

Acabados Antimicrobianos en Textiles: Tendencias y Aplicaciones

Laura María Muñoz Echeverri ^a

^a SENA, Centro Textil y de Gestión Industrial, GIAITEQ
Immuno729@misena.edu.co

Resumen

Los textiles antimicrobianos hacen parte de la amplia gama de textiles técnicos cuyo desarrollo obedece a la necesidad de evitar la proliferación de microorganismos en las fibras y tejidos. Para la obtención de este tipo de materiales se han venido investigando y desarrollando una diversidad importante de agentes antimicrobianos, tecnologías para su aplicación y mecanismos de liberación. Este artículo consiste en una revisión de literatura sobre los avances inherentes a los aspectos previamente mencionados. Se presentan además las diferentes pruebas de calidad (durabilidad y actividad antimicrobiana), seguridad e inocuidad a las que deben ser sometidos los textiles antimicrobianos antes de su introducción en el mercado, y los diferentes sectores donde estos tienen aplicación. En general, el propósito del documento es brindar un panorama global sobre un tema de actualidad e interés para un sector manufacturero de relevancia en Colombia como el textil.

Palabras clave: Agentes antimicrobianos, Funcionalización, Aplicaciones, Mecanismos de acción, Requerimientos de calidad.

1. INTRODUCCIÓN

Los textiles basados en fibras naturales y sintéticas juegan un papel importante en diversas industrias alrededor del mundo. Estos son usados diariamente como materia prima para la elaboración de diferentes productos destacando entre ellos la confección de prendas, empaques de alimentos, muebles para el hogar, automóviles, equipamiento deportivo, dispositivos médicos entre otros (Santos *et al*, 2016).

Además de sus múltiples aplicaciones, características como un área superficial, textura porosa y habilidad para retener humedad y calor, convierte a los textiles en un ambiente propicio para el crecimiento de microorganismos, siendo los hongos y las bacterias los más frecuentes (Hui *et al*, 2016; Santos *et al*, 2016). Mientras los hongos producen en el textil problemas de decoloración y daño de las fibras, provocando a su vez una apariencia indeseada, pérdida de elasticidad y fuerza; las bacterias son las mayores responsables de los olores y sensaciones desagradables. Existen además cepas microbianas que pueden comprometer la salud de los usuarios ocasionando infecciones de importancia clínica (Hui *et al*, 2016).

La preocupación de los consumidores por la higiene y protección personal ha motivado el desarrollo de nuevos textiles con funciones antibacterianas y antifúngicas (Subramanian, 2016); de este modo, los textiles antimicrobianos son uno de los campos más activos e importantes del sector textil, involucrando actividades que conlleven al descubrimiento y aplicación de nuevos agentes antimicrobianos, fibras funcionales, acabados químicos y una de las áreas más activas y promisorias, la nanotecnología (Hui *et al*, 2016).

El mercado mundial de textiles antimicrobianos y en general de textiles técnicos se posiciona como uno de los más prometedores de este sector industrial. Se reporta que, en el 2016 el mercado de antimicrobianos estaba avaluado en US\$ 527.9 millones y se proyecta que para el 2026 alcanzará los US\$ 1076.1 millones, con un crecimiento de cerca del 12% por año (Innovation in textiles, 2017; Santos *et al*, 2016).

Con base en lo antes expuesto, en este artículo se revisan tópicos claves relacionados con los textiles antimicrobianos tales como: tipos de agentes, mecanismos de liberación, métodos de funcionalización, aplicaciones, pruebas de seguridad, inocuidad y calidad. Esperando entonces presentar un panorama tecnológico actualizado que pueda ser de utilidad para el sector textil.

2. METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo, consistente en una revisión de literatura, se empleó un proceso compuesto por las siguientes fases, propuestas por González (2015) y Hernández *et al*. (2014).

a.) Identificación de los temas y subtemas más relevantes: Debido a la creciente demanda de textiles funcionales y particularmente con acabados antimicrobianos, se

estableció la necesidad de conocer y entender aspectos técnicos, tendencias y aplicaciones inherentes a este tipo de materiales.

b.) Definición de palabras claves: Con los temas y subtemas identificados, donde se establecieron palabras clave en inglés como: “fabrics”, “textile”, “antimicrobial”, “antimicrobial agents”, “regulation”, entre otras.

c.) Búsqueda y recolección de la información: Para esta fase se construyeron ecuaciones de búsqueda con las palabras clave seleccionadas y los operadores booleanos, OR y AND). Como restrictor principal se seleccionaron documentos de los últimos 10 años. Se emplearon las bases de datos y motores de búsqueda, Google, Google Scholar, Science Direct, Springerlink, entre otras.

d.) Análisis: Se seleccionaron los resultados relevantes obtenidos desde las búsquedas. Se revisaron los diferentes documentos obtenidos extrayendo de ellos la información requerida.

e.) Difusión: Se espera con este documento, difundir a la comunidad los hallazgos obtenidos desde el proceso de revisión bibliográfica, y que contribuyan como punto de partida para desarrollo de propuestas de investigación.

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Textiles antimicrobianos

Se conocen como textiles antimicrobianos aquellos tejidos con la capacidad de evitar la proliferación de microorganismos en sus fibras. Este tipo de productos se obtienen luego de someter al textil a tratamientos o acabados finales en los cuales se adicionan productos químicos reconocidos por su acción nociva sobre diversos tipos de microorganismos. Dependiendo del tipo de agente químico seleccionado, el textil puede adquirir propiedades biocidas (destruye al microorganismo) o biostáticas (inhibe su crecimiento), obteniendo en ambos casos textiles más higiénicos. En general la efectividad de este tipo de textiles depende del agente antimicrobiano usado, la concentración en que es aplicado y el método de aplicación (Hui et al., 2016; Santos et al, 2016).

3.1.1. Agentes antimicrobianos.

Los agentes químicos usados para obtención de textiles antimicrobianos se clasifican en tres grandes grupos: orgánicos sintéticos, orgánicos de origen natural e inorgánicos (Maya et al., 2017). En la Tabla 1 se presentan los de mayor relevancia y se describen algunas de sus características:

Tabla 1
Agentes químicos antimicrobianos más reportados

Agente	Características generales	Efecto sobre los microorganismos	Fibras
Orgánicos sintéticos			
QACs (Compuestos de amonio cuaternario)	Es un surfactante catiónico compuesto de una cadena hidrofóbica y una contraparte hidrofílica, usado por años como agente antiséptico y desinfectante. Actúa contra un amplio grupo de microorganismos bacterias Gram positivas y Gram negativas, hongos y cierto grupo de virus.	Daño en las membranas celulares, desnaturalización de proteínas, ruptura de estructuras celulares.	Algodón Poliéster Nylon Lana
PHMB (Polihexametilen biguanida)	Consiste en una amina policatiónica, con un promedio de 11 unidades de biguanidas. Debido a su alta actividad microbicida y baja toxicidad sobre células animales, ha atraído la atención como acabado para textiles de fibras celulósicas y fibras sintéticas.	Daña la integridad de la membrana celular.	Algodón Poliéster Nylon
N- halaminas	Compuestos heterocíclicos que contienen uno o dos enlaces covalentes formados entre nitrógeno y un halógeno, este último usualmente un cloro. Su mecanismo de acción se debe a la liberación del ion Cl ⁺ en el agua.	Interviene en los procesos metabólicos y enzimáticos de los microorganismos causando su destrucción	Algodón Poliéster Nylon Lana
Triclosan	Es un compuesto fenólico halogenado que hace parte de la familia de los antisépticos y desinfectantes. Inhibe la síntesis de lípidos afectando el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos. Ha sido incorporado durante la extrusión de fibras de poliéster, poliamidas, polipropileno, acetato de celulosa y fibras acrílicas.	En bajas concentraciones tiene efecto bacteriostático bloqueando la biosíntesis de lípidos. Afecta la integridad de la membrana celular.	Nylon, Poliéster Polipropileno Acetato de celulosa Acrílico
Orgánicos de origen natural			
Quitosano	Es un polímero natural no tóxico, biodegradable y biocompatible. Las propiedades antimicrobianas del quitosano se derivan de su naturaleza policatiónica. Se extrae principalmente del exoesqueleto de crustáceos, aunque también podrían usarse cultivos de hongos.	Alto PM: Inhibe la síntesis del RNAm. Bajo PM: Genera filtración de sustancias intracelulares o bloquea el transporte de solutos hacia la célula	Algodón Poliéster Lana

Agentes antimicrobianos naturales: Terpenoides, polifenoles, alcaloides, polipéptidos, taninos	Son compuestos extraídos desde plantas y estudiados de manera extensiva como una alternativa para combatir el crecimiento microbiano en textiles. Al momento se han identificado diferentes compuestos con un amplio espectro de actividad contra diferentes patógenos bacterianos y fúngicos. Sus ventajas: son seguros, disponibles, no tóxicos para la piel y amigables con el ambiente.	No se conocen bien sus mecanismos de acción, pero tienen un amplio espectro de actividad contra diferentes patógenos: hongos y bacterias	Se sugiere el uso de microencapsulación para la fijación en tejidos varios
Inorgánicos			
Metales, sales metálicas, nanopartículas	La mayoría son metales pesados como el zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), oro (Au), titanio (Ti) y principalmente los derivados de la plata (Ag) son tóxicos para los microbios a muy baja concentración, bien en estado libre o en compuestos (óxidos o sales metálicas) tales como: AgCl, TiO ₂ , ZnO, CuO. Estos agentes por lo general tiene actividad biocida.	Daño en la membrana celular, genera especies reactivas de oxígeno (ROS) dañando proteínas, lípidos y el DNA.	Algodón Lana Poliéster Nylon

Fuente: Tomado de: Islam et al. (2017); Hui et al. (2016); Santos et al. (2016); Zhao et al. (2016); Upadhyay et al. (2014); Savoia (2012)

Actualmente existen en el mercado diferentes opciones de agentes químicos antimicrobianos, algunos de ellos se listan en la Tabla 2.

Tabla 2
Agentes antimicrobianos comerciales

Clasificación	Principio activo	Nombre comercial	Compañía
Orgánicos naturales	Quitosano	Cadisoft Confort	Cadesquím S.A
Orgánicos sintéticos	Isotiazolonas y semi acetales	Goldfresh FBL	Golden Tecnología
		Isotiazolinona	Sanitized
	N-(Triclorometilto)ftalimida	Folpet	Sanitized
	Piritiona de Zinc	Piritiona de zinc	Sanitized
	Copolímero orgánico	Goldfresh BR	Golden Tecnología
	Alcoholes oxietilados	GoFresh AFB	Golden Tecnología

Inorgánicos	Base plata	Casdibac Silver	Cadesquím S.A
	Cloruro de plata	iSys AG®	CHT Bezema
	Sales metálicas	iSys ZNP®	CHT Bezema
	Base plata	Plata	Sanitized
	Iones de plata	CESA® antimicro	Clariant

Fuente: Tomado y modificado de: Maya *et al.*, 2017; Sanitized, 2019

3.1.1.1. Agentes antimicrobianos basados en nanopartículas.

Entre los agentes químicos con actividad antimicrobiana que más llaman la atención de los investigadores, están las nanopartículas, estas corresponden a materiales con dimensiones en la nanoescala (1 -100 nm), cuyo tamaño y consecuente gran área superficial aumenta su actividad catalítica y estabilidad química (Agarwal *et al.*, 2017; Tabrez *et al.*, 2016)

Entre las nanopartículas (NP) con propiedades antimicrobianas se encuentran las de Ag, TiO₂ y ZnO, que pueden ser usadas para evitar el crecimiento tanto de hongos como de bacterias. Las NP de Ag en particular, tienen un área superficial grande incrementando su contacto con dichos microorganismos. El mecanismo antiséptico de las NP de Ag, está basado en su reactividad sobre proteínas afectando funciones celulares y consecuentemente inhibiendo el crecimiento de las células (Yetisen *et al.*, 2016).

Así mismo el revestimiento de textiles con Np de ZnO ha mostrado propiedades de autolimpieza en presencia de *Escherichia coli* Gram-negativa y *Staphylococcus aureus* Gram positivo aerobio (Yetisen, *et al.*, 2016; Song *et al.*, 2013; Çakır *et al.*, 2012).

Las ventajas de los nanomateriales radican en que puede aportar funcionalidades sin alterar las propiedades de confort de los sustratos o tejidos (transpirabilidad y textura). Estas se deben integrar perfectamente en las fibras manteniéndolas flexibles, cómodas y sin conducir a reacciones alérgicas. Un reto significativo para la industria textil es la permanencia de la funcionalidad por ejemplo por acción del lavado, la nanotecnología puede entonces jugar un papel importante en la introducción de propiedades permanentes (Yetisen, *et al.*, 2016; Avila & Hinestroza, 2008). Otra ventaja interesante de la nanotecnología es que además de actividad antimicrobiana también se pueden obtener textiles hidrófobos, antiarrugas, con comportamiento antiestático y protección UV (Yetisen *et al.*, 2016).

3.3.2. Mecanismos de acción de los agentes antimicrobianos

De acuerdo con Yip & Luk (2016) y Hui *et al.* (2016) los mecanismos de acción de los agentes antimicrobianos desde un textil pueden clasificarse en tres tipos dependiendo de la manera cómo interactúan con los microorganismos:

Mecanismo de liberación controlada: La mayoría de los agentes antimicrobianos actúan a través de una liberación controlada, conocida también como mecanismo de

lixiviación. Generalmente el agente no está químicamente unido a las fibras del tejido y la actividad antimicrobiana se da a través de la liberación gradual del compuesto químico desde el interior de las fibras hacia los alrededores, generalmente en presencia de humedad. Su desventaja radica en que eventualmente los agentes liberados se consumen o agotan, por lo que el acabado no será efectivo en el momento en que el agente este por debajo de las concentraciones mínimas letales o inhibitorias. Algunas sustancias antimicrobianas son lixiviables en agua, lo que implica que al lavar el textil la actividad antimicrobiana cada vez se hace más leve. Para mitigar este inconveniente surge la microencapsulación, una técnica en la cual el agente activo (compuesto químico), puede ser revestido por materiales poliméricos produciendo partículas milimétricas. Este revestimiento le proporciona protección al agente y conduce a su liberación controlada (Salaün, 2016), permitiendo así su conservación por largos periodos de tiempo incluso después del lavado.

Ligados y/o de barrera: Algunos agentes antimicrobianos pueden estar químicamente unidos por enlaces covalentes al material textil, este tipo de agentes se conocen como antimicrobianos ligados o de barrera. Los acabados de barrera se logran generando un número adecuado de grupos reactivos en el agente antimicrobiano y las fibras, por lo que al aplicar el agente este queda como una película o revestimiento creando a su vez una barrera física inerte sobre el tejido impermeable a los microorganismos. Estos acabados no lixivian a los alrededores y solo controlan microorganismos que se depositan sobre la superficie del textil. Los antimicrobianos de enlace o barrera son más resistentes al lavado frecuente comparado con los acabados antimicrobianos por lixiviación, no obstante, la actividad antimicrobiana eventualmente se reducirá con el desgaste del acabado. El PHMB y el quitosano son los productos antimicrobianos más populares que proveen cubrimientos poliméricos de barrera.

Mecanismo de regeneración: Se aplica a los tejidos que continuamente liberan un agente germicida activo a través de interacciones con algunos productos químicos u otros estímulos externos. El agente antimicrobiano usualmente se regenera durante el lavado o la exposición del tejido a radiación ultravioleta. Un agente con esta propiedad es la N-halamida, la cual se puede regenerar cuando se lava con blanqueador o hipoclorito. Este acabado provee un reservorio ilimitado de agentes bactericidas y es efectivo para microorganismos presentes en la superficie de la fibra, pero no en los alrededores. Adicionalmente si el agente requiere la adición de blanqueador para reactivar la actividad, podrían ocasionarse problemas de decoloración y olores desagradables que traen efectos negativos en la estética y/o apariencia del tejido.

3.3.3. Métodos de aplicación de agentes antimicrobianos en textiles.

La elección de la técnica idónea para lograr los diferentes acabados dependerá del agente activo, el tipo de fibra o el sustrato textil. Usualmente para fibras sintéticas los agentes antimicrobianos son incorporados en el polímero antes o durante su extrusión. Este proceso provee una mayor durabilidad del agente activo ya que este es físicamente embebido en la estructura polimérica de las fibras y su liberación es lenta durante el uso de los tejidos. Este método ha sido adoptado de manera particular para la incorpora-

ción de agentes químicos inorgánicos como sales de plata o nanopartículas (Santos et al, 2016; Yip & Luk, 2016).

Por otro lado, está el método tradicional integrado por las operaciones de impregnación (foulardado o agotamiento), secado y curado. Este es empleado comúnmente para brindar acabados antimicrobianos en tejidos naturales o sintéticos, en especial si el agente es triclosán o PHMB. Otros métodos estudiados en la década reciente son: implementación de soluciones coloidales, modificación química del biocida por la formación de enlaces covalentes con las fibras, polimerización grafting y tecnología sol-gel (Yip & Luk, 2016; Kumar, 2014; Shahidi & Wiener, 2012; Bshena *et al.*, 2011; 30. Simoncic & Tomsic, 2010). Entre las fibras y tejidos con actividad antimicrobiana que se pueden encontrar en el mercado están (Tabla 3):

Tabla 3

Fibras o tejidos comerciales con actividad antimicrobiana

Producto	Descripción	Compañía
Copptech®	Hilos de poliéster, poliamida o nylon con cobre	Copper Andino
Acticoat™ Flex 3	Apósito de poliéster flexible poco adherente recubierto de plata nanocristalina	Smith & Nephew
Bactershield®	Hilos de poliéster funcionalizados con agentes bacteriostáticos	Sinterama
Bioactive®	Fibras de poliéster con plata.	Trevira
Crabyon®	Fibra compuesta de quitosano y viscosa	Swicofil AG

Fuente: Tomado y modificado de: Copper Andina, 2019; Soluciones Hospitalarias, 2019; Santos et al. 2016

3.3.4. Requerimientos generales para los acabados antimicrobianos en textiles

Antes de aplicar un agente antimicrobiano es necesario evaluar si satisface un número de requerimientos delimitados en orden de proveer un óptimo desempeño cuando es aplicado en el textil, a continuación, se presentan algunos (Yip & Luk, 2016):

- Ser efectivo para un amplio rango de microorganismos.
- Baja toxicidad, no debe generar reacciones alérgicas o irritación en el cuerpo.
- Cumplir con los estándares de las pruebas de compatibilidad como: citotoxicidad, irritación, sensibilidad.
- No debe interferir o matar la flora residente de bacterias y hongos no patogénicos de la piel
- Duradero durante los procesos de post-tratamiento de textiles: lavados, secados, limpieza y prensado en caliente
- No tener efectos adversos sobre la calidad del tejido: fuerza, manejo y aspectos de confort
- Compatibilidad con otros procesos químicos o acabados.
- Económicamente viables y amigables con el ambiente, es decir con un mínimo impacto ambiental.

- Cumplir con las regulaciones gubernamentales como las impuestas por la Agencia Europea de Productos Químicos (ECHA) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA). De manera particular en Colombia debe satisfacer la Norma NTC 6238: Etiquetas ambientales Tipo I: Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para materiales textiles.

3.3.5. Pruebas de seguridad y/o calidad.

Así como los agentes antimicrobianos, los textiles una vez funcionalizados deben cumplir con requisitos similares para garantizar su calidad e inocuidad (Bartels, 2011; Gao & Cranston, 2008), es por ello por lo que se han implementado diversos ensayos (Zhao *et al.*, 2016):

Compatibilidad: Debido a que muchos de los textiles antimicrobianos van a tener un contacto con la piel es muy importante garantizar que no sean tóxicos o causen irritación en el consumidor. Dado que los antimicrobianos tienen la capacidad de atacar células bacterianas, es necesario asegurar que no ocurrirá lo mismo con las células humanas. Para la determinación de seguridad biológica sobre la piel se han establecido las siguientes normas (Hilgenberg *et al.*, 2016; Kramer *et al.*, 2006):

- ISO 10993-5: Ensayo para determinar citotoxicidad in vitro: Este ensayo puede realizarse por métodos cualitativos o cuantitativos. En los cualitativos se inspeccionan visualmente los cambios morfológicos de las células cultivadas “in vitro” y la reactividad de las zonas alrededor de textil. En la cuantitativa, se realiza una medición del daño celular vía conteo de células, medición del crecimiento celular, o medición de aspectos metabólicos de las células (cantidad de proteínas y/o expresión de enzimas). Si la reducción de la viabilidad es mayor al 30% en comparación con las células control, se confirma el efecto citotóxico del textil (Hilgenberg *et al.*, 2016; DIN EN ISO 10993-5, 2009).

- ISO 10993-10: Ensayo Irritación en la piel: es muy importante que los químicos de los textiles antimicrobianos no causen irritación en la piel, Para ello se usan pruebas “in vivo” donde se pone el textil en contacto con la piel conejos saludables y luego de cierto tiempo se cuantifica el índice de irritación. Como la piel del conejo puede diferir de la humana, también se realizan pruebas en humanos, pero solo con aquellos textiles que no generaron efectos negativos en la piel del conejo. El textil se declara seguro si da negativo tanto en las pruebas con conejos como en humanos (Hilgenberg *et al.*, 2016; DIN EN ISO 10993-10, 2010).

- Ensayos para la evaluación sobre la microbiota de la piel: En la piel habita cierto grupo de microorganismos como: *Staphylococcus* sp., *Corynebacterium* sp., micrococcus, levaduras y *Propionibacterium* sp (Hilgenberg *et al.*, 2016; Grice & Segre, 2011). Un desbalance en la microbiota podría conducir a una contaminación por patógenos y consecuentemente infecciones de importancia médica. Debido a que los textiles antimicrobianos no diferencian entre microorganismos benéficos y patógenos, es posible que la flora residente de la piel se vea afectada por el contacto con el textil antimicrobiano. Para evaluar esto se desarrolló un ensayo en el que un modelo de piel artificial es contaminado con *Micrococos luteus* y *Staphylococcus epidermis*. Se simula el uso del

textil por un periodo de tiempo y si no hay una reducción significativa en el número de microorganismos el textil es considerado seguro. Una prueba similar se realiza con humanos los cuales son expuestos al textil y luego se determina la cantidad de microorganismos propios de la piel; sin embargo, actualmente no existe una prueba estandarizada (Hilgenberg et al., 2016; Walter et al., 2014; Hoefer & Hammer, 2011).

Durabilidad: Es de interés por los consumidores que la eficiencia en los textiles antimicrobianos adquiridos permanezca constante por el mayor tiempo posible, preferiblemente por el tiempo de vida útil del textil. Esta durabilidad depende entre otros aspectos del método de aplicación del antimicrobiano, estabilidad y concentración (Hilgenberg et al., 2016; Ranganath & Sarkar, 2014; Lorenz et al., 2012). Para evaluar la durabilidad del acabado antimicrobiano se realizan ensayos implementando diferentes ciclos de lavado y tiempo de almacenamiento en el laboratorio. La eficiencia antimicrobiana es determinada al inicio y al final del análisis, si la actividad decrece significativamente se declara una baja durabilidad del acabado antimicrobiano (Hilgenberg et al., 2016).

En cuanto a la prueba de durabilidad al lavado, se debe elegir un ensayo de lavado apropiado, esto dependerá de la aplicación que se vaya a dar al textil, por ejemplo, para ropa de trabajo se recomienda la norma ISO 15797 y para usos menos pesados la ISO 6330 (Hilgenberg et al., 2016; DIN EN ISO 6330, 2013; DIN EN ISO 15797, 2004). En general la actividad antimicrobiana se evaluará hasta después de un máximo de 50 ciclos de lavado (Hilgenberg et al., 2016).

Para la prueba de estabilidad bajo almacenamiento se seleccionan condiciones de la vida real (25°C, 60% de humedad, 13 -36 meses); el proceso sin embargo se puede acelerar bajo las siguientes condiciones: 40°C, 75% de humedad, 3 -9 meses). Como aún no hay normas estandarizadas, para las pruebas de durabilidad el fabricante puede definir los términos, número de ciclos de lavado o condiciones de almacenamiento (Hilgenberg et al., 2016).

Actividad antimicrobiana: Para determinar la actividad antimicrobiana en textiles y por ende garantizar su efectividad como textiles biostáticos o biocidas, se han estandarizado y normalizado diversos ensayos por la organizaciones: American Association of Textile Chemists and Colorist (AATCC), American Society for Testing and Materials (ASTM), Japanese Industrial Standards (JIS) y International Organization for Standardization (ISO). La elección de la norma o ensayo dependerá del tipo de microorganismo que se desea evaluar, mecanismo de acción de los agentes antimicrobianos aplicados y tipo de textil (Hilgenberg et al. 2016; Maya et al., 2017; Zhao et al., 2016). De manera general los ensayos se han dividido en cualitativos y cualitativos.

- Ensayos cualitativos: En este tipo de ensayos las muestras textiles son puestas en íntimo contacto con la superficie de un medio de cultivo sólido el cual previamente ha sido inoculado con una bacteria. Los medios son incubados por periodos de 18- 24 horas a 37°C y la evaluación de la actividad del textil se realiza con base en la aparición de zonas o halos de inhibición y crecimiento debajo del mismo. Los halos de inhibición ge-

neralmente se forman cuando el agente tiene un mecanismo de lixiviación y se difunde por el agar, y su tamaño dependerá de la tasa de liberación del agente y de la potencia de su actividad. Si el agente antimicrobiano está fuertemente ligado al textil (mecanismo de contacto), no se observarán zonas de inhibición. Entre los métodos cualitativos más extendidos se encuentran: JIS L 1902 “Método del halo” para agentes que con mecanismos de lixiviación; AATCC 147 2004 “Método de líneas paralelas” para determinar de forma cualitativa la actividad de agentes con y sin difusividad.

- Ensayos cuantitativos: En los métodos cuantitativos generalmente el textil es inoculado con una solución de células bacterianas. Este es incubado por periodos entre 1 h y 24 h dependiendo de la prueba, y posteriormente mediante diluciones seriales se determina la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) presentes. Por lo general se usa como testigo o blanco un textil sin actividad. La actividad será determinada con base en la cantidad de UFC entre el testigo y el textil bajo análisis. Entre las normas que se pueden usar para la determinación cuantitativa de la actividad antimicrobiana en textiles se encuentran: ASTM E2149; AATCC 100; JIS L 1902; ISO 20743, esta última adoptada por Colombia como la NTC 6174; también se reporta el ensayo AATCC 30 para la evaluación antifúngica. En la Tabla 4 se presentan características específicas para cada prueba.

Tabla 4.

Métodos estandarizados para la evaluación antimicrobiana en textiles

Tipo de prueba	Nombre o norma	Características	Microorganismo usado
Métodos cualitativos	JIS L 1902	Rápido, económico, subjetivo. Se basa en la ausencia o presencia de bacterias bajo el textil o de la formación de halos de inhibición	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	AATCC 147 2004		<i>Staphylococcus aureus</i>
Métodos cualitativos	ASTM E2149	Método de agitación en Erlenmeyer. Rápido, solo adecuado para agentes con mecanismo por contacto, sin lixiviación	<i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Escherichia coli</i> .
	AATCC 100	Método de inoculación por absorción; uso de medios ricos en nutrientes y alta humedad. Se analiza una sola muestra	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
	JIS L 1902	Método de inoculación por absorción, se usa medios de cultivo con bajas concentraciones en nutrientes. Se analiza la muestra por triplicado	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i>

Método semicuantitativo	ISO 20743	Platea tres métodos de inoculación: absorción, transferencia e impresión. Se usan medios de cultivo bajos en nutrientes. Se realiza por triplicado	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
	AATCC 30	Se plantean cuatro métodos: pruebas I y II para la evaluación la susceptibilidad del textil a la aparición de mohos. Pruebas III y IV para la evaluación de la actividad antifúngica en textiles hidrofóbicos e hidrofílicos respectivamente. En la prueba III se usan medios de cultivo sólido y en la IV suspensiones líquidas de esporas.	<i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium varians</i> <i>Trichoderma viride</i>

Fuente: Tomado de: HeiQ Materials (2010); Hilgenberg et al. (2016); Zhao et al. (2016); AATCC (2004), AATCC (2008); AATCC (2011); ASTM International (2014); Japanese Industrial Standard, (2008); International Standard (2007).

3.3.6. Aplicaciones de los textiles antimicrobianos

Aunque su rango de aplicación se extiende a varios sectores, de hecho, cualquier persona del común puede usar este tipo de productos, destacan (Fijan & Turk, 2012; Gao & Craston, 2008; Kumar, 2014; Lazary et al., 2014; Maya et al, 2017; Winder et al., 2013):

Sector deportivo: De manera particular las prácticas deportivas generan una alta cantidad de humedad, temperatura y nutrientes del sudor, todos estos factores que conducen al desarrollo de microorganismos. En este sector se usan textiles antimicrobianos para la elaboración de ropa exterior e interior.

Sector salud: Los médicos y en general los establecimientos de salud están en permanente contacto con microorganismos patógenos lo que hace susceptibles a médicos y pacientes al contagio de enfermedades nosocomiales causadas por especies como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*. Se pueden usar textiles antimicrobianos en uniformes, batas, cortinas, textiles de mobiliario, etc.

Sector defensa: Los militares y policías permanecen por largos periodos en ambientes hostiles, con climas variados y húmedos, y usando los mismos uniformes, esto los hace susceptibles a la contaminación y proliferación de microorganismos. En este sentido el sector defensa se vio en la necesidad de implementar textiles antimicrobianos para la fabricación en uniformes, sábanas, ropa interior, toallas y equipos de campaña garantizando condiciones más higiénicas para su personal.

Sector ambiental: En este sector se han implementado textiles antimicrobianos para la elaboración de sistemas de purificación de agua.

Industria de alimentos: Esta industria se caracteriza por la necesidad de mantener y garantizar condiciones de asepsia durante sus procesos productivos, por lo que se pueden emplear textiles antimicrobianos en la fabricación uniformes, mobiliario, etc, con el fin de reducir la proliferación de microorganismos.

Hogar y sector hotelero: Tanto en el hogar como en el sector hotelero los procesos de limpieza y desinfección son primordiales, no obstante, esto conduce a altos niveles de consumo de agua y detergentes. Se considera que los textiles antimicrobianos implementados en lencería para el hogar y mobiliario pueden ser un nuevo acercamiento para la reducción de la contaminación ambiental ya que los elementos no requerirían lavarse con frecuencia.

4. CONCLUSIONES

Los textiles antimicrobianos por sus múltiples beneficios (control de malos olores, control de infecciones, evitar el deterioro de los tejidos, entre otros), se están posicionando como una materia prima interesante para la elaboración de productos con aplicación en diversos sectores industriales. Se pueden obtener mediante la aplicación de diferentes agentes químicos, por lo que sus mecanismos de acción y aplicación pueden ser variados. No obstante, es necesario garantizar, antes de su implementación en el mercado, el cumplimiento de un delimitado número de criterios de seguridad, inocuidad y calidad con el fin de satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios.

Se considera que el desarrollo de textiles antimicrobianos y en general de textiles técnicos es un área a la que debe apuntar la industria textil colombiana; en esta las empresas tienen oportunidad de encontrar nuevas posibilidades para innovar y presentar en sus portafolios, productos de vanguardia que les permitan competir con un sector cada vez más globalizado.

Agradecimientos: Se agradece de manera especial a Yuliana Cadavid y Daniel Campo por el acompañamiento y apoyo permanente en la ejecución de los proyectos de investigación aplicada SENNOVA 2018 y 2019 enmarcados en la temática “Textiles Antimicrobianos”. Así mismo al Centro Textil y de Gestión Industrial y al Área de Química, Textil y Producción por poner a disposición los espacios necesarios para el desarrollo experimental inherente a los proyectos de investigación.

REFERENCIAS

- AATCC. (2004). *AATCC 30: Antifungal activity, assessment on textile materials: mildew and rot resistance of textile materials*. American Association of Textile Chemists and Colorists Durham.
- AATCC. (2008). *AATCC Test Method 100-2004, Antibacterial Finishes on Textile Materials*. American Association of Textile Chemists and Colorists, AATCC Technical Manual
- AATCC (2011). *AATCC Test Method 147-2011. Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: Parallel Streak Method*. American Association of Textile Chemists and Colorists, AATCC Technical Manual
- Agarwal, H., Venkat Kumar, S., & Rajeshkumar, S. (2017). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles – An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.03.002>
- ASTM International (2014). ASTM E2149 -13 a. Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions.
- Avila, A. G. & Hinestroza, J. P. (2008). Smart textiles: Tough cotton. *Nature Nanotechnology*. 3, 458-459.
- Bartels, V. (2011). *Handbook of Medical Textiles*; Elsevier: Cambridge, UK
- Bshena, O.; Heunis, T.D.; Dicks, L.M. & Klumperman, B. (2019). Antimicrobial fibers: Therapeutic possibilities and recent advances. *Future Medical Chemistry*, 3, 1821–1847.
- Çakır, B. A.; Budama, L.; Topel, Ö.; Hoda, N. (2012). Synthesis of ZnO nanoparticles using PS-b-PAA reverse micelle cores for UV protective, self-cleaning and antibacterial textile applications. *Colloids And Surface*, 414, 132-139
- Copper Andino (2019). *Copper Andino*. Recuperado de: <http://www.copperandino.com/>
- DIN EN ISO 10993-10, (2010). *Biologische Beurteilung von Medizinprodukten – Teil 10: Prüfungen auf Irritation und Hautsensibilisierung*. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 10993-5, (2009). *Biologische Beurteilung von Medizinprodukten – Teil 5: Prüfungen auf In-vitro-Zytotoxizität*. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 15797, (2004). *Textilien – Industrielle Wasch- und Finishverfahren zur Prüfung von Arbeitskleidung*. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 6330, (2013). *Textilien – Nichtgewerbliche Wasch- und Trocknungsverfahren zur Prüfung von Textilien*. Beuth-Verlag, Berlin.
- Fijan, S. & Turk, S.S., (2012). Hospital textiles, are they a possible vehicle for healthcareassociated infections. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9 (9), 3330–3343.
- Gao, Y., & Cranston, R. (2008). Recent Advances in Antimicrobial Treatments of Textiles. *Textile Research Journal*, 78(1), 60–72. <http://doi.org/10.1177/0040517507082332>
- Grice, E.A., Segre, J.A., (2011). The skin microbiome. *Nat Rev Microbiol*, 9 (4), 244–253.
- González, A & David, G.D (2015). *Guía Práctica Innovitech, Vigilancia Tecnológica para la Innovación*. SENA.
- HeiQ Materials AG. (2010). *Technical Briefing Document*. Antimicrobial Testing. Quantitative Test Methods.

- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). México: McGraw Hill Education.
- Hilgenberg, B., Prange, A. & Vossebein, L. (2016). Testing and regulation of antimicrobial textiles. Capítulo 2. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p. 226-245) Cambridge: Elsevier.
- Hoefer, D., Hammer, T.R., (2011). Antimicrobial active clothes display no adverse effects on the ecological balance of the healthy human skin microflora. *ISRN Dermatol*:369603.
- Hui, X., Zhu, H., & Sun, G. (2016). Antimicrobial textiles for treating skin infections an atopic dermatitis. Capítulo 15. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p. 226 – 245) Cambridge: Elsevier.
- Innovation in textiles. (2017). *Antimicrobial textiles market to reach \$1,076.1 million*. Recuperado de <https://www.innovationintextiles.com/antimicrobial-textiles-market-to-reach-10761-million>
- International Standard (2007). ISO 20743 Determinación de la actividad antimicrobiana en productos con acabados antimicrobianos. ISO 20743:2007 (E)
- Islam, S., Shabbir, M & Mohammad, F. (2017). Insights into the functional finishing of textile materials using nanotechnology. En Subramanian, S. *Textiles and Clothing Sustainability. Nanotextiles and Sustainability*. (p. 97-115) Hong King: Ed. Springer
- Japanese Industrial Standard (2008). JILS 1902 Testing for antibacterial activity and efficacy on textiles products. ICS 07.100.99; 59.080.01.
- Kramer, A., Guggenbichler, P., Heldt, P., Jünger, M., Ladwig, A., Thierbach, H., *et al.*, (2006). Hygienic relevance and risk assessment of antimicrobial-impregnated textiles. *Current Problems in Dermatology*, 33, 78–109.
- Kumar, R.S. (2014). *Textil for industrial applications*. New York. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Lazary, A., Weinberg, I., Vatine, J.-J., Jefidoff, A., Bardenstein, R., Borkow, G., *et al.*, (2014). Reduction of healthcare-associated infections in a long-term care brain injury ward by replacing regular linens with biocidal copper oxide impregnated linens. *International Journal of Infectious Diseases*, 24, 23–39.
- Lorenz, C., Windler, L., von Goetz, N., Lehmann, R.P., Schuppler, M., Hungerbühler, K., *et al.*, (2012). Characterization of silver release from commercially available functional (nano)textiles. *Chemosphere*, 89(7), 817–824.
- Maya, M. P., González, E.L., & Restrepo, O.A. (2017). Compuestos antimicrobiales para textiles y sus métodos de caracterización. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 33–54. <http://doi.org/10.22395/rium.v16n31a2>
- Norma Técnica Colombiana (2016). NTC 6174 Determinación del a actividad antibacteriana en productos textiles. I.C.S: 59.080.01; 07.100.99
- Ranganath, A.S., Sarkar, A.K. (2014). Evaluation of durability to laundering of triclosán and chitosan on a textile substrate. *J Tex* 812303.
- Salaün, F. (2016). Microencapsulation technology for smart textile coatings. *Active Coatings for Smart Textiles*, 179–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100263-6.00009-5>
- Savoia, D (2012). Plant-derived antimicrobial compounds: Alternatives to antibiotics. *Future Microbiology*. 7, 979–990

- Sanitized (2019). *Snitized*. Recuperado de: <https://www.sanitize.d.com/es/>
- Santos, D., Guedes, R. M., & Lopes, M. A. (2016). Antimicrobial approaches for textiles: From research to market. *Materials*, 9(6), 1–21. <http://doi.org/10.3390/ma9060498>
- Shahidi, S. & Wiener, J. (2012). Antimicrobial Agents—Chapter 19. En: *Antibacterial Agents in Textile Industry*; InTech: Rijeka, Croatia.
- Simoncic, B. & Tomsic, B. (2010). Structures of novel antimicrobial agents for textiles-A review. *Textile Research Journal*. 80, 1721–1737.
- Soluciones Hospitalarias (2019). *ACTICOAT™ FLEX 3*. Recuperado de: <http://www.shospitalarias.com.ar/images/productos/apositos/acticoat/Acticoat-Flex.pdf>
- Song, J.; Wang, C.; Hinestroza, J. P. (2013). Electrostatic assembly of core-corona silica nanoparticles onto cotton fibers. *Cellulose*, 20, 1727-1736
- Subramanian, S. (2016). *Textiles and Clothing Sustainability*. Singapore: Springer (Vol. 3). <http://doi.org/10.1007/978-981-10-2188-6>
- Tabrez, S., Musarrat J. & khedairy, A.A, (2016). Colloids and surfaces B: biointerfaces countering drug resistance, infectious diseases, and sepsis using metal and metal oxides nanoparticles: current status. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 146, 70–83, doi:10.1016/j.colsurfb.2016.05.046.
- Upadhyay, A.; Upadhyaya, I.; Kollanoor-Johny, A. & Venkitanarayanan, K. (2014). Combating pathogenic microorganisms using plant-derived antimicrobials: A minireview of the mechanistic basis. *BioMed Research International*, 2014, 761-741.
- Walter, N., McQueen, R.H., Keelan, M., (2014). In vivo assessment of antimicrobial-treated textiles on skin microflora. *Int J Cloth Sci Technol*, 26(4), 330-342.
- Windler, L., Height, M. & Nowack, B. (2013). Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. *Environment International – Journal*. 53, 62–73.
- Yip, J. & Luk, M.Y. (2016). Microencapsulation technologies for antimicrobial textiles. Capítulo 3. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p. 226-245) Cambridge: Elsevier.
- Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinestroza, J. P., ... Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, 10(3), 3042–3068. [https://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176](https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b08176)
- Zhao, Y., Xu, Z., Lin, T. (2016). Barrier textiles for protection against microbes. Capítulo 12. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p.226-245) Cambridge: Elsevier.