	3
Distribución de fuerzas	2	2	2	2
Fricción	7	7	7	7
Impermeabilidad al pie	6	8	4	5
Antibacterial	8	8	4	6
Antropometría	7	5	2	2
Resistencia química	8	8	4	6
Higiene	6	4	8	8
Flexibilidad	4	2	5	5
TOTAL	5,8	5,6	4,5	4,8

3.4 Determinantes y Requerimientos.

Como metodología utilizada para llevar a cabo el presente ejercicio de investigación y de diseño de producto, se realiza un proceso de análisis de las variables implicadas. El objetivo es elaborar una matriz de Determinantes y Requerimientos, que nos permita establecer el “¿Qué?” es lo que se necesita o DETERMINANTE y el “Cómo” lo vamos a realizar o REQUERIMIENTO puntualizando así, las especificaciones del producto en desarrollo.

4. Medición de presiones plantares en calzado utilizado actualmente

4.1 Metodología de medición de presiones plantares

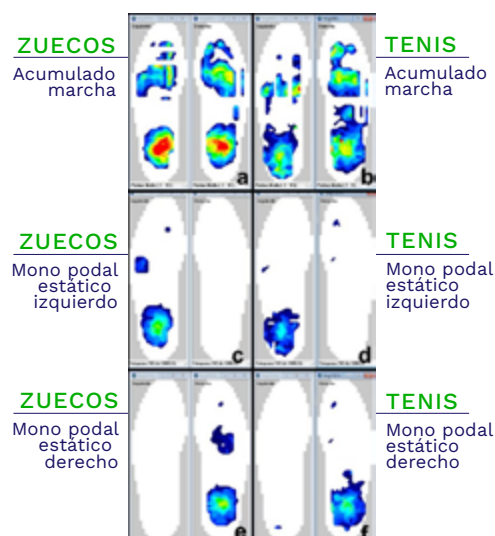
Con el objetivo de realizar una caracterización del personal que labora en los servicios de salud, se considera el dividirlos en dos grupos. El primero, quienes están en una sala de cirugía o laboratorio cuyos movimientos o pasos son reducidos (usuario estático) y quienes recorren pisos o se encuentran en salas de urgencias, cuyo movimiento es constante (usuario móvil).

Para el “usuario estático” se realizaron mediciones con zuecos y tenis, ya que se encontró que era el tipo de calzado más común. Y para el “usuario

móvil” se realizaron mediciones con zuecos, mocasín y tenis, también seleccionados por los resultados de la entrevista. Para todos los tipos de calzado analizados se hicieron dos mediciones:

- Marcha: 7 pasos al frente, un giro y 7 pasos de retorno
- Postura mono podal: recargando el peso primero sobre el pie derecho 10 segundos y luego 10 segundos sobre el pie izquierdo.

Figura 5.
A la izquierda medición de presiones plantares con zuecos en nitrilo marca nacional y a la derecha zapatos deportivos con plantilla.



Nota: Movimiento de marcha (a - b), medición estática mono podal sobre pie izquierdo (c-d), medición estática mono podal sobre pie derecho (e - f).

Tabla 4
Cuadro de determinantes y requerimientos para calzado laboral en sector salud.

VARIABLE DE CONFORT	DETERMINANTE	REQUERIMIENTO
Presiones plantares	Debe permitir la distribución de las presiones plantares en toda la superficie plantar	Plantilla, suela que eviten la acumulación de presiones plantares en lugares detectados como críticos
Ajuste	El tallaje manejado debe estar acorde con las características de la población objetivo El diseño de la horma debe permitir que el pie se acople de manera adecuada al producto de calzado	Se va a trabajar un calzado para la población femenina enmarcada en la labor del personal de la salud, médico, asistencial. El diseño de la horma se realizará teniendo en cuenta la morfo fisionomía del pie de la usuaria, teniendo en cuenta que cuente con: - Espacio en caña media para la protección de la zona del tobillo. - Punta ancha y redondeada para permitir el movimiento de los dedos del pie. - Altura mínima del tacón de 1 y medio máximo 2cm, con el fin de permitir una posición natural del pie y que contribuya con la distribución de las presiones plantares. - Incorporación de sistema de ajuste que permita la entrada del pie en el momento del calce, pero que evite la caída o desajuste del zapato durante el uso.
Control de la temperatura	Debe permitir mantener un ambiente confortable al interior del calzado	Control de la humedad, Regulación de la temperatura, Aislamiento térmico, Ventilación apropiada, Gestión del sudor Evitar la fricción interna
Peso	Se debe desarrollar un calzado liviano.	El producto de calzado en total no debe superar XX gr, y se debe hacer una distribución del peso que le otorgue estabilidad a la usuaria.
Fricción	La superficie de la suela debe permitir un agarre adecuado a las superficies de la Unidad de salud, teniendo en cuenta el uso en el piso de detergentes, desinfectantes, la presencia de fluidos corporales y agua de manera constante.	Desarrollo de material con adecuado coeficiente de rozamiento, según las características del suelo de las unidades de salud. Permitiendo seguridad al caminar y correr, por medio de la fricción, sin impedir los movimientos de giro, retroceso y salto.

Las mediciones fueron realizadas con un equipo F-Scan System de Tekscan, con plantillas para mapeo de presión con 954 sensores resistivos.

4.2 Resultados

“Usuario estático - marcha”:

Al revisar el promedio de pico de presión al caminar, se observa que con los zuecos se logran valores de presión mayores en puntos centralizados. Se aprecia en la Figura 5. A la izquierda medición de presiones plantares con zuecos en nitrilo marca nacional y a la derecha zapatos deportivos con plantilla.

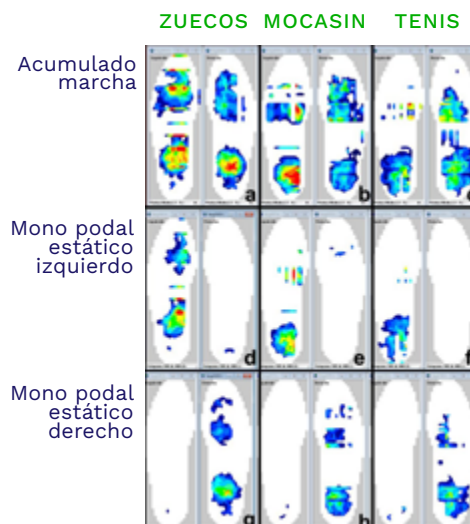
La medición sobre este tipo de calzado indica un punto de alta presión sobre el centro del talón, marcándose en la escala de color rojo, naranja y amarillo. Por otro lado, se observa, en la medición de la derecha (zapato deportivo con plantilla) una mejor distribución de las fuerzas aplicadas sobre el sensor, evitando concentrarse en punto.

Cabe resaltar que, dentro de la imagen de la derecha, se puede observar el punto de giro, como un elemento de interés, ya que logra un valor de presión alto. Esto debido a que dentro de la medición se realiza un giro que ocasiona una alta presión, convirtiéndose en un requerimiento

al momento de establecer la forma del calzado. Adicionalmente se observa que el punto de giro sobre los zuecos es más débil, la presión plantar alcanzada está en menor escala, y puede ser consecuencia del poco ajuste del calzado.

Figura 6.

A la izquierda medición de presiones plantares con zuecos en nitrilo marca nacional, en el centro zapato tipo mocasín y a la derecha zapatos deportivos con plantilla.



Nota: Movimiento de marcha (a - c), medición estática mono podal sobre pie izquierdo (d-f), medición estática mono podal sobre pie derecho (g - i).

5. Proceso de definición formal de los productos en desarrollo

En este ejercicio, tomamos como punto de partida a nuestro grupo de usuarias, que corresponde a las mujeres que trabajan en los servicios de atención en salud, de las que podemos resaltar su inteligencia, actitud de servicio, entrega a la labor, trabajo incansable, perseverancia, orden y carácter metódico.

Diagrama de competencias de la usuaria. En el centro hay un icono de una enfermera con un estetoscopio, rodeado por un círculo verde. Alrededor de este centro hay cinco círculos grises que contienen las palabras: RIGOR, INTELIGENCIA, ENTREGA, DISCIPLINA y MÉTODO.

5.1 Punto de inspiración

Estas características han llevado a que los núcleos de panel de abeja se empleen en papel de aramida (Kevlar), Nidaplast, cartón, polipropileno y aluminio, para un alto número de aplicaciones en la industria aeronáutica, de construcción, automotriz y marina. También es reconocida por ser una estructura muy buena para la absorción de impactos, ya que al recibir el impacto genera una curva esfuerzo vs deformación con una carga constante, lo que indica que absorbe la energía gradualmente durante el aplastamiento del material (Morones, 2015).

5.2 Panel de ideas.

Con el objetivo de contar con la mayor cantidad de elementos posibles para el desarrollo de cada uno de los componentes de los productos de calzado en desarrollo, se elaboró el siguiente Panel de inspiración, del cual se toman líneas de diseño, relaciones geométricas, detalles constructivos, manejo de proporciones.

5.3 Desarrollo de bocetos.

PALETA DE COLOR

55

productos a una realidad comercial, es sabido que, en varias ocasiones, tendrán que encajar con los colores distintivos de las entidades de salud.

Figura 9.
Paleta de color



PROCESO DE BOCETACIÓN

Los bocetos están inspirados en el panal de abejas, se tomó en cuenta su forma hexagonal para generar la simulación de cortes, piezas sobrepuestas y costuras. De igual manera se realizaron combinaciones de color con las diferentes piezas para generar un diseño innovador y llamativo.

Figura 10.
Bocetos para calzado con cordones



El desarrollo de los prototipos para el calzado en el sector salud, está enfocado en el panal de abejas, en la figura geométrica del pentágono. Se resalta la figura geométrica dentro de todo el calzado, como si este fuera una estructura de un panal completo, con repeticiones del pentágono, generando así innovación en el diseño. Tiene un principio de diseño en los suecos al no utilizar cordones para amarrar en cambio utilizar un resorte para su ajuste en el empeine del pie.

Para el caso de las suelas, siguiendo la figura geométrica del pentágono, se crean patrones en la planta del pie para garantizar al trabajador de la salud, estabilidad y comodidad en su jornada y en el caso que encuentren fluidos o alguna otra sustancia que pueda generar deslizamientos en el piso no ocurra un accidente. También en los puntos de mayor presión en la pisada, el módulo de diseño será más grande para garantizar la comodidad del trabajador.

Figura 11.
Bocetos para calzado de una sola pieza.



Figura 12.
Bocetos para suelas de calzado de una sola pieza.



Conclusiones y recomendaciones

Dentro del diseño de calzado, se deben considerar todas las variables que permitan el confort de cliente, dentro de las cuales las más importantes son: distribución de presiones plantaras, ajuste, control de temperatura, peso, fricción e higiene. Realizando este análisis para el calzado del sector hospitalario, se encontró que el calzado tipo zueco de goma EVA, presenta mala distribución de fuerzas en el talón, que puede generar problemas o enfermedades a futuro en la salud del personal. Asimismo, se encontró que iniciar el proceso de diseño, el reconocimiento de todas las variables implicadas y analizando estas a profundidad, permite que el producto final satisfaga mejor la necesidad del usuario.

Al tener esta base conceptual definida y las primeras aproximaciones formales, se recomienda como línea de acción el continuar con el proceso de diseño y desarrollo del producto, teniendo como objetivo la realización de las siguientes actividades:

- Pruebas de resbalamiento, con el objetivo de contar con mayores criterios de selección de material de suela y lineamientos para la definición de la huella.

- Pruebas de manejo de la temperatura sobre las tipologías utilizadas actualmente y sobre los prototipos desarrollados.
- Desarrollo de nuevos bocetos, incluyendo los parámetros recientemente incorporados.
- Elaboración de modelos 3D por medio de software especializado.
- Impresión 3D en materiales alternativos para la visualización del producto desarrollado.
- Impresión 3D en los materiales seleccionados para la puesta a prueba del producto, teniendo en cuenta los criterios técnicos definidos.
- Diseño, elaboración y puesta en marcha de Wearables, que se incorporarán a los productos de calzado, con el fin de complementar los beneficios del producto, teniendo en cuenta las necesidades y aspiraciones del grupo usuario

Referencias bibliográficas

Alviflex. (2019, marzo 20). No se recomienda utilizar zuecos para trabajar. Alviflex - Zapatos Ortopédicos - Calzado Ortopédico Mujer. <https://www.alviflex.es/blog/no-utilizar-zuecos-para-trabajar/>

ANEC: Situación actual de la enfermería en Colombia. (2020, mayo 14). <https://consultorsalud.com/anec-situacion-actual-de-la-enfermeria-en-colombia/>

Belenguer, A. C. G. (1999). Calzado para el personal sanitario. Revista de biomecánica, 4.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). Ciencia e ingeniería de materiales. Reverte.

Calzado Romulo. (2022). Línea Dotación Polipiel Marca Romulo Ref: 8004 - \$ 79.900. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-598980717-linea-dotacion-polipiel-marca-romulo-ref-8004-_JM

Clínica del Corredor. (2022). Índice minimalista. La Clínica del Corredor Cursos de Biomecánica y Running. <https://laclinicadelcorredor.com/indice-minimalista/>

Culto.pro. (2022). Desmitificando la talla de tus zapatos. Culto.pro. <https://culto.pro/cleat-position/>

Enfermería, R. M. y de. (2022, febrero 24). ▷ Mal uso del zueco en el ámbito hospitalario. Normativa de aplicación. Ocronos - Editorial Científico-Técnica. <https://revistamedica.com/zueco-normativa-aplicacion/>

Europa Press. (2020). Podólogos advierten que el uso de zuecos en el trabajo no es aconsejable y conlleva riesgos. Europa Press. <https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-podologos-advierten-uso-zuecos-trabajo-no-aconsejable-conlleva-riesgos-20200129180720.html>

Evacol. (2022). Zueco Dotación Antideslizante. <https://www.evacol.com/zueco-0114-000-36-blanco-bla>

Protect Hospitals and Patients During an Active Shooter Incident—McGowan Program Administrators. <https://www.mcgowanprograms.com/blog/hospitals-patients-active-shooter/>

Mena, O. (2021, febrero 1). ¿Cuáles son las consecuencias de andar en crocs durante todo el día? Revista Diners. https://revistadiners.com.co/estilo-de-vida/78361_cuales-son-las-consecuencias-de-andar-en-pantuflas-durante-todo-el-dia/

Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). Colombia cuenta con 122.800 médicos al servicio de la población. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-cuenta-con-122800-medicos-al-servicio-de-la-poblacion.aspx>

MinSalud. (2021). El trabajo y la atención a las mujeres se destacan en el sector salud. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/El-trabajo-y-la-atencion-a-las-mujeres-se-destacan-en-el-sector-salud.aspx>

Moreno Arroyo, M. C., Jerez González, J. A., Cabrera Jaime, S., Estrada Masllorens, J. M., & López Martín, A. (2013). Turnos de 7 horas versus 12 horas en enfermería intensiva: Vivir a contratiempo. Enfermería Intensiva, 24(3), 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2013.04.002>

Morones, A. (2015). INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. 135.

Nike. (2022). Calzado Nike Air Zoom Pulse. Nike.com. <https://www.nike.com/us/es/t/calzado-air-zoom-pulse-xmlmwMX>

Nunes, G. (2022). Você sabe o que é o exame de Baropodometria? Jornal A Plateia. <https://www.aplateia.com.br/2022/02/10/voce-sabe-o-que-e-o-exame-de-baropodometria/>

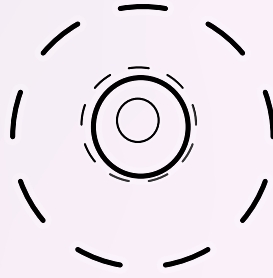
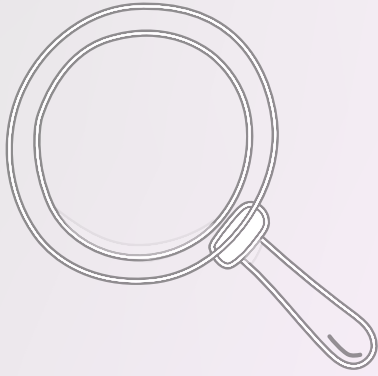
PLS. (2022). Oxypas OXYCLOG Autoclavable Nursing Clogs. https://www.pls-shop.co.uk/product/oxyclog-autoclavable-nursing-clog/?attribute_pa_size=eu-47-48&attribute_pa_colour=electric-blue

Uniforma. (2016, febrero 19). Zapatos de trabajo antideslizantes. Uniforma. <https://www.uniforma.net/blog/zapatos-de-trabajo-antideslizantes/>

Xiamen Seatyle Import & Export Co., Ltd. (2022). [Hot Item] Nuevo diseño Anti Skid Zuecos de seguridad zapatos de trabajo para la cocina el chef Hospital Medical. Made-in-China.com. https://es.made-in-china.com/co_seatyle/product_New-Design-Anti-Skid-Safety-Clogs-Work-Shoes-for-Kitchen-Chef-Hospital-Medical_uoyeenoonny.html

Zapatos tenis de amarrar para enfermería de color blanco cuero genuino y suela resistente, liviana y flexible. Envío gratis. (2022). Tienda - Fábrica de Calzado Gerama Ltda. <https://tienda-fabrica-de-calzado.gerama.co/producto/zapatos-tenis-de-amarrar-para-enfermeria-ref-1911-suela-luciana/>





Nanotecnología

antibacterial en textiles



Antibacterial nanotechnology in textiles

Ángela Quiroga-Vergel*

Resumen

ABSTRACT

Las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS) son uno de los principales problemas a los que se tienen que enfrentar las entidades prestadoras de salud. Una de las causas de estas infecciones es la contaminación cruzada que se presenta al utilizar las mismas sábanas, fundas, cortinas o batas para atender a varios pacientes. Por lo que en los últimos años se ha aumentado el uso de textiles antibacteriales en el sector hospitalario; sin embargo, la oferta actual en el mercado tiene falencias en la durabilidad y eficacia del efecto antibacterial. Para mejorar estas características, la nanotecnología ofrece alternativas, que fueron revisadas en la literatura y expuestas en el presente artículo. La metodología utilizada para la vigilancia tecnológica inició realizando una búsqueda general sobre textiles antibacteriales, luego se enfocó en una de las principales técnicas para la fabricación de nanofibras, en seguida se enlistaron los agentes antimicrobianos más importantes, las pruebas con las que se verifica su eficacia y se profundizó la búsqueda en dos agentes antimicrobianos, uno inorgánico (nanopartículas de plata) y otro orgánico (quitosano). La búsqueda finalizó con una revisión de textiles antibacteriales en Colombia y las perspectivas futuras.

Palabras clave:

Antibacteriales, AgNp, Electrospinning, Nanofibras, Nanotecnología, Quitosano.

Infections associated with health care (IAAS) are one of the main problems facing healthcare providers. One of the causes of these infections is the cross-contamination that occurs when using the same sheets, covers, curtains, or gowns to care for several patients. Therefore, in recent years the use of antibacterial textiles in the hospital sector has increased; however, the current offer on the market has shortcomings in the durability and efficacy of the antibacterial effect. To improve these characteristics, nanotechnology offers alternatives, which were reviewed in the literature and presented in this article. The methodology used for technological surveillance began by conducting a general search on antibacterial textiles, then focused on one of the main techniques for the manufacture of nanofibers, then the most important antimicrobial agents were listed, as well as the tests with which their effectiveness is verified. and the search was deepened in two antimicrobial agents, one inorganic (silver nanoparticles) and the other organic (chitosan). The search ended with a review of antibacterial textiles in Colombia and prospects.

Keywords:

Antibacterial, AgNp, Electrospinning, Nanofibers, Nanotechnology, Chitosan.

Introducción

La búsqueda del ser humano por obtener textiles antibacteriales se remonta a la edad antigua, por ejemplo, los egipcios funcionalizaban los textiles con especias y hierbas para envolver las momias, evitando así que las bacterias y hongos descompusieran el cuerpo. Otro ejemplo, es la cultura China, donde se utilizan fibras de bambú, las cuales contienen un compuesto antimicrobiano, para aumentar la durabilidad de la estructura de viviendas. Sin embargo, no solo en la época antigua se generaron estas búsquedas por conseguir textiles antibacteriales, en la segunda guerra mundial, las telas militares se trataron con sales de antimonio, cobre y una mezcla de ceras coloradas, para que aumentara su actividad antimicrobiana, disminuyera la probabilidad de pudrirse por lluvias y nieve y aumentara su durabilidad. Actualmente la modificación superficial de textiles incluye técnicas como electrospinning, nanotecnología, tratamiento plasma, polimerización, microencapsulación y técnicas sol-gel. En el artículo de revisión de textiles antimicrobianos, (Gulati et al., 2021) se indican algunos de los principales sectores de la industria donde los textiles con estas propiedades son de interés:

- Prendas de vestir: gorras, chaquetas, toallas sanitarias, ropa deportiva, ropa interior, ropa de invierno.
- Comercial: alfombras, revestimiento de asientos, lonas, vehículos, etc.; paños para quitar el polvo, tela militar, tienda de campaña, uniformes.
- Cuidado de la salud: vendas, auriculares, exfoliantes, máscaras, batas de laboratorio, kits de protección.
- Hogares: ropa de cama, alfombra, cobertor, cortinas, trapeador, almohadas, toallas.

Particularmente, en el área de la salud, se utiliza de manera cotidiana un alto número de textiles antibacteriales para prevenir y disminuir las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS), por lo que la investigación en tecnologías que permitan la mejora de estos textiles es de suma importancia. Un gran número de estudios se enfoca en impregnar textiles con agentes antimicrobianos, como lo mencionan (Schneider et al., 2021) en su artículo, en el cual se analizan diferentes autores quienes comentan que las sustancias más utilizadas

son las nanopartículas de plata y los óxidos de cobre; por ejemplo, en uno de ellos, se utilizó un tejido de poli algodón (compuesto por poliéster y algodón) impregnado con nanopartículas de plata, donde se obtuvieron resultados positivos en un 99% con virus (SARS-CoV-2 sobre la superficie textil) en tan solo dos minutos.

Recientemente, la pandemia por el Covid-19, fue sin duda un episodio que llevó a los investigadores en muchas áreas a fijar sus esfuerzos en detener o contrarrestar el virus. Algunas investigaciones fueron realizadas en torno a textiles antimicrobianos, como lo muestra el artículo de revisión (Mallakpour et al., 2021). Allí se referencian estudios con efecto antibacterial, antifúngica y antiviral, a partir de un textil de algodón y poliuretano modificado con éster-base benzofenona cuaternaria y amina; así como recubrimientos de nano clúster de plata y sílice, para depositarlos sobre filtros de algodón, vidrio y metálicos, mostrando un buen desempeño antiviral. Otro de los ejemplos, es el uso de ácido tánico en la funcionalización de telas filtrantes de polipropileno, con las que se logra una alta capacidad de captura de virus, en comparación al no funcionalizado. También, se mencionan textiles respetuosos con el ambiente, como uno obtenido con celulosa funcionalizada con nanopartículas de plata, el cual mostró resultados favorables para bacterias grampositiva y gramnegativas.

Por lo anterior, dotar a los textiles de propiedades antimicrobianas ha sido y será de gran importancia para la humanidad. Esto ha llevado a que se realicen investigaciones en el área de nanotecnología, para ofrecer propiedades antibacteriales más efectivas y duraderas a los textiles (Petrova et al., 2021). Se inició con la impregnación en la superficie de sustancias como dióxido de titanio, cobre, sales de plata y de amonio cuaternario que requerían el uso de grandes cantidades de solventes, muchos de ellos perjudiciales para el ambiente, con actividad antibacteriana muy limitada en el tiempo y alteración en la textura de los tejidos. De manera más reciente se ha utilizado la combinación de materiales que en ocasiones requieren grandes proporciones en la mezcla lo cual disminuye su capacidad de ser cargados con agentes antimicrobianos (por ejemplo, fibras de cáñamo y metálicas). Así, la funcionalización de textiles para aportar propiedades antibacterianas requiere no sólo la búsqueda de técnicas eco amigables sino económicamente viables, que optimicen la carga de agentes antimicrobianos y sean altamente reproducibles (Qiu et al., 2020). Asimismo, en el artículo de Idumah (2021), se resumen las aplicaciones de la nanotecnología en el área textil, especificando como una de ellas la obtención de

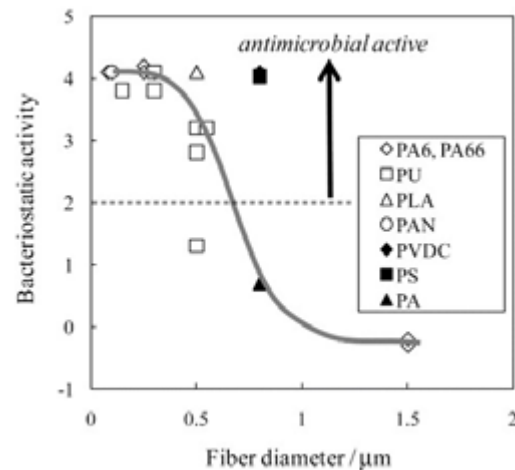
textiles antivirales y antibacteriales. En este se indica que diversas nanopartículas, de TiO₂, ZnO, CuO y plata, pueden favorecer comportamientos antibacteriales y antifúngicos en textiles. Idumaha un ejemplo de textiles impregnado con nanopartículas de CuO, como sabanas, ropa de personal, batas, pañales, pijamas, entre otros. Esta modificación a los textiles es capaz de reducción de la carga biológica y disminuye el riesgo de infecciones asociadas a la atención en salud.

Por otro lado, se debe considerar que el aumento de la población de los últimos años ha facilitado la hacinación y bajos niveles de higiene en algunas poblaciones con alta densidad poblacional, llevando al aumento de enfermedades de origen microbiana. Para la salud pública es muy importante reducir estas infecciones bacterianas y la propagación de patógenos. Los cuales son transmitidos por artículos de consumo humano como lo son el agua potable, los alimentos, los artículos de cuidado personal y los textiles. El reducir estos patógenos o su transmisión llevaría a un ahorro en el presupuesto de salud de los gobiernos y disminuiría las afectaciones en la población. Como comentan Huang y colegas (2020) los nanomateriales cuentan con unas propiedades químicas y físicas únicas, que pueden permitir el desarrollo de productos antibacteriales, como por ejemplo nanomateriales basados en ZnO, CuO y Ag, los cuales son tóxicos para microorganismos y pueden inhibir su proliferación. Así mismo, Huang nos indica que es importante considerar que a pesar de las ventajas que presentan estos compuestos, también pueden ser tóxicos para organismos no objetivo como bacterias, hongos y algas, que se encuentren, por ejemplo, en cuerpos de agua y sean un punto final de deposición de residuos de lavado o filtrado con esos nanomateriales. Lo anterior también lo confirman Gulati y colaboradores (2021) en su artículo de revisión, ya que indican que de las nanopartículas metálicas no se conoce aún el impacto ambiental que puedan generar. Por lo tanto, se tiene el reto de establecer un sistema para disposición de estos textiles.

Una de las alternativas para la reducción del impacto ambiental, la liberación controlada de biocidas y la generación de antibacteriales más duraderos, es la fabricación de nanofibras. Estas son nanomateriales de una dimensión, entre 1 y 100 nanómetros. Una de las técnicas para la fabricación de estas nanofibras es el electrospinning, la que se trabajó por primera vez en 1600 por Gilbert y no fue sino hasta 1845 que se continuó la

investigación en métodos de hilado por Schwabe (Barhoum et al., 2019). En el artículo de Matsumoto y Tanioka (2011), se referencia un estudio de la aplicación de nanofibras de quitosano, en la cual comparan 2 membranas de microfibras comerciales (una de PET y otra de quitosano) con una membrana de nanofibras de quitosano, la que presenta un efecto antibacterial más efectivo, esto debido a la alta área superficial. En este artículo, también es presentada una gráfica que presenta la estrecha relación entre el diámetro de fibra de membranas y su actividad antimicrobiana, mostrando que membranas de fibras con tamaño menos a 800nm muestran una mejor actividad antimicrobiana (Figura 1).

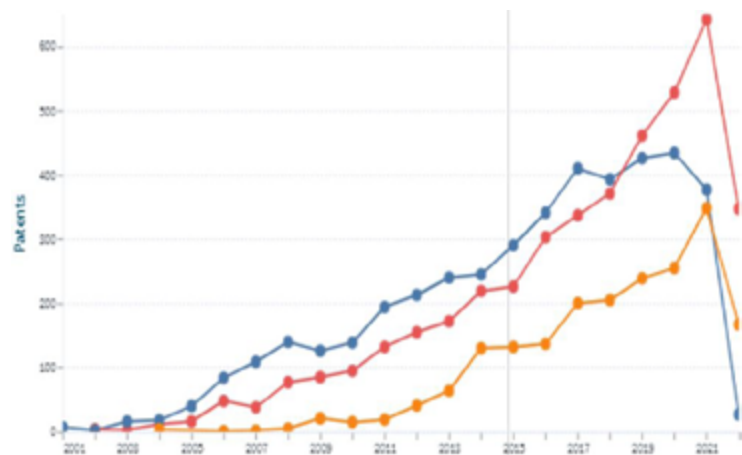
Figura 1.
Relación entre el diámetro de fibra y su actividad antibacterial.



Nota. Gráfica tomada de (Matsumoto & Tanioka, 2011)

El estudio de nanofibras se ha ido incrementando en los últimos años, según indica The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search (2022), ya que el número de patentes publicadas en 2021 fue superior a 600 y a mostrado un crecimiento considerable desde 2001, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2.
Número de patentes publicadas en últimos años, sobre nanofibras antibacteriales.

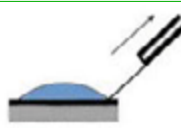
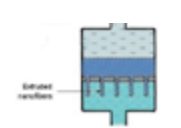
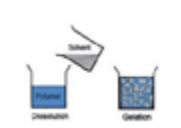
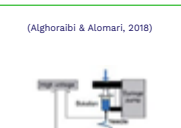


Nota. Gráfica generada en (The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search, 2022)

Para la fabricación de nanofibras, los principales métodos de fabricación reportados en la literatura son los siguientes:

Tabla 1

Métodos de fabricación de nanofibras

MÉTODO DE FABRICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	DIBUJO
Drawing: Gota de solución de polímero con una punta afilada y dibujarlo como una fibra líquida que luego se solidifica por rápida evaporación del solvente debido a la alta área superficial.	-Montaje experimental sencillo y requisitos mínimos. -Conveniencia del proceso	-Proceso discontinuo -Dificultad con el control del tamaño de fibra	 (Alghorai & Alomari, 2018)
Template synthesis: produce nanofibras al pasar una solución de polímero a través de los poros de diámetro a nanoescala bajo la aplicación de presión de agua.	-Control simple del diámetro de las fibras.	-El proceso no se puede escalar	 (Alghorai & Alomari, 2018)
Phase separation: las fases se separarán debido a la incompatibilidad física. La fase del solvente luego se extrae de la solución mientras que la otra fase permanece.	-Pocos requisitos -Se puede producir matriz de nanofibras	-Pocos requisitos -Aplicable solo a polímeros particulares.	 (Alghorai & Alomari, 2018)
Self-assembly: las moléculas se organizan y organizan en patrones o estructuras a través de fuerzas no covalentes tales como enlaces de hidrógeno, fuerzas hidrofóbicas y reacciones electrostáticas.	-Conveniente para producir fibras ultrafinas	-Complejidad del proceso -Problema con el control del tamaño de la fibra en el proceso.	 (Alghorai & Alomari, 2018)
Electrospinning	-Es completamente escalable -Económico -Excelente repetibilidad y conveniencia -Pueden obtenerse fibras continuas y uniformes -Control simple de diámetro de la fibra.	-Inestabilidad del chorro	 (Alghorai & Alomari, 2018)

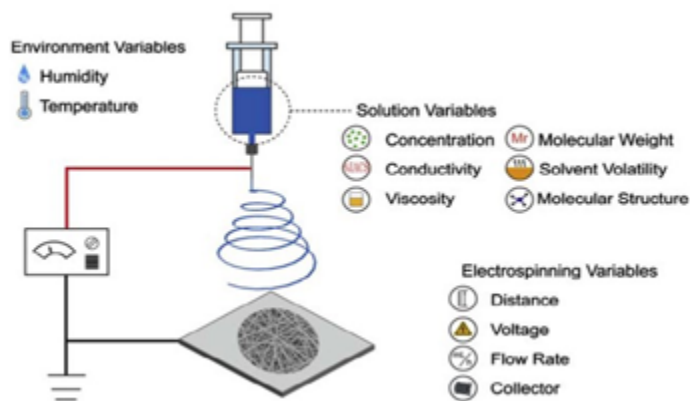
Nota. Tomado de: (Maliszewska & Czapka, 2022) (Mirjalili & Zohoori, 2016)

Electrospinning

A partir de la revisión bibliográfica y como se presenta en la Tabla 1, el electrospinning es una de las técnicas más comúnmente utilizadas para obtener nanofibras. En esta, una o varias soluciones poliméricas son cargadas a una bomba que empuja el embolo de una jeringa hasta la aguja, en la cual se aplica un alto voltaje, dando como resultado un chorro que sale de la punta de la aguja, este forma lo que se denomina un cono de Taylor que luego, prolongan el chorro hasta que se forman fibras en tamaño micro o nanométrico. La formación de fibras delgadas y continuas depende de la correcta combinación de todas las variables de la técnica, las cuales fueron analizadas por los autores Brown y Stevens (2007), Williams y colaboradores (2018) y Zaikov (2017) y son resumidas a continuación:

- **Peso molecular del polímero:** si este es muy bajo, la técnica formará esferas, pero si este valor es muy alto, las fibras se formarán en escala micrométrica.
- **Tensión superficial:** al reducir esta propiedad, las esferas que se forman pueden convertirse en fibras lisas.
- **Conductividad:** al aumentar esta propiedad en la solución, el chorro se carga más y forma fibras más delgadas.
- **Potencial eléctrico:** si se utiliza un valor bajo, es posible que no forme fibras y por el contrario al aumentar el voltaje, permite la formación de fibras más delgadas.
- **Flujo:** si este es bajo, da suficiente tiempo para la polarización, si es alto producirá fibras gruesas con burbujas.

Figura 3.
Dibujo conceptual de la técnica electrospinning.



Nota. Ilustración tomada de (Ding et al., 2018)

- **Concentración:** una mayor viscosidad en la solución de trabajo refleja una mayor concentración de la solución, lo cual formará microfibras en forma de hélice. A medida que baja la concentración se formarán perlas con nanofibras y a baja concentración se obtienen nanopartículas.
- **Distancia entre aguja y colector:** si es muy corta no forma fibras y disminuye el tiempo de evaporación del solvente, al ser más alta no forma fibras uniformes.
- **Parámetros ambientales (temperatura y humedad):** a una baja humedad el solvente se va a evaporar a mayor velocidad, a alta humedad el diámetro de las fibras es mayor.

Para conocer un poco más de la técnica electrospinning, sus componentes y como se ve un equipo de laboratorio, puede revisar este video en YouTube realizado por la Universidad de Sevilla (2021), el cual indica claramente estos aspectos:

Una las principales ventajas de esta técnica, es que permite obtener fibras mezcladas con compuestos que puedan darle otro tipo de propiedades al textil. Por ejemplo, Jia y colaboradores (2019) con el objetivo de mejorar las propiedades de la celulosa y crear nanofibras con propiedades antibacteriales,

Figura 4.
Video educativo en español sobre proceso de electrospinning.



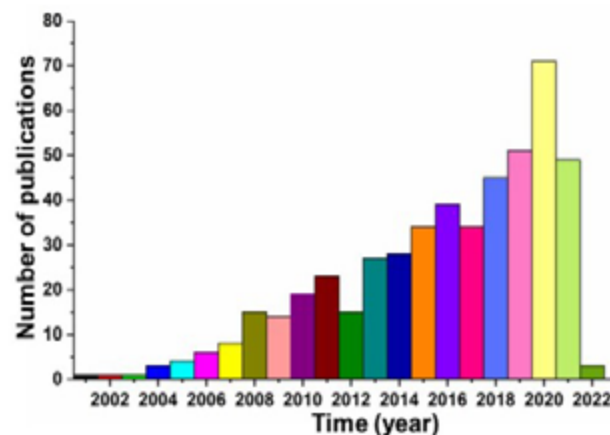
Nota. Video de Plataforma Youtube (Universidad de Sevilla, 2021)

utilizaron la técnica electrospinning para la fabricación de nanofibras con TiO_2 y óxido de grafeno. En la preparación de la solución, utilizaron una mezcla 2:1 de acetona y DMF, a esta agregaron 8% peso de acetato de celulosa, 0.8% en peso de TiO_2 y 0.8% en peso de láminas de óxido de grafeno. Las condiciones de electrospinning fueron 20kV, 20 cm entre la boquilla y el colector y 0.75ml/h de caudal. Obteniendo fibras entre 600-1000nm y una mejora en el rendimiento antibacteriano e hidrofobicidad.

Hilos de nano fibras

Una de las modificaciones que puede realizarse a la técnica de electrospinning, permite obtener hilos a partir de nanofibras y luego con estos realizar tejidos. En una búsqueda realizada por Wu y colegas (2022) con las palabras clave “electrospinning and yarn” se visualiza la tendencia creciente en el número de investigaciones en estos temas, mostrando un interés por parte de la academia en la investigación de hilos con nanofibras.

Figura 5.
Número de publicaciones anuales sobre hilos y electrospinning.

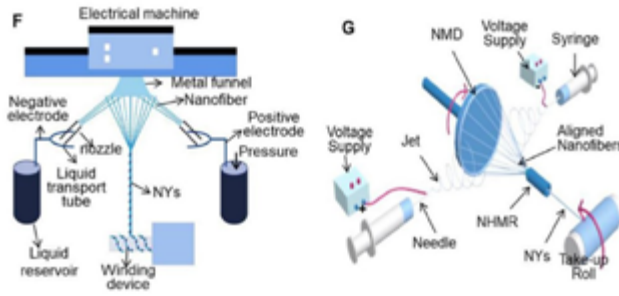


Nota. Generado en Web of Sciences

Las aplicaciones que pueden tener este tipo de hilos son muy diversas, sin embargo Wu y colaboradores (2022) resaltan el importante impacto que este tipo de hilos tendría en el área de biotextiles, como scaffolds e implantes para ingeniería de tejidos de tendón, hueso, corazón, vasos sanguíneos y nervios; así como bioelectrónicos como máscaras faciales, actuadores, generadores de energía, sensores y capacitores. En la revisión realizada por Wu, se hace un compilado de las principales técnicas para la obtención de hilos de forma discontinua y continua, a partir de electrospinning. Debido a que el enfoque continuo puede ser de mayor aplicación para la industria textil, se trae a este artículo dos de los esquemas más fáciles de adaptar, de la recopilación presentada por Wu y colaboradores sobre los esquemas continuos.

Figura 6.

Esquema de dispositivos de electrospinning para la fabricación de hilos con nano fibras de manera continua

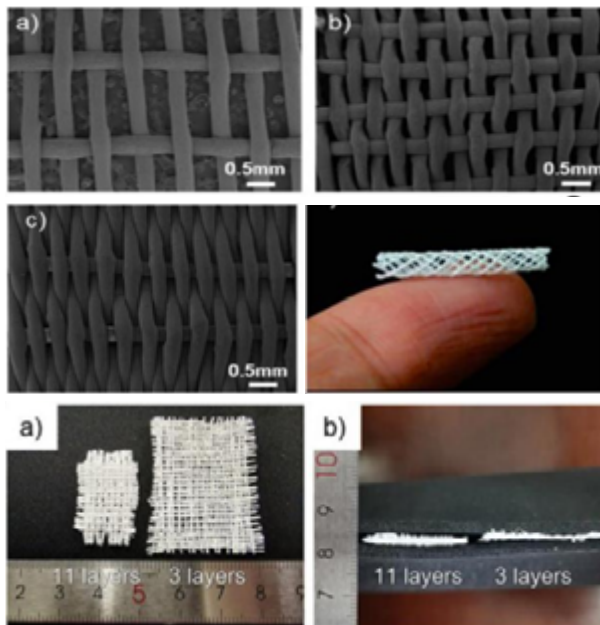


Nota. (F) Aparato conjugado múltiple modificado. (G) Dispositivo fabricado mediante la introducción de un colector innovador construido con NMD y NHMR. Tomado de: (Wu et al., 2022).

Algunos de los materiales con los que se han obtenido hilos con nanofibras son PAN, PCL, PLLA, PLGA, PVDF-TRFE, PVDS-HFP, PA66, PSA y DOPP, a los cuales se les han tomado medidas de resistencia a la tensión y elongación. En el artículo de Wu y colegas (2022) se muestran también algunas técnicas para la generación de textiles con estos hilos de nanofibras y muestran algunos de los resultados que han obtenido los investigadores:

Figura 7.

Ejemplo de textiles fabricados con hilos a base de nanofibras.



Nota. Imágenes tomadas de (Wu et al., 2022)

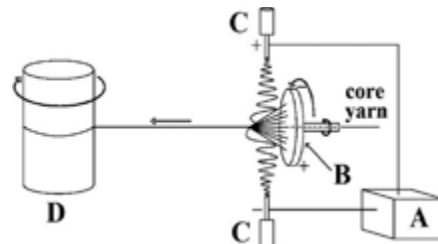
En el artículo publicado por Levitt y colegas (2017), se muestra esta modificación al equipo tradicional de electrospinning, para la producción de hilos con nanofibras de PVDF-TrFe, PAN y PCL. En este caso, se optó por una configuración con 2 fuentes de alto voltaje (10-12kV), dos bombas de jeringa con un flujo de 1ml/h, un embudo de cobre de diámetro 120mm, agujas de calibre 21. Especialmente, las jeringas se colocaron

simétricamente al embudo con una distancia de 5-6cm entre la punta y el colector, así como un ángulo de 30° entre la aguja y el embudo. Una de las agujas fue cargada positivamente y la otra negativamente. El embudo fue conectado a tierra y se variaron las velocidades de rotación de este entre 500-1100 rpm.

En el artículo publicado por la revista de ingeniería de polímeros y ciencia por Dabirian y colaboradores (2012), los autores presentan una configuración del equipo electrospinning para el recubrimiento continuo de hilos con nano fibras, así como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 8.

Esquema de equipo para el recubrimiento de hilos con nanofibras.

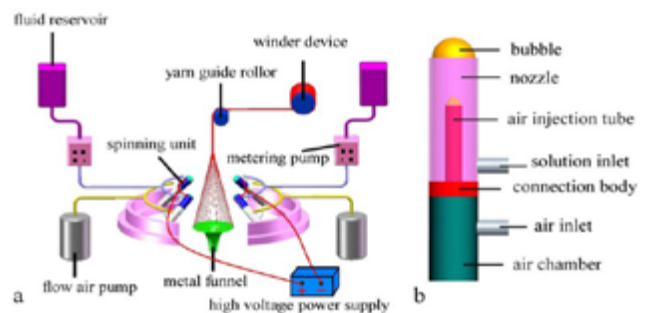


Nota. A) Fuente de alto voltage DC, B) Plato Twister, C) Bomba de aguja y D) Unidad de embobinado. Tomado de: (Dabirian et al., 2012)

Otras configuraciones más complejas se han utilizado para la producción de hilos con ayuda de boquillas de aire y en combinación con electrospinning, así como se muestra en el siguiente esquema:

Figura 9.

Esquema del equipo para la formación de hilos de nanofibras con boquilla de aire en combinación con electrospinning.



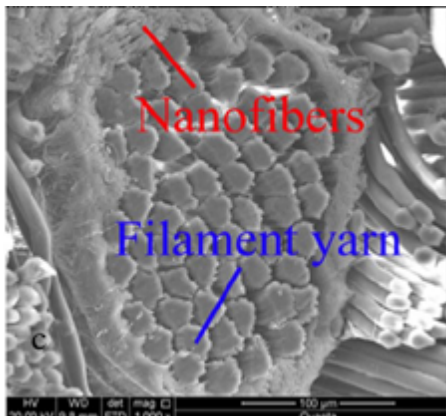
Nota. Tomado de: (He et al., 2014)

Los investigadores después de obtener el hilo de nano fibras realizan un recubrimiento a un hilo comercial por torsión, luego al realizar un corte transversal obtienen una imagen SEM donde se confirma que el hilo quedó recubierto (fig. 10).

En el artículo publicado en la Journal of Colloid and Interface Science, se muestran los resultados de una investigación donde utilizan óxido de grafeno y nanopartículas de plata embebidas en nano fibras de poliácrylonitrile (PAN), en el que

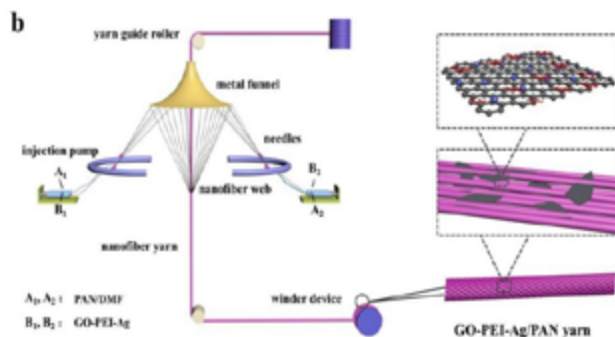
obtienen un hilo con propiedades antibacteriales durables (Yu et al., 2021). La técnica utilizada por Yu se presenta en la figura 11:

Figura 10.
Microscopía SEM de sección transversal de hilo.



Nota. Tomado de: (He et al., 2014)

Figura 11.
Esquema de obtención de hilos recubiertos con nanofibras de PAN funcionalizadas



Nota. Tomado de: (Yu et al., 2021)

Dentro de lo encontrado, se observa que el textil que fue funcionalizado con óxido de grafeno – polietilenimina (PEI) – nanopartículas de Ag, tiene una actividad antibacterial de 99,99% contra E. Coli y S. Aureus y mantiene este valor incluso después de 10 lavadas.

Adicionalmente a la formación de hilos o recubrimiento de hilos con nanofibras, algunos investigadores han buscado la manera de integrar más de cerca las nanofibras con las fibras de algodón, de manera que queden inmersas unas con las otras. Por ejemplo Qiu y colegas (2020), realizaron una modificación al equipo de electrospinning en el laboratorio, para depositar nanofibras de PAN cargadas con triclosán, sobre malla de fibras de algodón, para luego ser hiladas. Después de realizar los estudios antimicrobianos, encontraron una mejora en la durabilidad de la actividad antibacterial, con más de 95% a los 35 ciclos de lavado.

Otro estudio para la fabricación de hilos híbridos con propiedades antibacteriales fue publicado por

Jiang y colaboradores (2017), quienes utilizando un sistema de electrospinning modificado, en el cual iban realizando la deposición de nanofibras de PAN cargadas con triclosán (flujo 3ml/min) a una red de cardado que fue desplazándose a 30m/min. Luego la red de cardado se estiró, se torció y se alimentó a la máquina para hilar, con el hilo obtenido se fabricó un tejido de punto liso con máquina circular. Por esta técnica anteriormente descrita, los autores lograron que las nanofibras quedaran inmersas en las fibras de algodón y al realizar las pruebas antimicrobianas, se observaron excelentes resultados con las fibras híbridas.

Agentes antimicrobianos

Muchos agentes antimicrobianos han sido utilizados en la fabricación de textiles y membranas para curar y prevenir enfermedades de salud pública. Del grupo de materiales metálicos e inorgánicos los más comunes son plata, cobre, zinc, dióxido de titanio. Y agentes orgánicos como amonio cuaternario y compuestos catiónicos y agentes biológicos como hinokitiol, quitosano y antibióticos (Matsumoto & Tanioka, 2011)

En el artículo de revisión por Gulati y colegas (2021), el capítulo del libro publicado por Ibrahim (2015) y el artículo publicado por Muñoz (2019) menciona los siguientes agentes:

Nanopartículas:

- Plata (AgNPs): Fuerte toxicidad frente a microbios, poca toxicidad hacia células humanas, buena durabilidad y capacidad de teñido. (<10nm en tamaño) han demostrado actividad antibacterial contra COVID-19.
- CuONp : Contra bacterias gram-positivas y gram-negativas.
- NP Se: contra Bacillus subtilis
- Np Silice + quitosano: contra hongos (agricultura verde)
- ZnO NPs: en textil de algodón, gram-positiva y gram-negativa.
- TiO2 NP, en textil de algodón, método sol-gel, contra S. aureus y E.Coli

Componentes sintéticos:

- QACs (Compuestos de amonio cuaternario): surfactante catiónico, efectivo contra gram-positivas, gram-negativas, hongos y cierto grupo de virus.
- PHMB: Alta actividad microbicida, baja toxicidad.

- N-halaminas: en el mecanismo de acción libera iones Cl^+ al agua.
- Triclosan: compuesto fnólico, inhine la síntesis de lípidos, afectando el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos.

Componentes naturales:

- Lignina: buena resistencia contra ataques microbianos en plantas. Utilizado contra *Staphylococcus epidermidis*.
- Quitosano: *S aureus*, *E.Coli* y *Listeria monocytogenes*.

Para poder realizar nanofibras antibacteriales con varios de estos agentes, los investigadores han optado por incorporar el biocida en las fibras. Según lo revisado por Gao y colaboradores (2014), esto se puede lograr con los siguientes procesos: mezclando uniformemente el agente activo a la solución de polímero, a través de electrospinning coaxial (con una aguja dentro de otra, alineadas, para la formar estructuras de coraza y centro), encapsulando el agente activo en nanopartículas que podrían ser dispersadas en la solución, postratamiento o con la unión del agente activo a la superficie de la fibra. Particularmente para el primer método, el mezclado, se prefieren soluciones coloidales de AgNp para combinarlas con las soluciones, ya que en polvo se pueden agregar más fácilmente. También se indica que las AgNo con compatibles con muchos solventes como agua, ácido fórmico, entre otros, y se ha agregado en un rango de 0.5-5% con respecto a la masa del polímero, incluso comenta que la adición de estas nanopartículas coloidales puede amentar la conductividad de las soluciones y generar diámetros de fibras más pequeños. Otra opción que los autores comentan es la síntesis de nanopartículas en la solución del polímero, siendo esta una opción bastante atractiva ya que permite obtener una dispersión uniforme debido a la estabilización que permite el polímero. En el caso de este tipo de síntesis el agente reductor puede ser el solvente como dimetilformamida (DMF). el cual puede tener una velocidad de reacción baja, pero con la ventaja de poder realizarse a temperatura ambiente; asimismo se pueden utilizar otros agentes reductores como ácido fórmico o polímeros como carbometilquitosano.

Pruebas de calidad en textiles antibacteriales

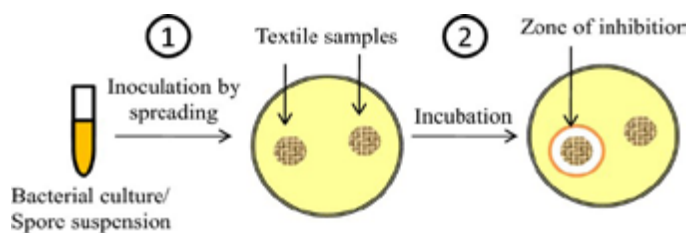
Existen varios tipos de métodos para la verificación de la eficacia antibacteriana de un

textil, según comenta Gao y colegas (2014), se pueden clasificar en tres categorías:

- Pruebas de difusión en agar (métodos AATCC 147-2004, JIS L 1902-2002 y SN 195920-1992): son pruebas semi cualitativas, donde muestras de textil en forma circular o cuadrada, se colocan sobre el agar antes de la incubación. Luego estas se dejan a 37°C por 18 a 24h, de esta manera el agente biocida se difundirá alrededor, inhibiendo el crecimiento de las bacterias, siendo un indicativo del nivel de actividad antibacteriana que tanta zona de inhibición se general. . Así como se muestra en la siguiente figura:

Figura 12.

Representación gráfica de la prueba crecimiento bacteriano sobre textil.

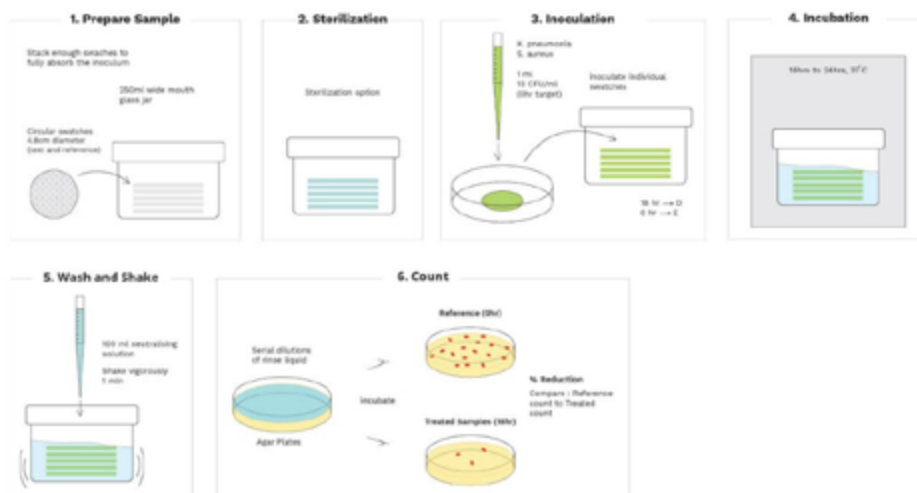


Nota. Tomado de: (Gulati et al., 2021).

- Es importante tener en cuenta que para esta metodología el agente antimicrobiano debe difundirse en el agar, si no lo hace, como en el caso del quitosano, no se debe esperar una zona de inhibición.
- Pruebas de contacto dinámico (ASTM E2149): en esta prueba la muestra de textil se sumerge en una solución bacteriana diluida y se agita durante cierto periodo de tiempo. Luego en tiempos específicos se toma un pequeño volumen de la suspensión y se determinan las concentraciones bacterianas. Este método permite examinar la actividad antibacteriana de agentes antibacteriales que se liberen en el medio, como los que no.
- Pruebas de contacto íntimo (AATCC100): en este método 1ml de suspensión de microorganismo 1000000CFU/ml se inocular en muestra tanto tratada como no tratada. Luego de un tiempo específico se extraen los microorganismos con un neutralizador diluido y en placas, y a continuación se realiza el conteo, evaluando así la inhibición a la multiplicación como la eliminación de bacterias.

Figura 13.

Representación gráfica del método AATCC 100 para la evaluación de textiles antibacteriales.



Nota. Tomado de: («AATCC 100 - Antimicrobial Fabric Testing - Microbe Investigations», s. f.)

Para todos los ensayos se recomienda utilizar una especie bacteriana Gram positiva como *Staphylococcus aureus* y una Gram negativa como *Klebsiella pneumoniae* o *Echerichia coli*. Recordando que las bacterias Gram positivas (tinción violeta) son las que cuentan con una pared gruesa, y presencia de ácidos lipoteicoicos y teicococis en la pared celular, a diferencia de las Gram negativas (tinción roja) que no tienen estas características y además cuentan con polisacáridos en la pared celular. Esta tinción particular de cada grupo, permite al personal médico realizar un mejor diagnóstico de las infecciones, tratar con los antibióticos adecuados y en algunos casos mostrar la necesidad de atención médica urgente (Rodríguez, 2018). Usualmente las infecciones más graves son causadas por las bacterias Gram negativas.

A pesar de que los métodos de estudio antibacterial en textiles están estandarizados por las normas previamente mencionadas, algunos de los estándares tienen ventajas. (Pinho et al., 2011) realizan una comparativa entre las normas, encontrando que el método de adsorción JIS L 1902 es el más preciso, que las pruebas cuantitativas (AATCC 100 y el método de absorción JIS L 1902) son más precisas y confiables que las cualitativas y que aunque los métodos cualitativos (AATCC 147 o los métodos JIS L 1902-Halo) no fueron los más rentables, son útiles para un gran número de muestras.

Biofilm

Muchas veces la contaminación bacteriana en las superficies de hospitales, industria alimentaria o sistemas de distribución de agua se presenta en forma de biopelículas. Estas son poblaciones de microorganismos

concentradas en una interfaz sólido-líquido y que está encerrada por sustancias exopoliméricas que permiten la comunicación con el exterior y protege las bacterias dentro de ellas, esta protección hace más difícil la descontaminación de estos microorganismos (Kovalova et al., 2016). Para la medición de la posibilidad de reducción de formación de biofilm en textiles, la muestra de tela se incubó durante la noche en medio de caldo inoculado con la cepa bacteriana de prueba. Después de enjuagar con agua esterilizada después de la incubación, la biopelícula visual se puede observar utilizando microscopía. Sin embargo, el ensayo estático de biopelículas que utiliza la tinción de cristal violeta es el método más convencional para la determinación de la actividad anti biopelícula de las nanopartículas (Gulati et al., 2021). También se puede hacer visualización del biofilm con microscopía de fluorescencia, con 0.02% de tinción calco flúor, la cual permite identificar la presencia de exopolisacáridos (Clavijo-Grimaldo Dianney et al., 2019)

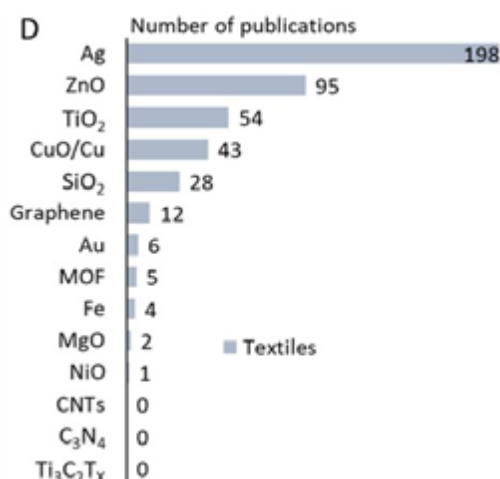
AgNps

El mecanismo de acción de las nanopartículas de plata (AgNps) se basa en la reacción con sustratos proteicos, afectando negativamente el funcionamiento celular, la respiración e inhibe el metabolismo basal que implica el transporte de electrones y la movilidad de sustratos en la membrana celular (Idumah, 2021). Este mecanismo lo aclaran mucho mejor Yetisen y colegas (2016), indicando que las nanopartículas en estado metálico son inertes, pero cuando entran en contacto con humedad se liberan iones Ag^+ que son reactivos y se difunden a través de la pared celular, a continuación los iones

se unen a las proteínas que contienen azufre, para cambiar estructuralmente la pared celular.

En el artículo de revisión de Huang y colaboradores (2020), se realiza una búsqueda en la plataforma Web of Science, en la que se analiza cual agente antibacteriano ha sido el de mayor interés por las publicaciones presentadas, según el tipo de aplicación. En la categoría textil, se encuentra un mayor número de publicaciones en nanopartículas de plata, en segundo lugar, de óxido de zinc y tercer lugar óxido de titanio, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14.
Número de publicaciones entre 2015-2020 de cada agente antimicrobiano utilizado en textiles antibacteriales.



Nota. Tomado de: (Huang et al., 2020)

Es de resaltar que el óxido de zinc ha adquirido alta importancia en el estudio de textiles, pues es un mineral esencial con bajo potencial de toxicidad humana.

En el artículo de revisión de Huang (2020) también se presenta una tabla resumen de 10 estudios de investigación de textiles impregnados con nanomateriales, dentro de los cuales se destaca que la mayoría usa mecanismo de liberación de iones metálicos. Así mismo, ellos llegan a la conclusión de que los tratamientos con nanotecnología son eficaces y sostenible para una amplia gama de fibras sintéticas y naturales. Las técnicas más utilizadas para la aplicación de estas modificaciones al textil son los métodos pad-dry-cure, el proceso de inmersión en agua, recubrimiento asistido por microondas, síntesis in situ, fibras de recubrimiento con hidrogeles y síntesis directa de las nanopartículas sobre las fibras.

Un ejemplo de síntesis in situ de partículas de plata sobre fibras de algodón, lo investigó (Shateri Khalil-Abad & Yazdandshenas, 2010). El proceso consistió en la disolución de nitrato de plata (0.04M) a una solución madre de goma arábiga, a la cual fueron

agregados dos gramos de algodón tratado con KOH, luego se adicionó una solución de ácido ascórbico (0.2M) que también contenía goma arábiga, la solución se agitó vigorosamente a 1100 rpm. Después de agitación por 24h a temperatura ambiente, el algodón se retiró, se limpió con etanol y fue secado a temperatura ambiente. Posteriormente, también algunas muestras fueron modificadas superficialmente con OTES. El tejido obtenido presentó propiedades súper hidrofobas y después de las pruebas antibacteriales, el textil mostró zonas de inhibición para bacterias grampositivas y gramnegativas.

A pesar de todas las ventajas que puedan traer las nanopartículas metálicas como agentes antimicrobianos, varios investigadores en los últimos años han presentado su preocupación por el impacto de estos a los organismos no objetivo. En el artículo presentado por Huang y colegas (2020) se habla de este tema, comentando que una investigación realizada en 2013 indicaría que para la misma concentración a la que fueron tóxicas las nanopartículas de ZnO, CuO y Ag para los microorganismos objetivos, fueron también tóxicas para otros organismos acuáticos como bacterias, hongos y algas. Este es un factor de sostenibilidad que no debe ignorarse, ya que, al agregar este tipo de partículas a los textiles, estas deben fijarse muy bien al sustrato, para evitar su liberación con las aguas de lavado. Otro aspecto que se presenta como importante en el artículo, es el estrés ambiental que pueden promover las nanopartículas, que a pesar de que se considera improbable una resistencia microbiana, estas afectaciones al ecosistema puede promover o facilitar la propagación de resistencia a otros contaminantes.

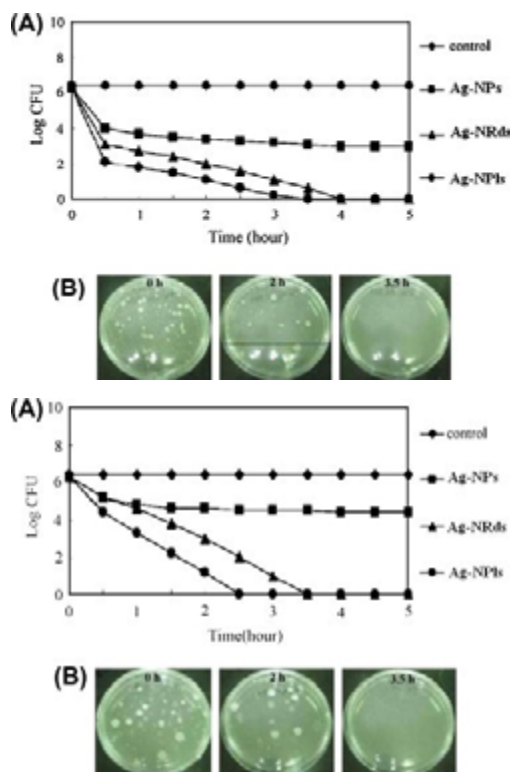
Algunos estudios de nanopartículas de plata muestran que estas no solo se pueden sintetizar en forma esférica, sino también en placas, barras, cubos, entre otras. Los investigadores Sadeghi y colegas (2012) realizaron un estudio para determinar que tanto influía la forma de la nanopartícula en el efecto antibacterial encontrando (Fig. 15).

Se puede ver que los Ag-NPs mostraron la mejor área de superficie y actividad antimicrobiana para los organismos de prueba. Los autores demostraron un marcado aumento en el efecto antimicrobiano de las nanoplacas en comparación con las nanobarras y las nanoesferas, como consecuencia de la mayor área de superficie observada para las nanoplacas.

Otro estudio desarrollado con la síntesis de nano placas triangulares de plata fue desarrollado por Djafari y colegas (2019), en el cual se realiza exitosamente un recubrimiento de sílice y ácido 16-mercaptohexadecanoico (MHA) a los nano

Figura 15.

Influencia de la forma de la nanopartícula de plata en el efecto antibacterial.



Nota. En la parte superior E. Coli y en la parte inferior S. aureus. (Sadeghi et al., 2012)

triángulos de plata estabilizados con PVP. Los investigadores compararon las propiedades de los nano triángulos funcionalizados con sílice y con MHA, encontrando que las propiedades antibacteriales de las muestras MHA el recubrimiento orgánico, son mejores.

Es también de interés revisar la actividad de otras geometrías de nanopartículas de plata sobre textiles de algodón, este estudio fue realizado por Vukoje y colaboradores (2014). En el cual se sumergió un gramo de tejido sin tratar y tratado con quitosano, en 25 ml de coloide de Ag-NPs triangular durante 30 min y se secó a temperatura ambiente. Después de 5 min de curado a 100 °C, la tela se enjuagó dos veces (5 min) con agua desionizada y se secó a temperatura ambiente.

Al realizar las pruebas microbiológicas encontraron que el tejido tratado con quitosano e impregnado con Ag-NPs proporciona la máxima reducción microbiana en el caso de *E. coli* y *C. albicans* ($R = 99,9\%$) y una reducción microbiana ligeramente menor en el caso de *S. aureus* ($R = 99,6\%$). Los autores concluyen que las Ag Nanoplates proveen una buena actividad bacteriana contra *E. coli* y *S. aureus*.

Así como el estudio anterior, Zahran y colegas (2014) realizaron la incorporación de

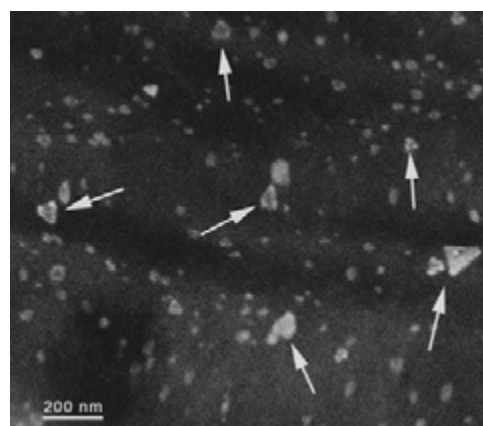
nanopartículas de plata a tejidos de algodón mediante el método pad-dry-cure. Sumergiendo telas en una solución coloidal de plata, durante 30 segundos, luego se exprimieron, secaron a 75°C durante 15 min y se curaron a 120°C durante 3 min. Cabe aclarar que la solución coloide de nanopartículas esféricas, que utilizaron en el proceso, fueron sintetizadas por los autores utilizando nitrato de plata y alginato como agente reductor. Como resultado de esta investigación se encuentra que con 50ppm de Ag-Nps se puede ver muy buena actividad antibacteriana y la forma de fijación mostró un buen efecto biocida incluso después de 20 ciclos de lavado.

Quitosano

Es un polímero natural extraído del exoesqueleto de crustáceos como camarones y langostas tiene muy buenas propiedades antibacteriales, atribuidas a su comportamiento catiónico. Los mecanismos de acción antimicrobiana del quitosano son: primero la interacción de moléculas de quitosano cargadas positivamente con los grupos negativos de las bacterias, alterando la permeabilidad de la pared celular. Segundo, la interacción de los productos de hidrólisis difusa con el ADN, inhibiendo la síntesis de proteínas; tercero la quelación de nutrientes y metales esenciales para los microorganismos y cuarto crear una membrana que evita el ingreso de nutrientes a la célula, también actuando como barrera de oxígeno. En el artículo de Maliszewska & Czapka (2022), los autores comentan la dificultad que tiene realizar electrospinning de quitosano, debido a que las soluciones de quitosano son usualmente muy viscosas, de baja conductividad, el alto peso molecular del polímero produce fibras de gran diámetro y si ya es demasiado bajo, se generan esferas en lugar de fibras. Asimismo, otra de las desventajas es su baja estabilidad en húmedo y disminución de propiedades mecánicas en

Figura 16.

Nanoplates fijas en el textil.



Nota. Tomado de: (Vukoje et al., 2014)

Tabla 2.
Condiciones de técnica electrospinning para obtener nanofibras de quitosano (CHT).

REF	(SANGSANOH ET AL., 2010)	(HAIDER & PARK, 2009)	(GENG ET AL., 2005)
SOLUCIÓN	7% w/v CHT en 70:30 v/v TFA/DCM	3% wt CHT en TFA	7% wt en 90% w ácido acético
AGUJA	20 G	0.5mm Interno	20 G
VOLTAJE (KV)	25	20	20
DISTANCIA (CM)	20	20	10
FLUJO (ML/H)	Gravedad y fuerzas electrostáticas	0.5 mL/h	1.2 mL/h
RESULTADO	126 nm	235 nm	100-290 nm

solución acuosa. Por lo que, para solucionar este problema, el polímero se mezcla con otros polímeros como PEO, PVA, PLA y PCL.

A pesar de la posible dificultad que pueden presentar la fabricación de nanofibras de quitosano puro, se revisan diferentes condiciones a las que se han obtenido. Esto con el objetivo de que el textil permita ser ese sustrato que contrarreste la debilidad de las fibras, tabla 2.

Igualmente, dentro de la literatura se encuentran las condiciones para obtener nanofibras híbridas de policaprolactona (PCL) y quitosano (CHT) tabla 3.

Como se mencionó anteriormente, otro polímero el cual es bastante utilizado para la obtención de nanofibras híbridas con quitosano es el PEO. Esta mezcla fue estudiada por (Matsumoto et al., 2007) con una concentración de 12 wt% quitosano, 1 wt% PEO, 4 wt% ácido acético en solución acuosa, también utilizando la técnica electrospinning para la fabricación del textil con nanofibras. Al final

realizan un secado en horno a 105°C por 30 min para remover las trazas de ácido acético.

Textiles Antibacteriales en Colombia

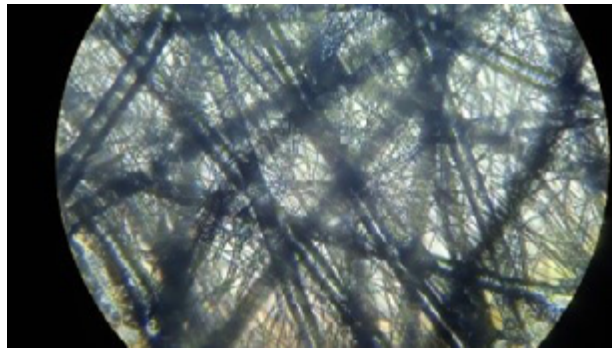
Uno de los textiles más comúnmente utilizados en el área hospitalaria es el obtenido a partir de polipropileno, más conocido en las distribuidoras como tela quirúrgica. Es un textil que internamente cuenta con fibras a escala micrométrica que crean una barrera bacteriana altamente eficiente, sin perder permeabilidad a gases y vapores. Este tipo de tela es fabricado por un proceso conocido en inglés como Melt blowing, el cual consiste en alimentar el polímero termoplástico a una extrusora, la cual cuenta con boquillas de baja apertura y de aire comprimido pasando a alta velocidad, facilitando la formación de microfibras, y finalmente las fibras son recogidas en un tambor rotatorio (Dutton, 2008). Este tipo de tela es utilizada en productos de filtración, adsorbentes, prendas y sistemas de administración de fármacos.

Tabla 3.
Condiciones de técnica electrospinning para obtener nanofibras de quitosano (CHT) mezclado con policaprolactona (PCL).

REF	(HASANPOUR ARDEKANI-ZADEH & HOSSEINI, 2019)	(VAN DER SCHUEREN ET AL., 2012)	(FAHIMIRAD ET AL., 2021)	(LIVERANI ET AL., 2018)
SOLUCIÓN	1% CHT en 1:1 Ácido fórmico (AF) / Ácido acético (AA), mezclado con 6% PCL en mismo solvente.	4-14% PCL mezclado de 0-20% de CHT (con respecto a PCL) 3:7 AA:AF	10% PCL, 3 y 7% de CHT en 7:3 v/v DCM:DMF	6% PCL 3:7 AA:AF con 20% CHT respecto PCL
AGUJA	23G	1.024 mm	0.2 mm	21G
VOLTAJE (KV)	18	5	21	20
DISTANCIA (CM)	15	12.5	12	12.5
FLUJO (ML/H)	0.1	0.6	0.5	0.3
RESULTADO	332.4 nm	154-374 nm	115.6 nm	57 nm

Figura 17.

Imagen obtenida con microscopio óptico del CMTc, de tela quirúrgica, Politéx.



En Colombia, una parte importante de los textiles antibacteriales que se utilizan en las prendas son importados; sin embargo, empresas como Lafayette le apuestan a la innovación en textiles tecnológicos. Ellos cuentan con textiles para el área de la salud con propiedades antivirales, antimicrobiana, antibacterial, antilíquido, anticloro y con buenas facilidades de movimiento (Lafayette, 2022). Particularmente para usos en lencería y cortinería en salud, cuentan con el textil Universal Cloro Antimicro (Lafayette, 2022a), a la cual le realizan pruebas en el laboratorio AATCC 100JIS L1902 para confirmar su calidad antibacterial.

Perspectivas

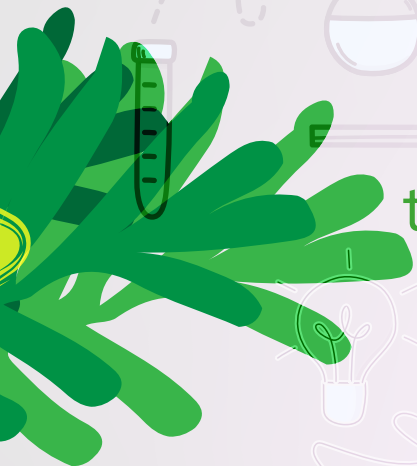
Como resultado de esta revisión bibliográfica, se reconoce que el estudio de nanofibras es de alto impacto para la industria textil, ya que permite dar a los textiles, propiedades y funciones que las fibras a mayor escala no permitirían. Adicionalmente, al ser una técnica tan versátil, permite muchas modificaciones y adiciones a las fibras, que para el caso del efecto antibacterial se vuelve una gran ventaja. De esta forma se pueden agregar agentes antimicrobianos, como nanopartículas de plata, titanio o cobre, triclosán, aceites esenciales entre otros, a las nanofibras; así como fabricar fibras con materiales antibacteriales como el quitosano. A pesar de todas las ventajas, la manufactura de nanofibras aún es una tecnología emergente, como nos comentan Barhoum y colegas (2019) en el artículo de revisión, se presentan varios desafíos con las técnicas, como la fabricación a mayor escala y el uso de materiales verdes, pues en muchos casos los solventes y polímeros utilizados generan un alto impacto ambiental. Por otro lado, Krifa y Prichard (2020) recomiendan enfocar los temas de investigación futuros, en la incorporación de nanopartículas en acabados multifuncionales y utilizar varios métodos de hilado para formar estructuras nano fibrosas con porosidad.

Referencias bibliográficas

- AATCC 100—Antimicrobial Fabric Testing—Microbe Investigations. (s. f.). Swiss Anti-Bacterial & Anti-Viral Testing Laboratory, ISO Certified | MIS. Recuperado 13 de agosto de 2022, de <https://microbe-investigations.com/aatcc-100/>
- Alghoraibi, I., & Alomari, S. (2018). Different Methods for Nanofiber Design and Fabrication. En A. Barhoum, M. Bechelany, & A. Makhoulf (Eds.), *Handbook of Nanofibers* (pp. 1-46). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42789-8_11-2
- Barhoum, A., Pal, K., Rahier, H., Uludag, H., Kim, I. S., & Bechelany, M. (2019). Nanofibers as new-generation materials: From spinning and nano-spinning fabrication techniques to emerging applications. *Applied Materials Today*, 17, 1-35. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.06.015>
- Brown, P. J., & Stevens, K. A. (2007). *Nanofibers and nanotechnology in textiles*. CRC press.
- Clavijo-Grimaldo Dianney, Ponce-Zapata Nubia, & Casadiego-Torrado Ciro. (2019). Control of Bacterial Proliferation and Formation of Biofilm in Membranes for Food Packaging Manufactured by Electrospinning. *Chemical Engineering Transactions*, 75, 241-246. <https://doi.org/10.3303/CET1975041>
- Dabirian, F., Ravandi, S. A. H., Hinestroza, J. P., & Abuzade, R. A. (2012). Conformal coating of yarns and wires with electrospun nanofibers. *Polymer Engineering & Science*, 52(8), 1724-1732. <https://doi.org/10.1002/pen.23109>
- Ding, B., Wang, X., & Yu, J. (2018). *Electrospinning: Nanofabrication and applications* (1st edition). Elsevier.
- Djafari, J., Fernández-Lodeiro, C., Fernández-Lodeiro, A., Silva, V., Poeta, P., Igrejas, G., Lodeiro, C., Capelo, J. L., & Fernández-Lodeiro, J. (2019). Exploring the Control in Antibacterial Activity of Silver Triangular Nanoplates by Surface Coating Modulation. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fchem.2018.00677>
- Dutton, K. (2008). Overview and Analysis of the Meltblown Process and Parameters. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 6(1).
- Fahimirad, S., Abtahi, H., Satei, P., Ghaznavi-Rad, E., Moslehi, M., & Ganji, A. (2021). Wound healing performance of PCL/chitosan based electrospun nanofiber electrospayed with curcumin loaded chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 259, 117640. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117640>
- Gao, Y., Bach Truong, Y., Zhu, Y., & Louis Kyratzis, I. (2014). Electrospun antibacterial nanofibers: Production, activity, and in vivo applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(18), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/app.40797>
- Geng, X., Kwon, O., & Jang, J. (2005). Electrospinning of chitosan dissolved in concentrated acetic acid solution. *Biomaterials*, 26(27), 5427-5432. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.01.066>
- Gulati, R., Sharma, S., & Sharma, R. K. (2021). Antimicrobial textile: Recent developments and functional perspective. *Polymer Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03826-3>
- Haider, S., & Park, S.-Y. (2009). Preparation of the electrospun chitosan nanofibers and their applications to the adsorption of Cu(II) and Pb(II) ions from an aqueous solution. *Journal of Membrane Science*, 328(1), 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.11.046>
- Hasanpour Ardekani-Zadeh, A., & Hosseini, S. F. (2019). Electrospun essential oil-doped chitosan/poly(L-lactide) hybrid nanofibrous mats for antimicrobial food biopackaging exploits. *Carbohydrate Polymers*, 223, 115108. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115108>
- He, J.-X., Zhou, Y.-M., Wu, Y.-C., & Liu, R.-T. (2014). Nanofiber coated hybrid yarn fabricated by novel electrospinning-airflow twisting method. *Surface and Coatings Technology*, 258, 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.062>
- Huang, W., Tao, F., Li, F., Mortimer, M., & Guo, L.-H. (2020). Antibacterial nanomaterials for environmental and consumer product applications. *NanoImpact*, 20, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.nimpact.2020.100268>

- Ibrahim. (2015). Nanomaterials for antibacterial textiles. *En Nanotechnology in Diagnosis, Treatment, and Prophylaxis of Infectious Diseases*.
- Idumah, C. I. (2021). Influence of nanotechnology in polymeric textiles, applications, and fight against COVID-19. *The Journal of The Textile Institute*, 112(12), 2056-2076. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1858600>
- Jia, L., Huang, X., Liang, H., & Tao, Q. (2019). Enhanced hydrophilic and antibacterial efficiencies by the synergetic effect TiO₂ nanofiber and graphene oxide in cellulose acetate nanofibers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1039-1043. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.204>
- Jiang, G., Zhang, J., Ji, D., Qin, X., Ge, Y., & Xie, S. (2017). A novel approach for fabricating antibacterial nanofiber/cotton hybrid yarns. *Fibers and Polymers*, 18(5), 987-992. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-1194-6>
- Kovalova, Z., Leroy, M., Kirkpatrick, M. J., Odic, E., & Machala, Z. (2016). Corona discharges with water electrospray for *Escherichia coli* biofilm eradication on a surface. *Bioelectrochemistry*, 112, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2016.05.002>
- Krifa, M., & Prichard, C. (2020). Nanotechnology in textile and apparel research – an overview of technologies and processes. *The Journal of The Textile Institute*, 111(12), 1778-1793. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1721696>
- Lafayette. (2022a). Ficha-tecnica-comercial-universal-cloro-antimicrobial-281220.pdf. <https://www.lafayettedeco.com/contract/wp-content/uploads/sites/3/2020/04/ficha-tecnica-comercial-universal-cloro-antimicrobial-281220.pdf>
- Lafayette. (2022). Productos Salud. Lafayette. <https://uniformelafayette.com/salud/productos-salud/>
- Levitt, A. S., Knittel, C. E., Vallett, R., Koerner, M., Dion, G., & Schauer, C. L. (2017). Investigation of nanoyarn preparation by modified electrospinning setup. *Journal of applied polymer science*, 134(19), 44813. <https://doi.org/10.1002/app.44813>
- Lim, E.-H., Sardinha, J. P., & Myers, S. (2014). Nanotechnology Biomimetic Cartilage Regenerative Scaffolds. *Archives of Plastic Surgery*, 41(03), 231-240. <https://doi.org/10.5999/aps.2014.41.3.231>
- Liverani, L., Lacina, J., Roether, J. A., Boccardi, E., Killian, M. S., Schmuki, P., Schubert, D. W., & Boccaccini, A. R. (2018). Incorporation of bioactive glass nanoparticles in electrospun PCL/chitosan fibers by using benign solvents. *Bioactive Materials*, 3(1), 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2017.05.003>
- Maliszewska, I., & Czapka, T. (2022). Electrospun Polymer Nanofibers with Antimicrobial Activity. *Polymers*, 14(9), 1661. <https://doi.org/10.3390/polym14091661>
- Mallakpour, S., Azadi, E., & Hussain, C. M. (2021). Recent breakthroughs of antibacterial and antiviral protective polymeric materials during COVID-19 pandemic and after pandemic: Coating, packaging, and textile applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 55, 101480. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101480>
- Matsumoto, H., & Tanioka, A. (2011). Functionality in Electrospun Nanofibrous Membranes Based on Fiber's Size, Surface Area, and Molecular Orientation. *Membranes*, 1(3), 249-264. <https://doi.org/10.3390/membranes1030249>
- Matsumoto, H., Yako, H., Minagawa, M., & Tanioka, A. (2007). Characterization of chitosan nanofiber fabric by electrospray deposition: Electrokinetic and adsorption behavior. *Journal of Colloid and Interface Science*, 310(2), 678-681. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.02.017>
- Mirjalili, M., & Zohoori, S. (2016). Review for application of electrospinning and electrospun nanofibers technology in textile industry. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 6(3), 207-213. <https://doi.org/10.1007/s40097-016-0189-y>
- Muñoz, L. (2019). Acabados Antimicrobianos en Textiles: Tendencias y Aplicaciones. *Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño*.
- Petrova, L. S., Yaminzoda, Z. A., Odintsova, O. I., Vladimirtseva, E. L., Solov'eva, A. A., & Smirnova, A. S. (2021). Promising Methods of Antibacterial Finishing of Textile Materials. *Russian Journal of General Chemistry*, 91(12), 2758-2767. <https://doi.org/10.1134/S1070363221120549>
- Pinho, E., Magalhães, L., Henriques, M., & Oliveira, R. (2011). Antimicrobial activity assessment of textiles: Standard methods comparison. *Annals of Microbiology*, 61(3), 493-498. <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0163-8>
- Qiu, Q., Chen, S., Li, Y., Yang, Y., Zhang, H., Quan, Z., Qin, X., Wang, R., & Yu, J. (2020). Functional nanofibers embedded into textiles for durable antibacterial properties. *Chemical Engineering Journal*, 384, 123241. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123241>
- Rodríguez, P. A. (2018). Hans Christian Gram y su tinción. *Dermatología Cosmética, Médica y Quirúrgica*, 16(2), 2.
- Sadeghi, B., Garmaroudi, F. S., Hashemi, M., Nezhad, H. R., Nasrollahi, A., Ardalani, S., & Ardalani, S. (2012). Comparison of the anti-bacterial activity on the nanosilver shapes: Nanoparticles, nanorods and nanoplates. *Advanced Powder Technology*, 23(1), 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.japt.2010.11.011>
- Sangsano, P., Suwantong, O., Neamark, A., Cheepsunthorn, P., Pavasant, P., & Supaphol, P. (2010). In vitro biocompatibility of electrospun and solvent-cast chitosan substrata towards Schwann, osteoblast, keratinocyte and fibroblast cells. *European Polymer Journal*, 46(3), 428-440. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2009.10.029>
- Schneider, G., Bim, F. L., de Sousa, Á. F. L., Watanabe, E., de Andrade, D., & Fronteira, I. (2021). The use of antimicrobial-impregnated fabrics in health services: An integrative review. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 29, e3416. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4668.3416>
- Shateri Khalil-Abad, M., & Yazdanshenas, M. E. (2010). Superhydrophobic antibacterial cotton textiles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 351(1), 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.07.049>
- The Lens—Free & Open Patent and Scholarly Search. (s. f.). The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. Recuperado 22 de junio de 2020, de <https://www.lens.org/lens>
- Universidad de Sevilla (Director). (2021, septiembre 24). Electrospinning: Hilando materiales. <https://www.youtube.com/watch?v=RW8rKeav8YQ>
- Van der Schueren, L., Steyaert, I., De Schoenmaker, B., & De Clerck, K. (2012). Polycaprolactone/chitosan blend nanofibers electrospun from an acetic acid/formic acid solvent system. *Carbohydrate Polymers*, 88(4), 1221-1226. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.085>
- Vukoje, I., Lazić, V., Vodnik, V., Mitrić, M., Jokić, B., Phillip Ahrenkiel, S., Nedeljković, J. M., & Radetić, M. (2014). The influence of triangular silver nanoplates on antimicrobial activity and color of cotton fabrics pretreated with chitosan. *Journal of Materials Science*, 49(13), 4453-4460. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8142-2>
- Williams, G. R., Raimi-Abraham, B. T., & Luo, C. J. (2018). Electrospinning fundamentals. *En Nanofibers in Drug Delivery* (pp. 24-59). UCL Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv550dd1.6>
- Wu, S., Dong, T., Li, Y., Sun, M., Qi, Y., Liu, J., Kuss, M. A., Chen, S., & Duan, B. (2022). State-of-the-art review of advanced electrospun nanofiber yarn-based textiles for biomedical applications. *Applied Materials Today*, 27, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2022.101473>
- Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinestroza, J. P., Skorobogatiy, M., Khademhosseini, A., & Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, 10(3), 3042-3068. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b08176>
- Yu, W., Li, X., He, J., Chen, Y., Qi, L., Yuan, P., Ou, K., Liu, F., Zhou, Y., & Qin, X. (2021). Graphene oxide-silver nanocomposites embedded nanofiber core-spun yarns for durable antibacterial textiles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 584, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.09.092>
- Zahrán, M. K., Ahmed, H. B., & El-Rafie, M. H. (2014). Surface modification of cotton fabrics for antibacterial application by coating with AgNPs-alginate composite. *Carbohydrate Polymers*, 108, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.005>
- Zaikov. (2017). Nanofibers and nanotechnology in textiles: A far-reaching and comprehensive review. *Polymers Research Journal*, 11(3).





Búsqueda y evaluación técnica de fuentes naturales para la obtención **de colorantes textiles**

*Search and Technical Evaluation of
Natural Sources to Obtain Textile Dyes*

Angela María García Mora*

* Investigadora experta, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA,
angela.garcia@sena.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-7009-3896>



**“...LAS CARACTERÍSTICAS PARA
EVALUAR LA VIABILIDAD Y
SOSTENIBILIDAD DE LAS
FUENTES DE COLORANTES
NATURALES SE DESTACA
LA POSICIÓN ECOLÓGICA,
DISPONIBILIDAD Y
TIPO DE FUENTE...”**



Resumen

ABSTRACT

En el teñido textil se busca proporcionar color a las telas de manera uniforme utilizando colorantes o pigmentos. Actualmente, la mayoría de estos insumos son de origen sintético derivados de la industria petroquímica, altamente permanentes en fuentes hídricas y con implicaciones negativas sobre la salud humana y el ambiente.

Existen también los colorantes de origen natural que fueron utilizados por las primeras civilizaciones y actualmente se utilizan sobre todo en productos artesanales pero cuyo uso en acabados textiles ha ido aumentando, ya que pueden ser una opción para contrarrestar los efectos adversos ambientales relacionados con la obtención y el uso de colorantes sintéticos textiles. Las principales fuentes de estos colorantes provienen de las labores de agricultura, silvicultura e industrias de bebidas y alimentos.

En este artículo se presentan los resultados de la búsqueda y análisis de posibles fuentes naturales disponibles para la obtención de colorantes textiles en la región Bogotá Cundinamarca, así como el resultado de las pruebas de solidez de color realizadas en textiles de algodón y poliamida teñidas con residuos agroindustriales de plátano y cáscaras de cebolla amarilla y morada. Las pruebas de solidez mostraron resultados alentadores respecto a la transferencia de color, sin embargo, se observan oportunidades de mejora para contrarrestar el cambio de color después del lavado.

Palabras Claves:

Bogotá, colorantes naturales, insumos ambientalmente amigables, moda sostenible, teñido, solidez de color

Textile dyeing seeks to provide color to fabrics in a uniform manner using dyes or pigments. Currently most of dyes are synthetic derived from petrochemical industry, highly permanent in water sources and with negative implications for human health, and environment.

There are also natural dyes that were used by first civilizations and are currently used mainly in handicrafts, but whose use in textile finishes has been increasing since they can be an option to counteract the adverse environmental effects related to obtaining and using synthetic textile dyes. The main sources of these dyes come from agriculture, forestry, and the food and beverage industries.

This paper presents results of the search and analysis of possible natural sources available for obtaining textile dyes in the Bogotá Cundinamarca, as well as the result of the color fastness tests carried out on cotton and polyamide textiles dyed with the subproducts from agro-industrial banana residues and yellow and purple onion peels. Fastness tests showed encouraging results regarding color transfer, however, there are opportunities for improvement to counteract color shift after washing.

Keywords:

Bogotá, natural dyes, environmentally friendly supplies, sustainable fashion, dyeing, color fastness

Introducción

Dentro de los procesos de tintorería textil se utilizan sustancias químicas con diferentes objetivos, como las utilizadas en las operaciones de teñido, impresión o blanqueamiento de telas, hilos y fibras. En la primera, se busca proporcionar color a las telas de manera uniforme utilizando colorantes o pigmentos (Slama et al., 2021).

Los colorantes difieren de los pigmentos principalmente en su solubilidad, los primeros son solubles en el medio utilizado, como por ejemplo los colorantes solubles en agua, que pueden ser absorbidos por los textiles por acción mecánica o mediante enlaces químicos; mientras que los pigmentos no son solubles por lo cual se mantienen en suspensión en el medio y se adhieren a los sustratos a través de ligantes (Zaruma et al. (2018).

La mayoría de los colorantes utilizados en la industria textil son de origen sintético derivados de la industria petroquímica. Globalmente se producen cerca de ochocientas mil toneladas (800.000 TM) de este tipo de colorantes al año y la industria textil demanda el 75% de este mercado. Estos insumos ofrecen un amplio rango de colores y excelentes propiedades de solidez; sin embargo, son también causantes de negativos impactos ambientales debido a que exigen grandes volúmenes de agua en los procesos de teñido y después se mantienen permanentes en los efluentes que luego contaminan aguas superficiales causando efectos dañinos sobre el medio ambiente y la salud humana. Medellín-Castillo et al. (2017) y (Slama et al., 2021).

También existen los colorantes de origen natural que fueron utilizados por las primeras civilizaciones y actualmente se usan sobre todo en productos artesanales (Slama et al., 2021), pero que cada vez más aparecen como una opción para contrarrestar los efectos ambientales devastadores relacionados con la obtención y el uso de colorantes sintéticos textiles.

En la revisión que realizaron Shahid y otros en 2013 encontraron que las principales fuentes de los colorantes naturales pueden dividirse en tres categorías: productos primarios de la agricultura, residuos y subproductos de la agricultura y la silvicultura, y residuos de las industrias de bebidas y alimentos (Shahid et al. 2013).

En este artículo tanto la sección de metodología como la de discusión y resultados se dividen en varios numerales. Los numerales 1 y 2 presentan

los resultados de la búsqueda y análisis de posibles fuentes naturales disponibles para la obtención de colorantes textiles en la región Bogotá Cundinamarca, mientras que los numerales 3 y 4 muestran la información concerniente a su producción a partir de residuos agroindustriales junto con las pruebas de desempeño técnico.

Esta información se publica con el propósito de enseñar nuevas alternativas a la industria que sirvan para disminuir el impacto ambiental negativo asociado al proceso de teñido.

Metodología

1. Revisión de potenciales fuentes de colorantes textiles de origen natural en la región de Cundinamarca

La vigilancia científico-tecnológica realizada, a través de fichas de revisión documental- arrojó 66 publicaciones. Para la consulta bibliográfica se revisaron las bases de datos de publicaciones científicas, como Scopus y Web of Science™ así como la base de datos de CENDAR que documenta las prácticas artesanales recogidas por la organización Artesanías de Colombia.

Al mismo tiempo se realizaron visitas técnicas a cultivos ubicados en el Valle de Guavivari para identificar fuentes potenciales para la obtención de colorantes textiles naturales y sostenibles.

2. Evaluación de sustentabilidad

Para seleccionar las fuentes se tuvieron en cuenta once criterios de evaluación cada uno con tres posibles puntajes de 0, 1 y 2, de modo que las condiciones que aseguren mayor sostenibilidad corresponden a los mayores puntajes. En la Tabla 1 se presentan los criterios y la condición correspondiente a cada puntaje.

La calificación de cada fuente se realizó a partir de la información bibliográfica obtenida de la vigilancia científica, así como a través de visitas técnicas a empresas de tintorería textil como a centros agroindustriales del departamento de Cundinamarca

3. Producción de colorantes textiles a partir de hoja, tallo y flor de la planta de plátano y cáscaras de cebolla morada y amarilla.

Obtención de Colorantes a partir de Hoja de Plátano. Cada hoja, se limpió manualmente con paños absorbentes humedecidos con una solución de agua potable e hipoclorito de sodio,

Tabla 1
Criterios utilizados para seleccionar potenciales fuentes de obtención de colorantes naturales

CRITERIOS	VALOR PUNTAJE		
	2	1	0
ORIGEN	Residuo	Posible residuo	Otros
UBICACIÓN	Residuo identificado en Bogotá	Cultivos identificados en Cundinamarca	Potencial ubicación en Bogotá o Cundinamarca
EXPERIENCIAS PREVIAS	Uso como colorante textil por maestros artesanos o en publicaciones científicas	Uso como colorante en aplicaciones no textiles	No hay información de uso como colorante o pigmento
INFORMACIÓN DE COSTO MATERIA PRIMA	Gratis	Disponible	Información no disponible
DISPONIBILIDAD	Todo el año	Temporadas	Información no disponible
AFINIDAD CON FIBRAS NATURALES	Probada exitosamente	Desconocida	Incompatibilidad probada
AFINIDAD CON FIBRAS SINTÉTICAS	Probada exitosamente	Desconocida	Incompatibilidad probada
USO CON MORDIENTES NATURALES	Probada exitosamente	Usado con mordientes sintéticos	Desconocida
SEGURIDAD CONTACTO CON LA PIEL	Probada exitosamente	Desconocida	Incompatibilidad probada
SOLIDEZ COLOR A LUZ Y LAVADO	Bibliografía reporta de resultados aceptables	Bibliografía reporta problemas de solidez	Desconocido, no se encontró bibliografía
ACCESO DURANTE EL PROYECTO	Contacto realizado exitosamente con proveedores	No se logró contacto con proveedores	Contacto no exitoso con proveedores o no se identificaron proveedores

luego se separaron manualmente las nervaduras de cada hoja como se ilustra en la figura 1. En el trabajo de Jiménez, (2006) pueden identificarse con claridad las diferentes partes de la planta de plátano, incluyendo las nervaduras. Después de la limpieza y separación se cortaron con tijeras las hojas sin nervadura en rectángulos de 3 x10 cm., se pesaron las hojas cortadas y se agregó agua desionizada en una relación 5ml. de agua por cada gramo de hoja sin nervadura.

La mezcla de agua y hojas se calienta hasta ebullición y se mantienen a esta temperatura durante 1,5 horas, luego se deja enfriar hasta temperatura ambiente y se filtra la mezcla. El líquido resultante se utilizará como colorante textil.

El mismo procedimiento de ebullición en agua se llevó a cabo para obtener colorantes a partir del tallo y la flor de plantas de plátano. En todos los casos, se adicionaron 0,3 gramos de ácido cítrico por cada litro de solución para evitar su degradación, además las muestras se conservaron en refrigerador a 6°C.

Obtención de colorantes a partir de cáscaras de Cebolla Morada y Amarilla

Se inicia con la selección manual de las cáscaras desechando las que presentan hongos o muestras de degradación, luego se

lavan por inmersión en agua potable y se filtran; posteriormente se secaron en horno a 70°C durante 2,5 horas aproximadamente. El material seco se sumerge en solución de NaOH al 5% en una relación de 200 ml. de solución de NaOH por cada 20 gramos de cáscara seca.

La mezcla de cáscaras y solución de NaOH se calienta hasta llegar a 80°C y se mantiene a esta temperatura durante 25 min., asegurando que el recipiente que contiene la mezcla se mantenga sellado.

Se deja enfriar la mezcla y se filtra por gravedad utilizando una gasa para retener el residuo sólido.

Figura 1
Fotografía de preparación de hoja de plátano para obtención de colorante, identificación de la nervadura de la hoja



4. Teñido

Se realizó tinturado por inmersión en retazos cuadrados de 17 cm de lado de textiles de 100% algodón ($234 \pm 4,62$ g/m²) y 100% poliamida (espesor 0,20 mm) suministrados la fábrica de telas PROTELA, empresa aliada en el desarrollo del proyecto. Se trabajó con dos soluciones mordientes cuya composición se describe en la Tabla 2.

Las soluciones mordientes se preparan de acuerdo con los porcentajes presentados en la Tabla 2 disolviendo en agua. El volumen de agua utilizado para realizar la solución de mordientes es de 50 ml. de agua por cada 2 g. de tela a teñir.

Para el mordentado se sumergió cada muestra textil en la solución de mordiente con agitación constante y a temperatura de ebullición. Luego se espera que la temperatura llegue a 60°C y se agrega el extracto de colorante, se mantiene la agitación manual y la temperatura durante 30 minutos. El tiempo de mordentado y las relaciones de colorante utilizadas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2

Composición de soluciones mordientes utilizadas

SOLUCIÓN MORDIENTE NO.	SUSTANCIAS MORDIENTES	SUSTANCIAS MORDIENTES
M1	Sulfato de cobre	15%
	Cloruro de sodio	1%
	Jugo de limón	15%
M2	Piedra alumbre (KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O)	15%
	Cloruro de sodio	1%

Tabla 3

Tiempo, mordientes y relaciones de teñido

FUENTE DE COLORANTE UTILIZADA	SOLUCIÓN DE MORDIENTE NO.	TIEMPO MORDENTADO (MIN.)	RELACIÓN DE TEÑIDO
Cáscara de cebolla morada (CCM) y cáscara de cebolla amarilla (CCA)	M1 y M2	30	50 gramos de cáscara por 100 gramos de textil
Hojas, tallos y flor de plátano	M1 y M2	45	50 gramos de cáscara por 100 gramos de textil

Tabla 4

Pruebas de caracterización de textil previas al teñido

TEXTIL	ENSAYOS REALIZADOS	
	NOMBRE DEL ENSAYO	NORMA O ESTÁNDAR UTILIZADO EN EL ENSAYO
TELA ALGODÓN 100% PROTELA	-Determinación del ancho de las telas	NTC 228 (2016-05-18) Opción B
	-Determinación de la masa por unidad de área (peso) de tela	NTC 230 (2010-07-28) Opción C
	-Análisis cualitativo de fibras. Parte 3: basada en la norma ASTM D629	NTC 481-3 (2012-12-12) Método 5
TELA POLIAMIDA 100% PROTELA	-Determinación del ancho de las telas	NTC 228 (2016-05-18) Opción B
	-Método de prueba estándar para el espesor de materiales textiles	ASTM D 1777-96 (2019)
	-Análisis cualitativo de las fibras	NTC 1213 (2016-11-16)

5. Pruebas de caracterización y desempeño

Las pruebas técnicas de desempeño y caracterización se realizaron bajo estándares normativos en el laboratorio de servicios tecnológicos del Centro de manufactura en Textil y Cuero SENA Regional Distrito Capital. Antes del teñido se realizaron las pruebas de caracterización de textiles presentadas en la Tabla 4

Se realizó medición instrumental de color bajo la norma NTDM 0151 (2001-03-16) a dos muestras tinturadas con partes de la planta de plátano y a una muestra teñida con colorante de cáscara de cebolla morada (Tabla 5).

Para evaluar la solidez del color en los textiles tinturados se realizaron pruebas de resistencia al clima y al frote (Tabla 6) y ensayos de solidez del color al lavado, el agua y la transpiración (Tablas 7 y 8).

Resultados y discusión

1. Revisión y evaluación de potenciales fuentes de colorantes textiles de origen natural en la región de Cundinamarca

Se presenta una matriz de identificación de posibles fuentes donde se sintetizó la información recolectada de veintiún (21) fuentes naturales identificadas en la vigilancia científico-tecnológica (Tabla 9). En la Tabla 10 se muestra un extracto de la matriz de caracterización detallada realizada luego de la identificación.

Con esta matriz se lograron resumir los resultados de la revisión bibliográfica de una manera práctica y sirvió para realizar la evaluación de sostenibilidad que estaba proyectada en la segunda fase de la metodología. También sirvió para alternar la lectura técnica con la búsqueda de otro tipo de información como disponibilidad, costos e información agrícola.

Al buscar este tipo de fuentes para la obtención de colorantes naturales la alianza con un centro de formación de vocación agroindustrial desde el inicio del proyecto, ojalá como ente co-ejecutor, se identifica como un factor que puede

potenciar el impacto del proyecto y acelera las decisiones de escogencia, así como podría facilitar la consecución de mateprimas, y ayudar a una comunicación directa con el sector agroindustrial, el cual es uno de los principales proveedores de fuentes como lo señalan Shahid y otros (2013), junto con la silvicultura y la industria alimenticia.

Otra ventaja de realizar la vigilancia científica con el mismo equipo que realice después los experimentos de laboratorio es la autonomía y poder de decisión que cada quién toma en la fase experimental.

A partir de la matriz se seleccionaron diez posibles fuentes para la obtención de los colorantes textiles que pueden encontrarse en la Región de Bogotá, Cundinamarca y aledaños: hojas, tallo y cáscara de plátano, hojas y corteza de Nogal, cáscara de gulupa; hoja de guayaba, cáscara de cebolla blanca y morada y residuos de plantas aromáticas. Se realizó una ficha de caracterización de cada una de estas fuentes y también se realizó una presentación describiendo cada fuente para presentarla a los empresarios de la industria textil interesados.

Tabla 5

Muestras analizadas bajo norma NTDM 0151 (2001-03-16) de medición de color.

MUESTRA	NOMBRE DEL ENSAYO
Textil de poliamida, solución de mordiente M1, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Poliamida-M1-HPlat-STermo
Textil de algodón, solución de mordiente M2, teñido con nervaduras de la hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Algodón-M2-NervHPlat-STermo
Textil de algodón, solución de mordiente M1, teñido con cáscara de cebolla morada, secado natural	Algodón-M1-CCM-SNatural

Tabla 6

Listado de muestras evaluadas con los ensayos de resistencia de color al frote y al clima.

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	ENSAYO RESISTENCIA DEL COLOR AL FROTE: MÉTODO DE FROTE ROTATORIO VERTICAL AATCC 116-2018	RESISTENCIA AL CLIMA: EXPOSICIÓN A LA LUZ UV Y HUMEDAD AATCC 186-15
Textil de poliamida, solución de mordiente M1, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Poliamida-M1-HPlat-STermo	X	X
Textil de poliamida, solución de mordiente M2, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Poliamida-M2-HPlat-STermo		X
Textil de algodón, solución de mordiente M1, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora	Algodón-M1-HPlat-STermo	X	X
Textil de algodón, solución de mordiente M2, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora	Algodón-M2-HPlat-STermo		X
Textil de algodón, solución de mordiente M2, teñido con nervaduras de la hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Algodón-M2-NervHPlat-STermo		X
Textil de poliamida, solución de mordiente M2, teñido con tallo de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Poliamida-M2-TPlat-STermo		X
Textil de algodón, solución de mordiente de tallo de plátano y NaCl, teñido con flor de plátano. Muestra secada con termofijadora	Algodón-TPlat-FPlat-STermo		X
Textil de algodón, solución de mordiente M2, teñido con cáscara de cebolla amarilla, secado natural	Algodón-M2-CCA-SNatural	X	
Textil de poliamida, solución de mordiente M1, teñido con cáscara de cebolla morada. Secado Natural	Poliamida-M1-CCM-SNatural		X

Tabla 7

Muestras sometidas a ensayo de solidez de color, parte 3: solidez del color al lavado. Método acelerado NTC 1155-3 (2017-10-18)

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN
Textil de poliamida, solución de mordiente M2, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Poliamida-M2-HPlat-STermo
Textil de algodón, solución de mordiente M2, teñido con hoja de plátano. Muestra secada con termofijadora	Algodón-M2-HPlat-STermo
Textil de poliamida, solución de mordiente M2, teñido con tallo de plátano. Muestra secada con termofijadora.	Poliamida-M2-TPlat-STermo

Tabla 8

Muestras sometidas a ensayo de solidez de color al agua AATCC 107-2013 y a la transpiración NTC 772 (2017-03-22)

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN
Textil de algodón, solución de mordiente de tallo de plátano y NaCl, teñido con flor de plátano. Muestra secada con termofijadora	Algodón-TPlat-FPlat-STermo
Textil de algodón, solución de mordiente M1, teñido con cáscara de cebolla morada, secado natural	Algodón-M1-CCM-SNatural
Textil de poliamida, solución de mordiente M1, teñido con cáscara de cebolla morada. Secado natural	Poliamida-M1-CCM-SNatural

Tabla 9

Origen específico de las fuentes identificadas para la obtención de colorantes de pigmentos o colorantes ambientalmente amigables

NO	NOMBRE	HOJAS	CORTESAS	FLORES	CÁSCARAS	TALLOS	FRUTOS	SEMILLAS	RAICES	RESIDUOS	ANIMAL
1	Hojas de piminta	X									
2	Hojas de romero y aromatica	X									
3	Zanahoria						X				
4	Semillas de Achiote							X			
5	Cáscara de coco				X						
6	Hojas de Guayaba	X									
7	Corteza de aguacate		X								
8	Corteza de Itamo		X								
9	Hojas de Sacatinta	X									
10	Remolacha						X				
11	Hojas de Chilca	X									
12	árbol de Campeche										
13	Cochinillo										X
14	Hojas de árbol de pito	X									
15	Espinaca	X									
16	Cebolla cáscara amarilla				X						
17	Cebolla cáscara morada				X						
18	Frutilla										
19	Palta (Carozo)										
20	Repollo Colorado										
21	Tomate						X				

Tabla 10

Extracto de matriz de caracterización de fuentes identificadas para la obtención de colorantes de pigmentos o colorantes ambientalmente amigables

FUENTE	UBICACIÓN	DISPONIBILIDAD	AFINIDAD DEL COLORANTE CON TEXTILES NATURALES	TONOS O GAMAS DE COLOR
Hojas de pimienta	Ecuador, putumayo puerto Caicedo	Cosecha todo el año	Algodón 100 % orgánico	Gris entre beige
Hojas de romero y aromáticas	Cundinamarca	Cosechas todo el año, fácil obtención en cultivos de yerbas aromáticas, cocción por dos horas	Algodón 100 % orgánico	Verde claro mentolado
Zanahoria	El Santuario y San Pedro de los Milagros en Antioquia; Tunja y Ventaquemada en Boyacá; Madrid y Villapinzón en Cundinamarca y Túquerres y Pasto en Nariño.		Algodón 100 % orgánico	Naranja
Semillas de Achiote	Risaralda, choco	Obtención en cultivos, cocción por 2 horas	Algodón 100 % orgánico	Naranja claro
Cáscara de coco	Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Chocó y Antioquia. Los rendimientos promedio de coco en Colombia son de 7,2 toneladas por hectárea	Se puede conseguir en empresas que trabajen con coco	Algodón 100 % orgánico	Beige entre café claro
Hojas de guayaba	Boyacá, Santander, Meta, Cauca, Tolima, Valle del Cauca, Caldas y Atlántico	Fácil obtención en cultivos por los lados de Boyacá y Santander	Algodón 100 % orgánico	Verde oscuro
Corteza de aguacate	Tolima, Caldas, Valle del Cauca y Antioquia.	Difícil conseguir por volumen, posible obtención en empresas que utilicen la pulpa y desechen el resto, cocción por 3 horas	Algodón 100 % orgánico	Café
Remolacha	Zonas con climas secos y escasas de lluvias, Cundinamarca (incluyendo la sabana de Bogotá), Boyacá, Antioquia, Nariño, Tolima y Caldas, realizando su cultivo en áreas pequeñas	Fácil conseguir en cultivos en la parte rural de Bogotá	Algodón 100 % orgánico	Morado uva (rojizo)
Cochinillo	Vive en el Nopal, difícil consecución en la región, originario de Sudamérica		Algodón 100 % orgánico	El color lo proporciona el ácido carmínico que pertenece a las antraquinonas y que produce un rojo intenso color sangre fue tan apreciado en la antigüedad que consiguió importancia mundial.

2. Evaluación de sustentabilidad

Durante la vigilancia científica no se encontró información sobre la afinidad con fibras sintéticas de los colorantes provenientes de las fuentes naturales estudiadas. Por lo tanto, para las 15 fuentes evaluadas, este criterio tuvo un

puntaje de uno. La calificación de cada criterio para las fuentes evaluadas se encuentra en las tablas 11 y 12. El resultado de la sumatoria para todos los criterios se presenta en la Tabla 13. Como se observa, la calificación realizada presenta los mayores puntajes para las cáscaras de cebolla, hoja de plátano y hojas de guayaba. Debido a que,

Tabla 11
Resultados evaluación de sostenibilidad criterios origen, ubicación, experiencias previas, costo y disponibilidad

NO	NOMBRE DE LA FUENTE	ORIGEN	UBICACIÓN	EXPERIENCIAS PREVIAS	INFORMACIÓN DE COSTO MATERIA PRIMA	DISPONIBILIDAD
1	Hojas de pimienta	0	0	2	0	2
2	Hojas de romero y aromatica	1	1	2	1	2
3	Zanahoria	0	1	2	1	1
4	Hojas de Guayaba	1	0	2	2	1
5	Remolacha	0	1	2	1	1
6	Hojas de Chilca	1	0	2	0	0
7	Arthospira plantensis (microalgas)	1	0	1	0	2
8	Synechococcus sp (microalga)	1	0	1	0	2
9	Ulva sp (macroalgas)	1	0	1	0	2
10	Espinaca	0	1	1	1	1
11	Cebolla cáscara amarilla	2	2	2	2	2
12	Cebolla cáscara morada	2	2	2	2	2
13	Tomate	0	1	0	1	1
14	Cáscara de gulupa	1	0	1	0	1
15	Hojas de Plátano	2	1	2	2	2

Tabla 12
Resultados evaluación de sostenibilidad criterios afinidad con fibras, uso con mordientes, seguridad solidez y acceso inmediato durante la ejecución del proyecto

NO	NOMBRE DE LA FUENTE	AFINIDAD CON FIBRAS NATURALES	USO CON MORDIENTES NATURALES	SEGURIDAD CONTACTO CON LA PIEL	SOLIDEZ COLOR A LUZ Y LAVADO	ACCESO DURANTE EL PROYECTO
1	Hojas de pimienta	2	2	2	2	1
2	Hojas de romero y aromatica	2	2	2	2	0
3	Zanahoria	2	2	2	2	1
4	Hojas de Guayaba	2	2	2	2	2
5	Remolacha	2	2	2	2	1
6	Hojas de Chilca	2	2	2	2	0
7	Arthospira plantensis (microalgas)	1	1	1	0	0
8	Synechococcus sp (microalga)	1	1	1	0	0
9	Ulva sp (macroalgas)	2	1	1	0	0
10	Espinaca	1	0	1	0	1
11	Cebolla cáscara amarilla	2	1	2	2	2
12	Cebolla cáscara morada	2	1	2	2	2
13	Tomate	1	0	1	0	1
14	Cáscara de gulupa	1	0	1	0	1
15	Hojas de Plátano	2	2	1	0	2

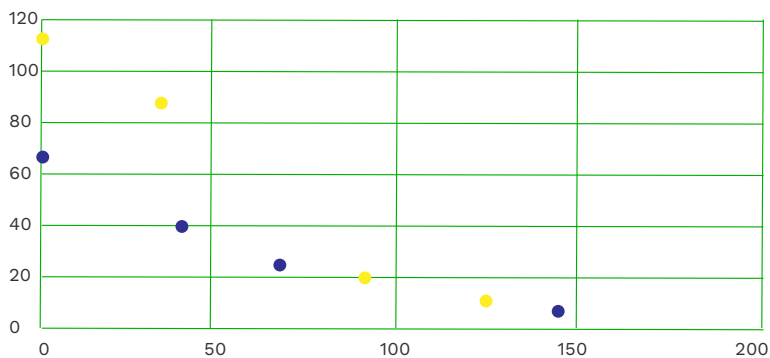
en las zonas visitadas, no se encontraron cultivos extensivos de Guayaba, se trabajó con diferentes residuos del cultivo de plátano y con cáscaras de cebolla que se obtuvieron de tiendas de frutas y verduras ubicadas en Bogotá.

3. Producción de colorantes textiles

Obtención de Colorantes a partir de Hoja de Plátano. En la Tabla 14 se muestra el volumen de colorante que se obtuvo a partir de las hojas y los tallos de la planta de plátano.

Luego de la extracción con solución de NaOH al 5% se obtuvo colorante en una relación de 3.3 ml/g

Figura 2
Curva de secado de muestra de cáscara amarilla a 70°C



de cáscara morada y 3,5 ml/g de cáscara amarilla. Esta concentración se utilizó para calcular la relación de colorante durante el teñido (Ver Tabla 3). En la Tabla 15 se pueden revisar los datos de dos de las extracciones realizadas.

4. Pruebas de caracterización y desempeño

A partir de los ensayos de análisis cualitativo de fibras se verifico la composición de los textiles así la Tela algodón 100% PROTELA dio resultado de Fibra natural celulósica 100% de acuerdo con la norma NTC 481-3 (2012-12-12) Método 5 y la tela poliamida 100% PROTELA resultó en Fibra artificial, composición Nylon según norma NTC 1213 (2016-11-16).

Teñido con Hoja de Plátano. En la Figura 3 se presenta el resultado de la medición experimental de color para la muestra Poliamida-M1-HPlat-STermo y se compara con la muestra Poliamida-M2-HPlat-STermo. Como se puede observar, el uso de diferentes soluciones de mordiente cambia el color final en el textil de poliamida teñido con hojas de plátano.

Tabla 13
Resultados totales evaluación de sostenibilidad de cada fuente estudiada

NO	NOMBRE DE LA FUENTE	RESULTADO EVALUACIÓN
1	Hojas de piminta	14
2	Hojas de romero y aromatica	16
3	Zanahoria	15
4	Hojas de Guayaba	17
5	Remolacha	15
6	Hojas de Chilca	12
7	Arthospira plantensis (microalgas)	8
8	Synechococcus sp (microalga)	8
9	Ulva sp (macroalgas)	9
10	Espinaca	8
11	Cebolla cáscara amarilla	20
12	Cebolla cáscara morada	20
13	Tomate	7
14	Cáscara de gulupa	7
15	Hojas de Plátano	17

Tabla 14
Volumen de colorante obtenido a partir de muestras de hojas y tallo de plátano

MATERIAL	MUESTRA INICIAL	VOLUMEN COLORANTE OBTENIDO	RESIDUOS
Hojas	202 g	761 g	280 g
Tallo cortado	150 g	358 g	104 g
Tallo Triturado	154 g	400 g	90 g

Tabla 15
Datos recopilados en extracción de colorante de cebolla blanca y morada con solución de NaOH al 5%.

TIPO DE CASCARA	MUESTRA SECA (G)	VOLUMEN DE NAOH AL 5% ADICIONADO (ML.)	VOLUMEN DE EXTRACTO DE COLORANTE OBTENIDO DESPUÉS DE FILTRACIÓN (ML.)
Morada	28	280	94
Amarilla	108	1080	376

La solidez del color al frote en la muestra Poliamida-M1-HPlat-STermo obtuvo calificaciones de 4-5 de transferencia de color con la muestra seca y de 4 con muestra húmeda.

La solidez del color al lavado en poliamida tinturada con colorante de hoja de plátano y solución de mordiente M2 (Poliamida-M2-HPlat-STermo), en términos de cambio de color fue baja

Figura 3
Muestras de poliamida teñidas con hoja de plátano utilizando mordiente M1 (Sulfato de cobre + Cloruro de sodio + Jugo de limón) y M2 Piedra alumbre (KAl(SO₄)₂12H₂O) + Cloruro de sodio.



con una calificación 1-2 para las dos muestras evaluadas; sin embargo, se tuvieron calificaciones de 4-5 para transferencia de color a fibras de acetato, algodón, poliamida y acrílico y una calificación de 4 en lana. Lo cual puede significar que el colorante se disuelve en el agua de lavado bajando su solidez, pero no se genera transferencia de color a otras prendas.

Respecto a la resistencia a condiciones climáticas, las muestras de poliamida con ambas soluciones mordientes (Poliamida-M1-HPlat-STermo y Poliamida-M2-HPlat-STermo) muestran calificaciones medias en el cambio de color de 3 y 3-4 en la escala de grises respectivamente después de ser expuestas a humedad del 65% Humedad relativa y luz UV.

El color que se obtiene sobre textil de algodón tiene una tonalidad más clara que el color que se logra sobre poliamida como se observa en la Figura 4. La solidez de color al lavado

de las muestras de algodón teñidas con hojas de plátano tuvo una calificación de 3 en cambio de color y transferencia 4-5 en todas las fibras, excepto en la lana que tuvo una calificación de 4.

En la evaluación de la resistencia del color al frote en la muestra Algodón-M1-HPlat-STermo se tuvieron calificaciones altas de 4-5 en muestra seca y 4 con textil húmedo. Respecto a la resistencia al clima, en las muestras de algodón

Figura 4
Algodón y poliamida teñidos con colorante extraído de hoja de plátano y tratados con mordiente de Piedra alumbre (KAl(SO₄)₂12H₂O) y Cloruro de sodio



teñidas agregando soluciones mordientes M1 o M2 se tuvo un cambio de color con calificación 3-4 después de las 12 horas totales de exposición a humedad y luz UV.

Teñido con Nervadura de la Hoja, Tallo y Flor de Plátano. En la Figura 5 se muestra el resultado de la medición instrumental de color de la muestra de algodón teñida con colorante extraído de las nervaduras que se separaron de las hojas de plátano. Este colorante en algodón mostró calificación de 4 en las pruebas de solidez de color frente a condiciones climáticas.

En el ensayo de solidez de color al lavado las muestras tinturadas con el colorante extraído del tallo de plátano (Poliamida-M2-TPlat-STermo) tuvieron una calificación baja de 1-2 y 2 en el cambio de color, y respecto a la transferencia tuvieron calificaciones de 4-5 en todas las fibras, excepto en la lana en la cual tuvieron calificación de 4. En la resistencia a condiciones climáticas se tuvo calificación de 4 después de las 12 horas de exposición.

Se logró teñir una muestra de algodón con colorante extraído de las hojas que conforman la flor de plátano, utilizando como mordientes el extracto derivado del tallo del plátano y sal (NaCl), evitando así el uso de otros reactivos químicos. Los ensayos de solidez de color al agua y a la transpiración de esta muestra presentaron buenos resultados con calificación de 4 y 4-5 en el cambio de color de las muestras y resultados de 4-5 en todas las fibras que componen la tela testigo utilizada en el ensayo. En la resistencia al clima la calificación de cambio de color fue de

3 para esta muestra. En la Tabla 16 se presentan los resultados de solidez de color bajo diferentes condiciones para la muestra Algodón-TPlat-FPlat-STermo.

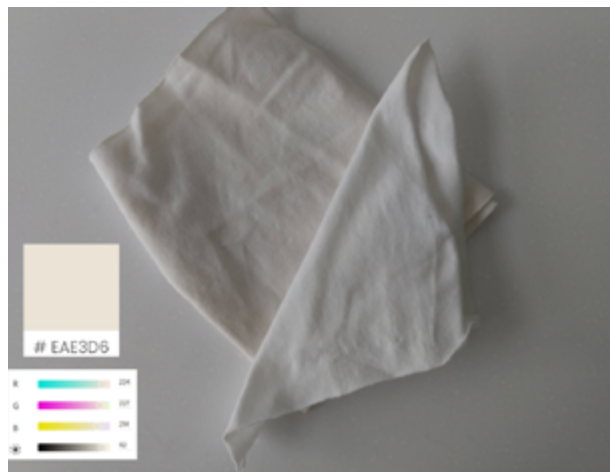
Teñido con Cáscara de Cebolla Morada. Se presentan los resultados para muestras de Algodón-M1-CCM-SNatural. La medición instrumental de color muestra un resultado de coordenadas promedio $L^* 63,19$ $a^*4,97$ $b^*14,74$ las cuales corresponden a las coordenadas R 170 G149 B 122 de acuerdo con el convertidor de coordenadas NIX Color Sensor (<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>). En la Figura 6 se puede observar la fotografía de la muestra en comparación con el color correspondiente a las coordenadas promedio. Respecto a los ensayos de solidez de color al agua y a la transpiración se obtuvieron buenos resultados respecto a la transferencia de color en textiles de acetato, algodón, poliamida, poliéster y material acrílico obteniendo en todos los casos calificación de 4-5 en la escala de grises. La calificación disminuye a valores de 4, en el caso de solidez al agua, y 3, para la solidez de color a la transpiración, en el caso de la fibra de lana, lo que significa que puede haber transferencia de color a este tipo de fibra en presencia de agua o en condiciones de transpiración.

Respecto al cambio de color en condiciones de humedad el textil de algodón presenta resultados variables que se atribuyen al tipo de secado. Algunas muestras tuvieron calificación 4-5 en la escala de grises, pero otras tuvieron calificación 2-3. El cambio de color bajo condiciones de transpiración tuvo una calificación 2-3 para todas las muestras.

En el caso de la muestra Algodón-M2-CCA-SNatural, en la prueba de resistencia del color al frote se obtuvieron buenos resultados tanto seco (calificación 4-5) como húmedo (Calificación 4).

Figura 5

Fotografía de textil de algodón, tratado con solución de mordiente M2, teñido con nervaduras de la hoja de plátano y secado con termofijadora, al lado de la fotografía se muestra el color correspondiente a la medición instrumental de color bajo la norma NTDM 0151 (2001-03-16)



*Nota: Se presenta el resultado en coordenadas de color RGB y HEX resultantes de convertir las coordenadas promedio $L^*90,62$ $a^*0,90$ y $b^*7,27$ en el programa <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>*

Figura 6

Muestra de algodón preparado con solución de mordiente M1, teñido con cáscara de cebolla morada y secado de manera natural comparado con el color equivalente a las coordenadas promedio que se obtuvieron en el ensayo de medición instrumental de color.



Tabla 16
Ensayos de solidez al color y resistencia de las muestras de algodón, tratadas con mordiente de tallo de plátano y NaCl, teñidas con extracto de flor de plátano y secadas con termofijadora

ENSAYO AATCC 107-2013		SOLIDEZ DE COLOR AL AGUA					
Muestra No.	Cambio de color	TRANFERENCIA DE COLOR					
		Acetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
1	4	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5
2	4	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5

ENSAYO AATCC 186-15		RESISTENCIA AL CLIMA: EXPOSICIÓN A LA LUZ UV Y HUMEDAD					
Muestra No.		LECTURA DE CAMBIO DE COLOR DESPUÉS DE EXPOSICIÓN A LUZ UV					
1	3						

ENSAYO NTC 772 22 (2017-03-22)		SOLIDEZ DE COLOR AL AGUA					
Muestra No.	Cambio de color	TRANFERENCIA DE COLOR					
		Acetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
1	4	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5
2	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4

En la Figura 7 se comparan los resultados obtenidos al teñir algodón con cáscara de cebolla morada o amarilla y con diferente solución de mordiente.

En el caso del textil de poliamida teñido con cáscara de cebolla morada (Poliamida-M1-CCM-SNatural) se tuvieron calificaciones medias (3 y 3-4) respecto al cambio de color en las pruebas de solidez al agua, con buenos resultados de 4-5 para todas las fibras, excepto en la lana que se tuvo una calificación de 4 para la transferencia de color.

Como se puede observar en la Figura 8 el color final sobre el textil difiere según se tinte algodón o poliamida. Ambas muestras tuvieron buenos resultados en la prueba de solidez al

agua, los cuales se pueden ver afectados por el secado natural de la muestra que no asegura homogeneidad de color en la muestra textil.

Respecto a la resistencia a condiciones climáticas, la muestra de poliamida (Poliamida-M1-CCM-SNatural) obtuvo una calificación media de 3-4 en la escala de grises respecto al cambio de color después de ser expuesta a humedad del 65%*Hr* y luz UV.

En la prueba de solidez de color a la transpiración ambos materiales. Algodón y poliamida tuvieron calificaciones bajas: 2-3 y 1, respectivamente en el cambio de color por acción de la transpiración, pero la transferencia de color tuvo calificaciones entre 3-4 y 4-5 en todas las fibras de la tela

Figura 7
Fotografía de muestra de algodón tinturadas con colorantes de cáscara de cebolla morada (CCM) y cáscara de cebolla amarilla (CCA).

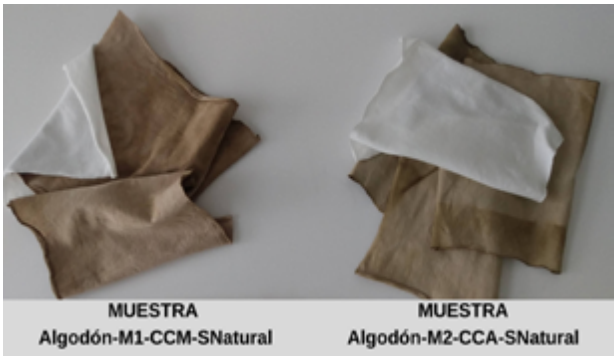


Figura 8
Muestras de algodón y poliamida teñidas con colorante natural de cáscara de cebolla morada.



Nota: La explicación detallada del tratamiento realizado a cada muestra se presenta en la sección de metodología y la Tabla 6.

testigo Multifibra No. 10 MR050, teniendo las menores calificaciones en la fibra de lana. En la Tabla 17 se pueden ver los resultados en detalle.

Resumen Pruebas de Solidez de Color. Hay baja transferencia de color desde poliamida teñida con colorante de hoja de plátano, lo cual se prueba por las calificaciones 4-5 en todos los ensayos de solidez de color al lavado realizados, la fibra más susceptible a transferencia es la lana que tuvo calificaciones de 4.

Respecto al cambio de color, se tuvieron bajas calificaciones después de lavado de la poliamida teñida con colorante de hoja de plátano y solución mordiente M2.

El cambio de color por acción del frote y del clima tuvo calificaciones medias (3) en las muestras de poliamida teñida con colorante de hoja de plátano. El algodón teñido con hoja de plátano tiene calificaciones medias (3 y 3-4) en cambio de color frente al clima, frote y lavado. Presenta altas calificaciones (4-5) respecto a la transferencia a fibras durante el lavado, siendo de nuevo la lana con menor calificación (4).

Conclusiones y Recomendaciones

La vigilancia realizada se logró documentar en cada paso ya que se siguieron los lineamientos y recomendaciones de la Guía metodológica para la formulación de estudios de prospectiva territorial (DE-G- 013) generada por la Dirección de planeación y direccionamiento

corporativo del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), en lo que respecta a generar ficha de previgilancia, bitácora de búsqueda y fichas de revisión documental, así como especificar el equipo de trabajo, en el que se involucraron a los aprendices vinculados al proyecto como monitores y contrato de aprendizaje.

La ficha de previgilancia ayudó a enfocar y distribuir la labor de revisión bibliográfica en los aprendices vinculados; sin embargo, hace falta fortalecer a través de los semilleros de investigación y dentro de la formación para el trabajo, habilidades investigativas clave para estas labores de búsqueda y lectura de publicaciones científicas, como comprensión y uso de herramientas de búsqueda especializada, análisis de información, lectura de publicaciones científicas, referenciación y citación, y lectura de documentos técnicos en inglés.

Se han identificado y caracterizado quince fuentes con posibilidades de uso para la obtención de colorantes textiles dentro de la región de Bogotá – Cundinamarca, con aplicaciones estudiadas sobre todo en textiles de fibras naturales como el algodón, lana, fique y yute.

Dentro de las características para evaluar la viabilidad y sostenibilidad de las fuentes de colorantes naturales se destaca la posición ecológica, disponibilidad y tipo de fuente. Los residuos de hojas y tallos de la cosecha de plátano son la fuente que presenta mayor potencial de uso para la obtención de colorantes de origen natural sostenibles para la región de Bogotá – Cundinamarca.

Tabla 17
Resultados de prueba de solidez del color a la transpiración según norma NTC 772 (2017-03-22) en muestras de algodón y poliamida teñidas con colorante obtenido de cáscara de cebolla morada. Calificación con escala de grises para cambio MR014 y transferencia de color MR015.

MUESTRA	ALGODÓN-M1-CCM-SNATURAL	TEXTIL DE ALGODÓN, SOLUCIÓN DE MORDIENTE M1, TEÑIDO CON CÁSCARA DE CEBOLLA MORADA, SECADO NATURAL					
		TRANSFERENCIA DE COLOR					
Ensayo No	Cambio de color	Acetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
1	2 - 3	4 - 5	4	4	4 - 5	4 - 5	3 - 4
2	2 - 3	4 - 5	4	4	4 - 5	4 - 5	3 - 4

MUESTRA	POLIAMIDA-M1-CCM-SNATURAL	TEXTIL DE POLIAMIDA, SOLUCIÓN DE MORDIENTE M1, TEÑIDO CON CÁSCARA DE CEBOLLA MORADA. SECADO NATURAL					
		TRANSFERENCIA DE COLOR					
Ensayo No.	Cambio de color	Acetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
1	1	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4
2	1	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4

Se obtuvieron once (11) prototipos de textiles de algodón y poliamida tinturados con colorantes de origen natural provenientes de los residuos de cosecha de plátano y cáscaras de cebolla amarilla y morada que tuvieron aceptación en Protela S.A para continuar con la realización de pruebas piloto.

Las pruebas de solidez mostraron buenos resultados con una baja transferencia de color desde el textil teñido con colorantes naturales hacia otras fibras, y se observaron oportunidades de mejora para contrarrestar el cambio de color después del lavado.

Agradecimientos

Este artículo se elabora como resultado de varios proyectos ejecutados dentro del área de investigación, innovación y desarrollo tecnológico (Sennova) del Centro de formación de Manufactura en Textil y Cuero, Servicio Nacional de aprendizaje (SENA), Regional Distrito Capital. Asimismo, las pruebas técnicas de desempeño y caracterización se realizaron bajo estándares normativos en el laboratorio de servicios tecnológicos del centro.

La empresa Protela participó activamente en varias etapas de estos proyectos y además proporcionó las muestras textiles para realizar las pruebas de teñido.

Dentro de varias etapas del proyecto intervinieron aprendices semilleristas del centro de formación, se extiende un agradecimiento particular a Jhojan Poveda, Liz Montoya y Heidy Criollo quienes participaron en visitas para obtención de materias primas, pruebas de obtención y teñido.

Las primeras fases documentadas en el artículo se desarrollaron con el apoyo y asesoría del Centro formación de Desarrollo Agroindustrial y empresarial (CDAE) del SENA. Agradezco el apoyo por parte de todo el equipo Sennova de este centro, especialmente el dinamizador Sennova Carlos Alberto Cruz Ramírez y al instructor Jaime Edward Gómez Correa.

Referencias bibliográficas

Jiménez, J. J. (2006). Determinación y Aplicación de Métodos Estadísticos, para Medir Estabilidad Genética en Vegetales, Caso:Banano. (Ingeniero En Estadística Informática). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14780> DSpace en ESPOL database.

Medellín-Castillo, N. A., Hernández-Ramírez, M. G., Salazar-Rábago, J. J., Labrada-Delgado, G. J., & Aragón-Piña, A. (2017). Bioadsorption of lead (II) present in aqueous solutions on natural fiber residues from the textile industry (Agave lechuguilla Torr. and Yucca carnerosana (Trel.) Mckelvey). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 269-280.

Shahid, M., Shahid Ul, I., & Mohammad, F. (2013). Recent advancements in natural dye applications: a review. *Journal of Cleaner Production*, 53, 310.

Slama, H. B., Chenari Bouket, A., Pourhassan, Z., Alenezi, F. N., Silini, A., Cherif-Silini, H., . . . Belbahri, L. (2021). Diversity of synthetic dyes from textile industries, discharge impacts and treatment methods. *Applied Sciences*, 11(14), 6255.

Zaruma, P., Proal, J., Hernández, I. C., & Salas, H. I. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*(19), 38-47.





Marketing verde: una oportunidad de negocio

Viviana Andrea Palacio Vaca*

**“HOY LA JUVENTUD DA SU
OPINIÓN Y LA HACEN SABER
EN SUS REDES SOCIALES, Y
ESTÁ TENDENCIA ESTARÁ EN
CRECIMIENTO, NO SE REDUCIRÁ.
ÉSTA ES UNA OPORTUNIDAD DE
MARKETING DE TODOS LOS
MERCADOS, INCLUIDO LA MODA
Y LOS TEXTILES...”**



El secreto de la correcta aplicación del marketing verde en la industria es lograr conciliar los objetivos económicos de la empresa con los ambientales, que lejos de interferir con sus propósitos de crecimiento, la implementación de acciones ambientales pueda complementar y potenciar el mercado.

Según los datos de la industria, el segundo material más contaminante a nivel mundial después del petróleo es el textil ya que para actividades como el teñido y el lavado de un par de jeans se requiere de 2 mil galones de agua para su fabricación, lo que en un año representa aproximadamente 93 mil millones de metros cúbicos de este recurso. (Textilbalsareny, 2021)
A esta conclusión se llega luego de conocer el informe de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, quien en su publicación del 2018 manifestó que la industria de la moda se encuentra en el segundo puesto de los sectores más contaminantes, debido al sobre consumo, sumado a las condiciones en las que se fabrica la ropa, solo por detrás del petróleo.

La moda es el segundo consumidor de agua a nivel mundial, generando alrededor del 20% de las aguas residuales y libera medio millón de toneladas (Vergara, 2020) de microfibras sintéticas al océano cada año. La industria textil también es responsable del 10% de las emisiones globales de carbono, en mayor proporción en el transporte marítimo y los vuelos internacionales combinados. Por ejemplo, para hacer un pantalón Denim se necesita 3.781 litros de agua entre la producción del hilo de algodón, fabricación, transporte y lavado. En este proceso se emite 33,4 kg de carbono lo equivalente a ver 246 horas de televisión en una pantalla grande (Sanchez et al., 2021)

Los altos niveles de contaminación textil están siendo insostenibles para el planeta y la propia industria, según datos del Banco Mundial, la moda, aunque está valorada en 2,4 billones de dólares y emplea a más de 75 millones de personas en todo el mundo; cada año pierde un valor de 500 mil millones de dólares por la falta de reciclaje y la ropa que se tira a la basura sin ser vendida. Un desecho que podría ser el insumo de riqueza para un negocio que promueva la economía un país.

Si bien, hay una producción cada vez mayor de la moda, la globalización ha permitido la llegada de nuevas tendencias como el fast fashion, lo que quiere decir, que la industria busca satisfacer de inmediato (fast) una demanda de moda (fashion)



cambiante. Para ello ha de estar continuamente ofreciendo productos fabricados rápidamente a precios bajos, es así como en 1994 se producían 2 colecciones al año, mientras en 2020 se diseñan 30. Esta creciente y novedosa forma de ver la ropa ha logrado que la producción global de textiles se duplique en los últimos 20 años, lo que llevó a generar un máximo histórico de textiles de 60 mil millones de prendas producidas desde Asia.

Sumado a esta excesiva creación de prendas, la cultura alrededor del reciclaje textil es muy baja, más del 85% de los productos desechados para la producción y post consumo, acaban en el relleno sanitario, para los más optimistas se recupera el 13% de este residuo y se recicla de alguna forma. La mayoría se transforma en otros objetos de menos valor como trapos, material aislante o de relleno y menos del 1% se reutiliza para producir nueva fibra.

Bajo este panorama, el sector textil tiene un gran reto por delante dado que puede contribuir al desarrollo de tecnologías que permitan el reciclaje de residuos, la reutilización y revalorización de mezcla de fibras de una forma económica y ambientalmente sostenible. Para ello es fundamental hacer un proceso de separación y

clasificación de prendas, reducir la cantidad de materias primas requeridas para la elaboración de textiles, y por supuesto, que exista un compromiso político, cultural y de parte de las marcas en mitigar el impacto ambiental que la industria genera en exceso y sin control (Rodes, 2021)

Pese al fast fashion, y todo el mercadeo generado alrededor de este fenómeno, existe una nueva forma de ver este negocio, el cual se denomina marketing verde, este concepto obliga a pensar en diferentes modos de abordar este comercio de ropa, dirigiendo los esfuerzos de la marca hacia un público objetivo consciente con la mitigación del impacto ambiental a través de un consumo responsable.

Es así como en la macroencuesta realizada en Europa e impulsada por la compañía de ciencia



y tecnología Merck con el apoyo técnico de GAD3, arroja que los temas de mayor relevancia entre los jóvenes de 18 a 35 años de edad son la sostenibilidad, la innovación, la igualdad de género, diversidad e inclusión son temas candentes a nivel europeo y mundial. Esto quiere decir que los mercados del mundo pueden empezar a generar una nueva forma de vender sus productos a una generación más comprometida con las acciones que desde su actuar diario pueda gestionar frente a las amenazas del medio ambiente, incluso según los resultados de la encuesta europea, se estima que, en la relación con su momento vital actual, el 35% de los jóvenes de España le da la misma importancia a su compromiso con la sostenibilidad que a su tiempo libre y de ocio. Tanto es así, que afirman que este es más relevante que sus relaciones personales o su éxito profesional y que están dispuestos a pagar más por un producto ambientalmente responsable

Hoy la juventud da su opinión y la hacen saber en sus redes sociales, y esta tendencia estará en crecimiento, no se reducirá. Esta es una oportunidad de marketing de todos los mercados, incluido la moda y los textiles, y muchas marcas han tenido el acierto de leer este momento del mercado y ha volcado sus esfuerzos por lograr una industria textil más amigable con el ambiente,

incluyendo procesos donde se disminuya el uso de productos químicos, la eliminación de residuos contaminantes y la adopción de prácticas sostenibles. Por ejemplo, LEVI'S, presenta al consumidor nuevos mecanismos de fabricación de jeans denominado Water Less que reduce el uso de agua en sus procesos en un 28% y hasta un 96% en algunos diseños. (Elmundo, 2021)

Estas buenas prácticas han sido adoptadas, además, por marcas como Zara y Mango quienes tienen el propósito de generar productos con algodón 100% ecológico para el año 2025. O, por ejemplo H&M, que recibe prendas usadas y en contraprestación entrega bonos para comprar ropa de la marca.

En Colombia, el Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, trabaja de la mano con la Universidad Minuto de Dios para recibir prendas susceptibles de tener una segunda vida útil, y a su vez, dar la oportunidad a miles de ciudadanos de adquirir prendas en condiciones de dignidad, económicas, y además impacta al post consumo de los residuos textiles que llegan al país, para que estas iniciativas sean viables, es fundamental contar con acciones puntuales que involucren a toda la cadena de producción del textil

El número de empresas interesadas en el marketing verde es cada vez mayor. En Colombia se realizó una reunión para introducir una posible etiqueta ecológica a la cual asistieron 130 firmas, lo que evidencia el interés de la industria por crear productos amigables con el ambiente. Estas acciones pueden ser fortalecidas con políticas de orden nacional, por medio de reformas legales que busquen mitigar el impacto de la nación en el ambiente, que descuenten impuestos a las organizaciones que certifiquen su disminución de consumo de materias primas y que elaboren post producción consciente con el planeta a través de convenios con asociaciones de recicladores, por ejemplo. Lo que hoy ocurre en Colombia fue una discusión que ya se dio en la Unión Europea, quienes consideran los productos verdes como un factor primordial en la reforma ambiental.

En el marco de estas nuevas formas de consumo, y la apertura de mercados con enfoques altruistas, el marketing verde ha tomado fuerza en el orden mundial, es por esta razón, que toda industria ha venido implementando acciones que mitigan su impacto ambiental y la forma adecuada en la que se reduce la huella de carbono de cada acción que se realiza en el mercado. De esta manera se pueden observar alternativas de acción inmediata desde diferentes roles y disciplinas, los textiles en desuso son 85% susceptibles de convertirse en materia prima de una economía circular en el país, las políticas públicas hacia



un emprendimiento sostenible, el apoyo a los avances tecnológicos y científicos que se puedan desarrollar en pro del aprovechamiento del recurso textil y sobre todo la conciencia de consumo responsable de parte de los usuarios finales, son los factores que permitirán que el propósito de un mercadeo más responsable con los recursos naturales en el planeta sean una realidad que perdure en el tiempo y que haga del planeta un mejor lugar para vivir.

Referencias bibliografía

Banco Mundial. (2019). <https://www.bancomundial.org/>. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/>: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/09/23/costo-moda-medioambiente>

Elmundo. (2 de mayo de 2021). www.elmundo.es. Obtenido de www.elmundo.es: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2021/05/02/60857be3fdddff794a8b4649.html>

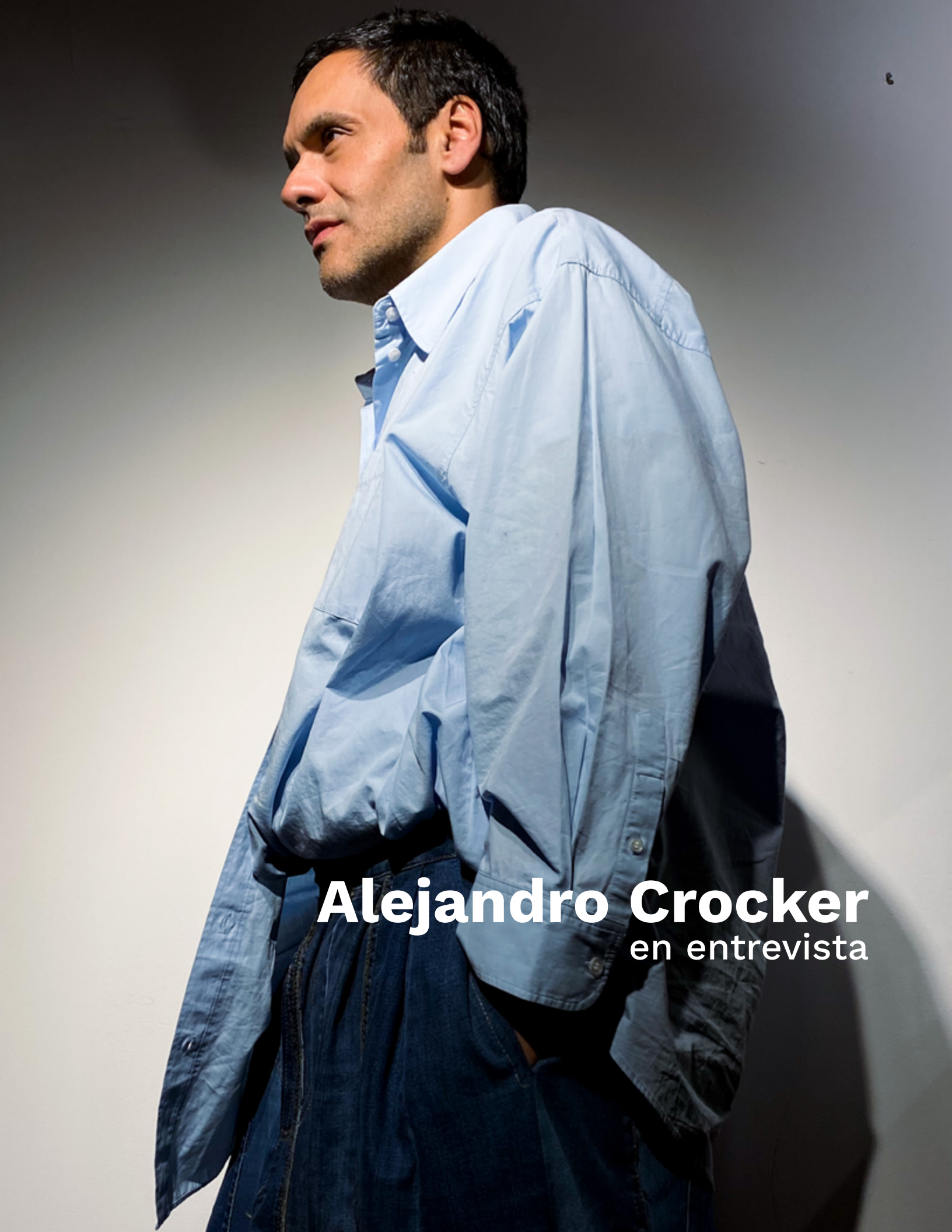
Gomez, A., & Fuenmayor, O. (5 de febrero de 2020). Seampedia.com. Obtenido de <https://seampedia.com/la-insostenible-sostenibilidad-del-fast-fashion/>

Rodes, A. (2021). Reciclaje textil. Revista AITEX, No. 66. Primer Cuatrimestre, 22.

Sanchez et al. (2021). Transformación de residuos textiles en fibras, mediante la construcción de una máquina desfibradora de tejidos textiles. Obtenido de E.; Oviedo, N; Banda, L; Guerra, K; Burbano; Angelo; Godoy, D.

Textilbalsareny. (Diciembre de 2021). textilbalsareny.com. Obtenido de textilbalsareny.com: <https://textilbalsareny.com/blog/impacto-medioambiental-de-la-industria-textil/>

Vergara, J. (17 de mayo de 2020). www.wwf.org.co. Obtenido de <https://www.wwf.org.co/?363590/Moda-pasajera-impacto-ambiental-duradero>

A man with dark hair and a light beard is shown in profile, looking towards the left. He is wearing a light blue, long-sleeved button-down shirt and dark blue jeans. The background is a plain, light-colored wall with soft shadows.

Alejandro Crocker

en entrevista

Perfil de Alejandro Crocker

Alejandro Crocker es un artista venezolano, estudió historia del arte con una tutoría privada de la Universidad de la Sorbonne de París. Tiene una amplia experiencia en dirección de arte, gestión cultural y teatro, desde muy joven trabajó en el Museo de Arte Moderno de Caracas.

Gracias a la inspiración de su madre, una mujer amante de la moda y coleccionista de piezas únicas e importantes, comenzó a restaurar tejidos antiguos y crear piezas con tejidos reciclados y moda sostenible, hace más de 20 años.

Su carrera como reciclador creativo y diseñador de moda comenzó en la ciudad de Caracas, luego se instaló en Miami donde abrió su tienda y participó en las ferias de moda más importantes de Estados Unidos.

Llegó a Colombia hace 8 años y continuo con sus estudios sobre el reciclaje textil y lo que llamamos lujo consciente: piezas únicas hechas a mano 100% recicladas.

Cuéntame, ¿quién es Alejandro Crocker?

Alejandro Crocker es un reciclador, no solo textil, sino de ideas y de sentimientos.

¿Por qué escoges la moda como campo de acción?

Por el amor que me inculcó mi madre a la belleza de la segunda piel, que es la ropa; y entendí, también, la importancia que tiene la moda al ser un agente político e inspirador.

¿Por qué tu propuesta es lujo, y precisamente, lujo consciente?

Porque hablando de reciclado precisamente, de piezas únicas donde se le dedica muchísimas horas, en su momento, entendí que ese, para nosotros, es el verdadero lujo: Dedicarle tiempo, pasión y entrega a cada pieza, horas y horas de trabajo y además el mensaje del cuidado del planeta.

Puedes contarme, ¿Qué es para ti la moda sostenible?, ¿Cómo usas este término?

La moda sostenible para mi es responsabilidad ante la sociedad, antes los demás y ante uno mismo. Amor propio y a cada ser humano que tenemos al rededor.

Para mi, este término lo es todo, es una forma de vida.

¿Quién es el público que escucha este discurso de tu marca, de tus piezas y tu visión?

Anteriormente, yo creía que el público que me escuchaba y que me consumía era el que disfrutaba la moda. Hoy en día me he dado cuenta, con mucha alegría, que se va abriendo ese público, y es cualquiera que tenga un poquito de sensibilidad por el planeta.

¿Cuál es tu visión actual del mercado de la moda?

Complicada esa pregunta porque me he estado planteando mucho alrededor de lo que ha pasado con Balenciaga y no tengo una respuesta clara: No sé hacia donde va el mercado moda, no estoy hablando solo a nivel local, estoy hablando a nivel mundial, a nivel del mercado como tal. Siento que hemos pasado la barrera en la moda de lo que es realmente importante, que son las piezas, que es la propuesta, para convertirlo en un show mediático, y ahí, tengo mis problemas.

¿Qué ciudades según tu parecer y a nivel mundial están siendo pioneras en moda ética o sostenible?

Yo creo que en Europa, está pasando, está creciendo mucho esa consciencia, me atrevería a decirte que es el mundo entero. Unos vamos más lentos que otros pero siento que es una revolución que llegó para quedarse.

Si esto sucediera a un nivel cercano a una escala masiva, ¿Crees que sería posible modificar el sistema de valores predominante en la propuesta moda de las grandes marcas a partir del cambio en nuestros hábitos de compra?, ¿Qué potencial de transformación social tenemos como consumidores?

Totalmente, como consumidores somos los agentes que generamos ese cambio, y como consumidores somos los únicos que tenemos el poder.



ALEJANDRO CROCKER
LUJO CONSCIENTE • RECICLAJE CREATIVO

¿Cuál es el principal problema que encuentra un diseñador cuando decide crear sus colecciones bajo las premisas de una moda sostenible y ecológica?

El consumidor: La educación al consumidor y todos los mitos que hay alrededor de ella.

Un color ideal

Últimamente, Rojo.

¿Qué colecciona?

Libros.

¿Qué es lo primero que hace en la mañana?

Cepillarme los dientes y tomar café.

¿Para qué sirve la moda?

Para inspirar.

¿Qué es la belleza?

Un fin de Dios.

Un/a diseñador/a para toda la vida

Cristobal Balenciaga.

Una sola prenda de tu closet, que sea especial

Un Kurtta que tengo, que me traje de la India.

¿Cuál ha sido su mayor reto de carrera?

Ser constante y no desfallecer.

¿Qué te da nervios?

Los nervios.

¿Qué te gusta que te regalen?

Un libro.

¿Qué libro está leyendo?

El arte de la seducción; París, la historia de la ciudad de París; y un libro de meditación.

¿Qué querías ser cuando eras niño?

El principito.

¿Qué locura has hecho por amor?

Hay una muy cursi, una vez di una serenata.

Una lección de vida

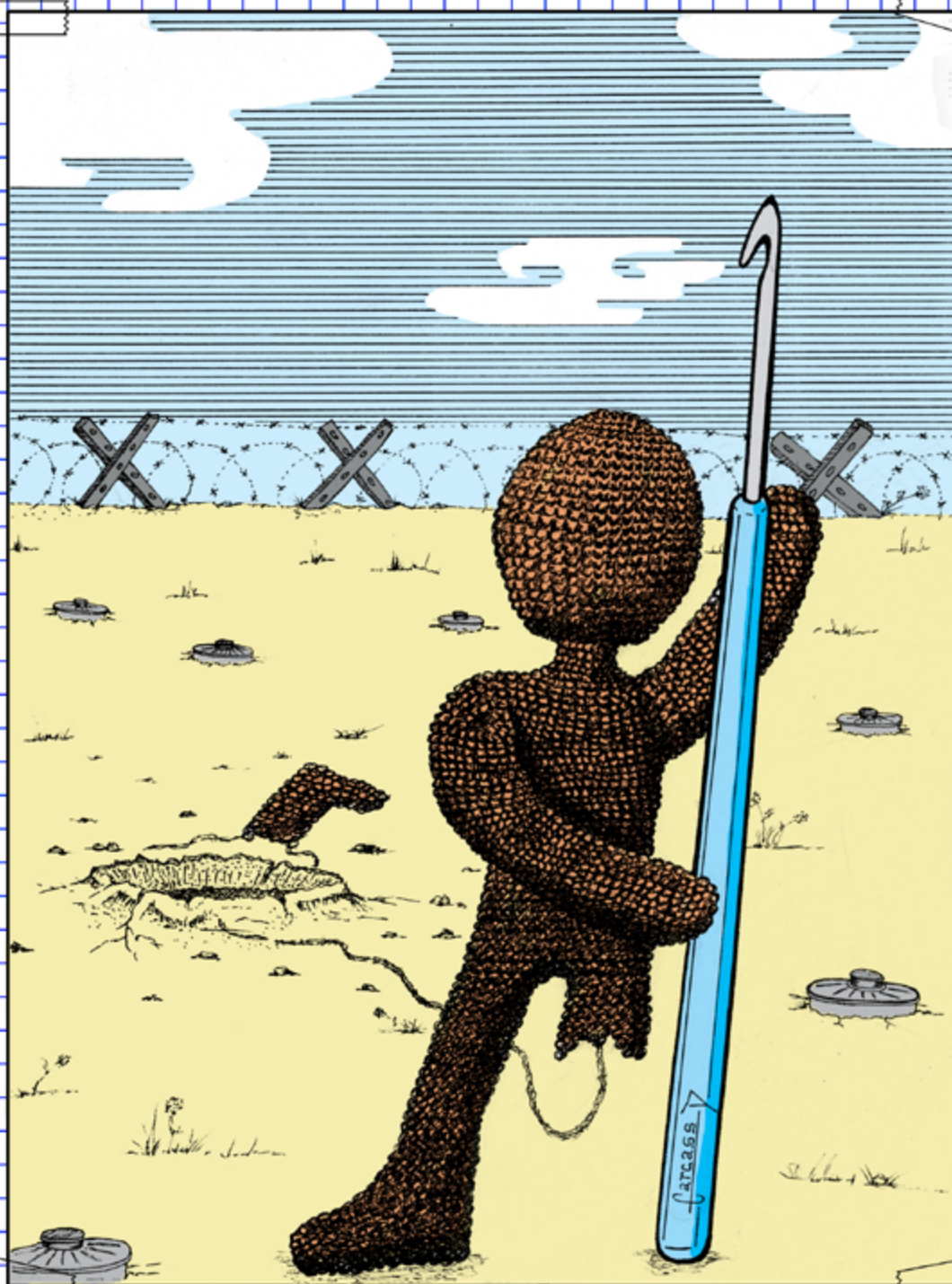
Vive el presente con amor y alegría, esa lección me la dejó mi madre.



Lixiviados
Clan

Presentan:

conCiencia



Por: Carlos Alfonso Rodríguez Castillo

Revista INNMODALAB



Recepción de manuscritos

Te invitamos a ser parte de la **septima edición** de la **revista InnmodaLab**, envianos tus manuscritos. *Asesoramos escritura*

Apoyamos la inclusión

Buscamos divulgar y apoyar investigaciones que se relacionen con la promoción en función de las necesidades de la población, producción de comunidades del sector **informal rural (campesinos), sectores desprotegidos, poblaciones vulnerables, grupos étnicos, madres cabeza de hogar, adaptaciones para personas en situación de discapacidad, modelos de producción y consumo sostenible (economía circular) y el fomento de una cultura de respeto y protección por el medio ambiente.**

Para más información
<https://revistas.sena.edu.co/index.php>



Recepción de artículos
revistainnmoda@gmail.com



Centro de Manufactura
en Textil y Cuero
Regional Distrito Capital

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Instagram Facebook Twitter YouTube LinkedIn
@SENAComunica

www.sena.edu.co

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Centro de Manufactura
en Textil y Cuero
Regional Distrito Capital