

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL ACABADO ANTIMICROBIANO  
TEXTIL CON NANOPARTÍCULAS: OBTENCIÓN, APLICACIÓN Y  
CONTROL”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO TEXTIL**

**PRESENTADO POR:**

**LUZ ESMERALDA ROMÁN MENDOZA**

**LIMA – PERÚ**

**2014**

## **DEDICATORIA**

Con todo mi amor y cariño para las personas que hicieron todo en la vida para que pudiera lograr mis metas, por su inmensa paciencia y confianza cuya tenacidad y lucha insaciable son de gran ejemplo a seguir y destacar.

*Benedicto Román Trujillo*  
*Leonor A. Mendoza Sánchez*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a Dios, como ser supremo y creador nuestro por bendecirme y hacer realidad este sueño anhelado.

A mis padres, hermanos y tíos por brindarme su apoyo incondicional y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Agradezco a la Ing. Carmen Uribe por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También me gustaría agradecer a la Ing. Elsa Roca M., Ing. Marco Brañez S., Dr. José Solís V. y la M.Sc. Dora Maúrtua, quienes han aportado en mi formación profesional y humana.

A la Dra. Mónica Gómez Leon por su exigencia, perseverancia y ayuda en la redacción para la culminación de la tesis y por sus consejos y más que todo por su amistad.

De igual manera agradecer a mis compañeras de laboratorio, Jessica Judit Álvarez Alayo y Vanessa Cecilia Martínez Rojas, que con su apoyo se pudo culminar el proyecto de investigación y a mis amigos que de alguna manera me brindaron su apoyo.

Agradecer también al Instituto General de Investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería, por la subvención al proyecto “*Acabado bactericida a base de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> en tejido plano para la mitigación de Infecciones Intrahospitalarias*” y por la beca otorgada para ejecutar los planes de tesis para optar el título profesional en la UNI. A la empresa L’Oreal-Perú, y al Concejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación del Perú (CONCYTEC) por la financiación otorgada para la compra de insumos y equipos.

Gracias a todos.

## PREFACIO

La realización de este tema tesis es producto del trabajo de investigación que se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería Química y Textil, la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería y en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, bajo la supervisión de: Ing. Carmen Uribe V., Ing. Elsa Roca M., Ing. Marco Brañez S., Dra. Mónica Gómez L., Dr. José Solís V., y la M.Sc. Dora Maurtua.

El tema de tesis es la investigación y desarrollo de un producto de acabado textil con propiedades antimicrobianas a base de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, para ello se ha hecho diversos análisis como: síntesis, caracterización estructural y morfológica, solidez, pruebas físicas y enfrentamientos microbiológicos.

Parte del trabajo de investigación ha sido presentado en:

- Luz E. Román, Vanessa C. Martinez, José L. Solís, Mónica M. Gómez. “Nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> y ZnO sintetizadas bajo radiación UV”, II Simposio Peruano de Nanotecnología, 13 - 15 de noviembre, 2013. Lima - Perú  
Donde se hizo merecedor del premio a mejor expositor del Concurso de Exposiciones Orales. (Anexo III).
- Carmen Uribe V., Dora Maurtua T., Elsa Roca M., Marco Brañez S., L. Esmeralda Román, Jessica Álvarez A., Vanessa Martinez R., José L. Solís, Mónica M. Gómez. “Obtención de textiles bactericidas”, publicado en la Revista Mundo Textil, Marzo 2014. (Anexo IV).

## ÍNDICE

<b>1. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
 <b>2. MARCO TEÓRICO</b>	 <b>3</b>
2.1 Antimicrobianos	3
2.1.1 Clasificación	4
2.1.2 Medición de la actividad antimicrobiana	7
2.1.3 Nanopartículas antimicrobianas	10
2.2 Industria textil con acabados antimicrobianos	11
2.2.1 Propiedades	12
2.2.2 Mecanismos	12
2.2.3 Agentes	15
2.2.4 Aplicaciones médicas	19
2.2.5 Métodos de evaluación	26
2.2.6 Problemas ocasionados por el uso de los acabados antimicrobianos	27
 <b>3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b>	 <b>29</b>
3.1 Síntesis y caracterización de nanopartículas de ZnO <sub>2</sub>	29
3.1.1 Proceso Sol-Gel	29
3.1.2 Difracción de Rayos X	33
3.1.3 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier	36
3.1.4 Microscopía Electrónica de Barrido	39
3.2 Funcionalización de textiles con nanopartículas de ZnO <sub>2</sub>	43
3.2.1 Impregnación	43
3.2.2 Solideces	48
3.2.3 Control de color	55
3.2.4 Pruebas físicas	57

3.3	Análisis microbiológico	60
3.3.1	Determinación de la mínima concentración inhibitoria	60
3.3.2	Evaluación microbiológica del textil	62
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN Y RESULTADOS</b>	<b>64</b>
4.1	Síntesis y caracterización de nanopartículas de ZnO <sub>2</sub>	64
4.1.1	Difracción de rayos X	65
4.1.2	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier	66
4.1.3	Microscopía Electrónica de Barrido	67
4.2	Funcionalización de textiles con nanopartículas de ZnO <sub>2</sub>	68
4.2.1	Impregnación	68
4.2.2	Solideces	68
4.2.3	Control de color	71
4.2.4	Pruebas físicas	72
4.3	Análisis microbiológico	76
4.3.1	Determinación de la mínima concentración inhibitoria	76
4.3.2	Evaluación microbiológica del textil	77
4.4	Morfología	79
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>81</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>83</b>
6.1	Conclusiones	83
6.2	Recomendaciones	85
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>86</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>90</b>
8.1	Anexo I: Glosario	90
8.2	Anexo II: Normas Técnicas	94
8.3	Anexo III: Resumen. II Simposio Peruano de Nanotecnología	95
8.4	Anexo IV: Artículo Revista Mundo Textil	96

## RESUMEN

Los nanomateriales con función antimicrobiana son particularmente eficaces debido a la alta relación de superficie a volumen y una mayor reactividad de la superficie del antimicrobiano de tamaño nanométrico, haciéndolos capaces de inactivar más microorganismos en comparación con sus homólogos de escala superior, entre los nanomateriales más prometedores con propiedades antimicrobianas y antivirales son las nanopartículas metálicas (Ag, Cu, Au, Zn, etc.), es por ello que, en el presente trabajo de investigación se continuará con el desarrollo de la síntesis y caracterización del antimicrobiano a base de nanopartículas de peróxido de zinc ( $ZnO_2$ ), el cual tuvo inicio en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El modo de aplicación al textil será mediante el proceso de impregnación sobre tejido seco, haciendo uso del equipo denominado Foulard. Las muestras textiles impregnadas con el antimicrobiano, se someterán a un análisis microbiológico para evaluar su capacidad antimicrobiana frente al ataque de bacterias como la *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. Posteriormente a la evaluación microbiológica, se determinará las solideces del textil tales como: la solidez al lavado, al frote y al sudor y adicionalmente se evaluará las propiedades físicas más relevantes de un tejido.

En la investigación, también se determinará la mínima concentración inhibitoria de las dos cepas de bacterias mencionadas anteriormente y de otras dos cepas adicionales como son la *Candida albicans* (hongo) y *Staphylococcus aureus* (bacteria). Además se describirá acerca de los antimicrobianos, sus antecedentes, clasificación, medición de su actividad antimicrobiana, etc., se hará énfasis de las propiedades, mecanismos y agentes que están presentes en los antimicrobianos usados en la Industria Textil y se mostrará ejemplos de las diversas aplicaciones médicas de textiles con acabados antimicrobianos.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b>	Interpretación de resultados de la Mínima Concentración Inhibitoria.	10
<b>Tabla 2.2.</b>	Métodos de prueba antimicrobianos usados en textiles.	27
<b>Tabla 4.1.</b>	Resultados de la prueba de solidez al lavado según Norma ISO 105/C06:2006 con la E.G.T.C. y E.G.C.C.	70
<b>Tabla 4.2.</b>	Resultados de la prueba de solidez al frote según Norma AATCC 8:2013 con la E.G.T.C.	70
<b>Tabla 4.3.</b>	Resultados de la evaluación de solidez al sudor según Norma ISO 105/E04:2006 con la E.G.T.C y E.G.C.C.	71
<b>Tabla 4.4.</b>	Diferencia de color de las muestras textiles funcionalizadas.	72
<b>Tabla 4.5.</b>	Resultados de la densidad del tejido para las muestras textiles indicadas.	73
<b>Tabla 4.6.</b>	Resultados de gramaje ( $\text{g/m}^2$ ) para las muestras de textil indicadas.	73
<b>Tabla 4.7.</b>	Resultados de la resistencia del tejido en la dirección de la urdimbre y la trama para las muestras indicadas.	74
<b>Tabla 4.8.</b>	Título del hilo en sistema inglés (Ne).	76
<b>Tabla 4.9.</b>	Cantidad en $\mu\text{g/mL}$ de $\text{ZnO}_2$ necesarios para inhibir $1.5 \times 10^8$ ufc de las cepas indicadas.	77
<b>Tabla 4.10.</b>	Resultados del porcentaje de reducción bacteriana para la <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 10145), según Norma AATCC 100:2012.	77
<b>Tabla 4.11.</b>	Resultados del porcentaje de reducción bacteriana para la <i>Escherichia Coli</i> (ATCC 25922), según Norma AATCC 100:2012.	78
<b>Tabla 5.1.</b>	Costos de los materiales directos para la obtención del antimicrobiano a base de nanopartículas de $\text{ZnO}_2$ a nivel del laboratorio e industrial.	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b>	Determinación de la Mínima Concentración Inhibitoria.	09
<b>Figura 2.2.</b>	Estructura molecular del Triclosán.	17
<b>Figura 3.1.</b>	Variantes del proceso Sol-Gel.	30
<b>Figura 3.2.</b>	Síntesis de nanopartículas de ZnO <sub>2</sub> por radiación.	32
<b>Figura 3.3.</b>	Planos adyacentes paralelos.	34
<b>Figura 3.4.</b>	(a)Geometría de Bragg-Brentano, toma de difractogramas. Esquema del difractor.	35
<b>Figura 3.4.</b>	(b)Esquema del difractor.	36
<b>Figura 3.5.</b>	(a)Interferómetro.	38
<b>Figura 3.5.</b>	(b)Esquema Óptico de un espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier.	39
<b>Figura 3.6.</b>	Componentes de un sistema óptico de reflexión.	40
<b>Figura 3.7.</b>	Representación esquemática de un microscopio electrónico de barrido	41
<b>Figura 3.8.</b>	Esquema de un foulard vertical de dos cilindros.	46
<b>Figura 3.9.</b>	Esquema del equipo empleado para la evaluar la solidez al lavado de los textiles.	52
<b>Figura 3.10.</b>	Esquema del equipo Frotómetro.	53
<b>Figura 3.11.</b>	Esquema del equipo de Transpiración.	55
<b>Figura 3.12.</b>	Diagrama esquemático de un espectrofotómetro de esfera integrada d/8°.	56
<b>Figura 3.13.</b>	Esquema del equipo Cuentahilos.	58
<b>Figura 3.14.</b>	Esquema del corte transversal del Sacabocado.	58
<b>Figura 3.15.</b>	Esquema del dinamómetro Scott.	59
<b>Figura 3.17.</b>	Caldo de cultivo sin bacterias, con bacterias y con nanopulvos de ZnO <sub>2</sub> sonicados.	61
<b>Figura 3.18.</b>	Tela impregnada con la bacteria problema. Solución de lavado.	62
<b>Figura 4.1.</b>	Difractograma de Rayos X de nanopartículas de ZnO <sub>2</sub>	65

- sinterizadas para diferentes temperaturas de secado.
- Figura 4.2.** Espectros infrarrojo con transformada de Fourier para nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> y ZnO sinterizadas para diferentes temperaturas de secado. 66
- Figura 4.3.** Micrografías electrónicas de barrido de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> irradiadas con UV por 30 minutos. a) 100kX, b) 200Kx. 67
- Figura 4.4.** Esquema de evaluación de solidez en la cabina de luces. 69
- Figura 4.5.** Esquema del ligamento sarga 3/1. Micrografía electrónica de barrido del tejido utilizado en el presente trabajo. 75
- Figura 4.6.** Resultado de las placas para *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*. 78
- Figura 4.7.** Micrografía electrónica de barrido del textil funcionalizado. 79
- Figura 4.8.** Micrografías electrónicas de barrido para el textil no funcionalizado y el textil funcionalizado con una suspensión de 20g/L, 40 g/L y 60 g/L. 80

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- AATCC: American Association of Textile Chemists and Colorists  
(Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles).
- E.G.C.C.: Escala de grises para cambio de color.
- E.G.T.C.: Escala de grises para transferencia de color.
- MCB: Mínima Concentración Bactericida.
- MCI: Mínima Concentración Inhibitoria.
- MEB: Microscopía electrónica de barrido.

## **1. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

El uso más tradicional de los materiales textiles es en prendas de vestir, desde hace muchos siglos los textiles están actuando como interfaz entre el usuario y el medio ambiente, teniendo un rol bastante pasivo. Este rol pasivo ha sido generalmente superar la elección del material adecuado para ciertas condiciones físicas del cuerpo y del medio ambiente. Sin embargo, hoy en día el estilo moderno de vida crea la situación en la que, el objetivo real de los materiales textiles está cambiando de la simple protección tradicional a la necesaria funcionalidad y con valor añadido [1].

Los textiles polifuncionales, denominados en la comunidad científica y en sectores industriales como “textiles inteligentes”, son capaces de alterar su naturaleza en respuesta de la acción de diferentes estímulos externos, físicos o químicos, al ser modificados algunas de sus propiedades, principalmente con el objetivo de conferir o adquirir características diferentes a los que originalmente tenían. Estos textiles están aún en comienzo de su desarrollo, pero en un plazo no muy lejano pueden jugar un papel relevante en casi todos los sectores de la población, pues tendrían incidencia en el terreno laboral, seguridad, salud, decoración, etc., [2, 3].

Los materiales textiles, debido a sus propiedades inherentes, a su estructura y procesos químicos seguidos, proporcionan espacios adecuados para el crecimiento de microorganismos. Con el fin de proteger al usuario y al textil de los microorganismos, en la Industria Textil se viene investigando y desarrollando nuevos productos de acabados textiles, con propiedades específicas que no afectan la calidad estética del textil, tal es el caso de los acabados antimicrobianos a base de nanomateriales [4-7].

Entre los nanomateriales más prometedores con propiedades antimicrobianas y antivirales son las nanopartículas metálicas (Ag[8],

Cu[9], Au[10], Zn[11, 12], etc.), que presentan aumento de la actividad química debido a su gran relación de superficie a volumen y la estructura de la superficie cristalográfica [13].

El  $\text{ZnO}_2$  es un polvo semiconductor, sin olor, de color blanco, casi insoluble en agua y soluble en ácido. Este material es un tipo de peróxido muy estable a temperatura ambiente y presión atmosférica, pero cuando llega a  $160\text{ }^\circ\text{C}$  empieza a descomponerse y generar oxígeno. Además el  $\text{ZnO}_2$ , en polvo es ampliamente utilizado en la industria del caucho, procesamiento plástico, como oxidante para explosivos y mezclas pirotécnicas, en la industria cosmética y farmacéutica como un aditivo antiséptico en el tratamiento de las enfermedades de la piel [14].

## **1.2. OBJETIVOS**

Los objetivos del trabajo son:

### **1.2.1. Objetivo general**

Desarrollo, aplicación y evaluación microbiológica del antimicrobiano constituido a base de nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$ .

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Síntesis, caracterización estructural y morfológica de las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  para su posterior aplicación en tejido plano de algodón.

Comparar las solideces y las propiedades físicas de textil antes y después de la aplicación del producto antimicrobiano.

Determinar a qué tipo de antimicrobiano en la Industria Textil pertenece el antimicrobiano a base de nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$ .

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTIMICROBIANOS

Los antimicrobianos son sustancias químicas producidas por microorganismos o sintetizadas químicamente, que ejercen su acción de forma específica sobre alguna estructura o función microbiana. Poseen una elevada potencia biológica, es decir, que *inhiben* o destruyen las bacterias a muy baja concentración lo cual les diferencia de otras sustancias de acción antimicrobiana, como los antisépticos y desinfectantes, que poseen alta eficacia antimicrobiana a pequeñas concentraciones, pero que son muy tóxicos para las células humanas [15].

Desde el principio de la humanidad el hombre tuvo que asumir sus males, y trató de combatirlos según su instinto, creencias y conocimientos adquiridos por la experiencia, al no disponer de tratamientos efectivos y al encontrarse ante situaciones adversas. La primera respuesta del hombre frente a la enfermedad fue espontánea e instintiva, pero aún en estas primitivas actuaciones se puede encontrar un principio de “Terapéutica antimicrobiana” [16]. De esta manera comenzó a realizar prácticas que habían dado buenos resultados ante situaciones semejantes.

Hace un cuarto de siglo, expertos en enfermedades infecciosas manifestaron que la lucha contra estas había sido ganada, esto a expensas de los avances sanitarios, incremento del consumo de agua potable, mejores condiciones de vida existentes, así mismo como programas de vacunación y al desarrollo de los antimicrobianos, entre otros, pero hoy se analiza nuevamente dicha situación, podrá comprobarse que el panorama es sumamente distinto; después de muchos años de tratamiento con antimicrobianos se puede decir que aún prevalece esa batalla constante entre nuestro organismo y los microorganismos invasores que nos rodean.

Dicha batalla continúa debido a la resistencia a los antimicrobianos, se considera que una cepa bacteriana es resistente a un antimicrobiano cuando necesita para inhibirse concentraciones de fármacos superiores a la concentración que el antimicrobiano puede alcanzar en el sitio de la infección [17]. Por ello, el conocer la interacción existente es fundamental para comprender la fisiopatología de las enfermedades más concurrentes. La valoración global del paciente permite tener una orientación hacia la existencia de una enfermedad de probable origen bacteriana, por lo que es necesario el ayudar a combatirlos con otras armas que colaboren en la destrucción del microorganismo invasor.

### **2.1.1. Clasificación**

El conocimiento y manipulación de los antimicrobianos hace 30 años eran relativamente sencillos por el escaso número que se disponía en la práctica médica, pero actualmente se ha ampliado el arsenal terapéutico de tal forma que para un correcto conocimiento y utilización es necesario clasificarlos [16].

Los criterios de clasificación son diversos, lo que origina varias claves que han permitido agruparlos según su:

#### **a) Origen**

Se pueden dividir en [17]:

- **Biológicos**, son producidos por microorganismos, lo que permite subdividirlos a su vez en: antimicrobianos elaborados por bacterias típicas, actinomicetos y hongos.
- **Sintéticos**, son producidos exclusivamente por síntesis química.
- **Semisintéticos**, en la actualidad constituyen el grupo más numeroso e importante. Sobre el núcleo básico del

antimicrobiano, producido por el microorganismo se unen en las posiciones más adecuadas radicales obtenidos por síntesis, confiriendo mejora del espectro de acción, disminución de la toxicidad, mejora de su ácido-resistencia para la administración oral y aumentar sus propiedades farmacológicas.

#### **b) Espectro de acción:**

En relación con el tipo de microorganismos que inactivan, se clasifican en [18]:

- **Espectro Amplio**, pueden inhibir una gran variedad de bacterias gram-positivas y gram-negativas.
- **Espectro Intermedio**, cuando tienen acción sobre un número limitado de microorganismos.
- **Espectro Reducido**, sólo es activo contra determinados gérmenes.

#### **c) Efecto antimicrobiano:**

Los antimicrobianos se pueden dividir en [16]:

- **Bacteriostáticas**, bloquean el crecimiento y multiplicación de una población bacteriana quedando el microorganismo viable, de manera que, cuando se suspende el tratamiento pueden volver a recuperarse y multiplicarse.
- **Bactericidas**, producen la muerte del microorganismo responsable del proceso infeccioso.

Esta clasificación no siempre es clara, una misma sustancia puede ser bactericida o bacteriostática, depende del agente sobre el cual actúe, de la dosis y la fase de crecimiento de la bacteria.



**d) Mecanismo de acción:**

Cada familia o grupo de antimicrobianos tiene una forma característica y preferente de actuación en relación con la estructura química que posean. Pueden actuar según lo siguiente [19]:

- **Inhibición de la síntesis de la pared bacteriana**, la pared celular es un elemento protector de la integridad bacteriana pues impide el estallido de la misma, ya que en su interior existe una gran presión osmótica. Los antimicrobianos que inhiben la síntesis de la pared bacteriana en general son bactericidas, ejercen su acción sobre todo cuando la bacteria se encuentra en fase de crecimiento activo. La pared bacteriana es el punto de actuación de diversos antimicrobianos.
- **Acción sobre membrana citoplasmática**, La membrana bacteriana actúa como una barrera selectiva, controlando la composición del medio interno celular. Por ello cuando es modificada se alteran los procesos de permeabilidad y la célula pierde proteínas, iones y ácidos nucleicos y se produce de esta forma la *lisis* bacteriana.
- **Inhibición de la síntesis de proteica**, la síntesis comienza con la *transcripción* del ácido ribonucleico mensajero (ARNm) de la información genética presente en el ADN del cromosoma bacteriano, por intervención de una ARN-polimerasa. Los antimicrobianos que inhiben la síntesis proteica son bacteriostáticos.
- **Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos**, se puede bloquear interfiriendo la replicación del ADN o impidiendo la *transcripción*.

### **2.1.2. Medición de la actividad antimicrobiana**

El estudio de la sensibilidad de las bacterias es necesario porque el espectro de actividad de los antimicrobianos es limitado y las bacterias tienen capacidad de desarrollar resistencia [20].

Para ello es necesario conocer los conceptos de mínima concentración inhibitoria y mínima concentración bactericida.

#### **Mínima Concentración Inhibitoria (MCI)**

Es la cantidad mínima necesaria del agente antimicrobiano para *inhibir* el desarrollo de un microorganismo dado en condiciones normalizadas. El MCI no es una constante absoluta para un determinado agente antimicrobiano, depende de la naturaleza del microorganismo, tamaño del *inóculo*, composición del medio de cultivo, temperatura y tiempo de incubación.

#### **Mínima Concentración Bactericida (MCB)**

Es la mínima concentración del antimicrobiano que en un período de tiempo predeterminado, es capaz de inducir la muerte *in vitro* del 99.9% de una población bacteriana previamente estandarizada.

#### **a) Métodos para determinar la mínima concentración inhibitoria**

Los métodos usados para determinar la actividad de un antimicrobiano son dilución y difusión en agar [16]:

##### **Dilución**

Consiste en obtener diluciones dobles y progresivas de un antimicrobiano (1, 2, 4, 8, 16, etc.  $\mu\text{g/ml}$ ). El procedimiento se puede realizar en medio líquido o sólido. Sobre medio líquido,

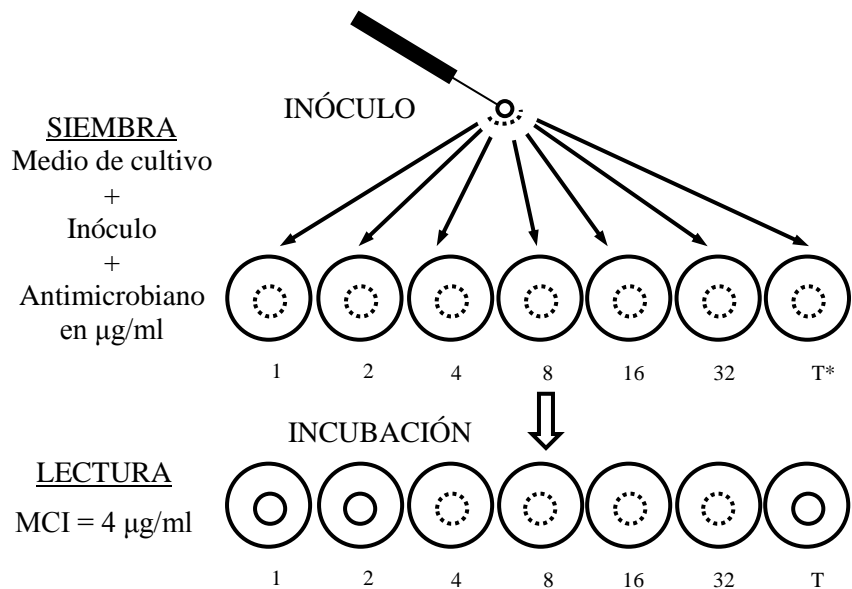
con diluciones progresivas de los antimicrobianos en tubos de ensayo al añadir una cantidad fija de bacterias, en aquellos tubos donde la bacteria se desarrolla y multiplica aparece turbidez. Cuando el antimicrobiano inhibe el crecimiento, aparece un aclaramiento de toda la masa líquida del medio de cultivo. La dilución del antimicrobiano correspondiente al primer tubo en que no existe crecimiento es la MCI (figura 2.1) y a partir de los tubos donde no hay crecimiento, se puede determinar la concentración bactericida mínima (MCB). Se detecta resemebrando sobre medios y observando el desarrollo o no de colonias. A medida que la concentración del antimicrobiano aumenta, se observa un enlentecimiento, cada vez más marcado de la multiplicación bacteriana hasta llegar a una concentración en la que no existe modificación del número de bacterias (efecto bacteriostático). En los tubos siguientes, en los que la concentración de antimicrobianos es cada vez mayor, va disminuyendo el número de bacterias y puede alcanzarse una esterilización total (efecto bactericida).

En medio sólido, las bacterias desarrolladas forman colonias. Las zonas en que no aparezcan estas indican que el antimicrobiano ha inhibido el crecimiento. La ventaja de este procedimiento, sobre el anterior en medio líquido, es que podemos sembrar sobre la placa de forma simultánea varias bacterias.

### **Difusión en agar**

Mediante este sistema se prueba la eficacia de varios antimicrobianos a partir de una siembra en superficie sobre un medio sólido de una suspensión bacteriana, depositando a continuación sobre ella discos de papel de filtro impregnados de antimicrobianos. Como el agar está suficientemente húmedo, los

antimicrobianos se difunden y se crea así concentraciones progresivamente decrecientes a partir del disco. En aquella zona donde la concentración de antimicrobianos es capaz de impedir el crecimiento de la bacteria, aparece un *halo* de inhibición. La valoración de los halos se hace por patrones obtenidos de forma que se hayan correlacionado la MCI, el diámetro del halo de inhibición y la carga de antimicrobiano del disco. Para ello es necesario determinar de forma individual la MCI y el halo de inhibición de un número amplio de cepas. Representando en un sistema de coordenadas los resultados, puede trazarse una recta de regresión que refleje la correspondencia existente entre el halo de inhibición y la MCI para un antimicrobiano determinado. De esta forma, si conocemos el halo de inhibición de una cepa por el método disco-placa, trasladando este a la escala anterior puede conocerse su MCI.



T\*= Testigo (control sin antimicrobiano)

**Figura 2.1.** Determinación de la Mínima Concentración Inhibitoria.

## b) Interpretación de resultados la mínima concentración inhibitoria

El estudio de la mínima concentración inhibitoria se realiza de forma habitual en los laboratorios de microbiología. Se llevan a cabo utilizando métodos de referencia y cepas de control que proporcionan a estos métodos unos resultados reproducibles, comparables y que permiten clasificar los microorganismos en diferentes categorías como sensible, resistente e intermedio, tal como se muestra a detalle en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Interpretación de resultados de la Mínima Concentración Inhibitoria.

<b>Categoría</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Sensible</b>	Cuando el MCI de un antimicrobiano para una bacteria se puede conseguir <i>in vivo</i> con dosis terapéuticas y la experiencia ha demostrado su eficacia.
<b>Resistente</b>	Cuando el microorganismo no es inhibido por las concentraciones que normalmente se aplican.
<b>Intermedio</b>	Cuando las bacterias se inhiben a concentraciones que no se alcanzan con dosis terapéuticas, pero que pueden alcanzarse con dosis más altas sin que sean tóxicas.

### 2.1.3. Nanopartículas antimicrobianas

Los sistemas nanocompuestos con función antimicrobiana son particularmente eficaces debido a la alta relación de superficie-volumen y una mayor reactividad de la superficie de agentes

antimicrobianos de tamaño nanométrico, haciéndolos capaces de inactivar más microorganismos en comparación con sus homólogos de escala superior [21].

## **2.2. INDUSTRIA TEXTIL CON ACABADOS ANTIMICROBIANOS**

Hace algunos años el uso de productos antimicrobianos en la industria textil, era visto como una solución técnica a problemas críticos de salud y sin duda con dificultades de aplicación y cuyos costos eran elevados.

Una prenda textil está vista como un producto que nos brinda abrigo, confort o la posibilidad de vernos más o menos atractivos, sin embargo, aun lavándolas a mayores temperaturas y dando el aspecto de que están limpias, ellas poseen muchas bacterias que sobreviven al proceso de lavado y continuamente se están desarrollando en los sustratos textiles, obteniéndose como resultado prendas contaminadas [22-24].

El incremento de microorganismos en los textiles afectan la higiene y estética de los mismos, además causan inconvenientes en las materias primas de los textiles, en los productos químicos aplicados y por ende en las prendas acabadas, en el almacenaje, transporte y durante el uso por el consumidor. Esto puede ser extremadamente crítico en el caso de quirófanos, laboratorios clínicos, de producción alimenticia, etc.

Se debe distinguir dos aspectos diferentes de un antimicrobiano textil: La primera es que la protección del usuario contra patógenos o contra el olor causado por los microorganismos. La segunda es la protección del textil en sí frente a los daños causados por el moho, hongos o podredumbre causada por los microorganismos. Los acabados antimicrobianos son particularmente importantes para la industria de telas que son expuestas al ambiente, como las telas usadas para toldos, cortinas, carpas, lonas, impermeables, etc., las mismas necesitan protección frente al moho y hongos. La telas y ropas de protección son generalmente usadas en áreas

donde hay probable infección por patógenos tal es el caso de los hospitales, colegios, escuelas y áreas públicas pobladas.

### **2.2.1. Propiedades**

La velocidad de crecimiento de microbios puede ser increíblemente rápido. La población de bacterias se duplica entre 20 a 30 minutos bajo condiciones ideales (36-40°C, pH 5-9). Estas condiciones las que ofrece el ser humano con una temperatura corporal de 37°C y un sudor con pH entre 6-8 [25]. Por ello las bacterias se propagan fácilmente en los textiles al estar en contacto con el cuerpo. Es increíble saber que una sola célula de bacteria puede incrementarse en 1 048 576 células en 7 horas. Es por ello que el acabado antimicrobiano debe tener una rápida acción y efectividad.

En adición a la rápida acción, otra importante propiedad del acabado antimicrobiano es que debe parar o matar el crecimiento de microbios y mantener sus propiedades a pesar de los ciclos de limpieza múltiples o por exposiciones al exterior. El acabado antimicrobiano debe tener una regulación estricta por parte del gobierno y también tener un mínimo impacto ambiental, debe ser de fácil aplicación en diversos textiles, ser compatible con otros agentes de acabados, tener pequeños efectos adversos en las propiedades del tejido incluyendo el confort y principalmente debe ser de bajo costo.

### **2.2.2. Mecanismos**

Los antimicrobianos son muy diferentes en cuanto a su naturaleza química, el modo de acción, el impacto sobre las personas y medio ambiente, características de manejo interno en los lugares de aplicación, permanencia sobre los sustratos, costos, y forma de interacción sobre microorganismos. A pesar de la larga lista de

requisitos, una variedad de acabados químicos han sido utilizados para producir textiles con propiedades antimicrobianas demostrables. Estos productos pueden dividirse en dos tipos basados en el modo de ataque a los microorganismos.

#### **a) Antimicrobiano de migración**

Denominado también de difusión. En este tipo de antimicrobiano se debe considerar el funcionamiento por un mecanismo de liberación controlada del compuesto activo. El antimicrobiano es liberado lentamente desde la superficie de la tela o desde el interior de la fibra de tal forma que pueda ser efectivo contra microbios en la superficie de estas o en el medio ambiente. Sin embargo, con el tiempo finalmente la acción antimicrobiana se agotará y el acabado ya no será eficaz. Estos antimicrobianos tienen la capacidad de desplazarse más allá de la superficie sobre la cual han sido aplicados, es decir abandonan el textil y entran químicamente en contacto con el microorganismo, o bien reaccionan con él actuando como veneno. Para entender mejor el funcionamiento de un antimicrobiano que actúa por difusión o migración, podemos decir que es como cualquier producto químico que migra desde una superficie y posee una mayor fuerza en el núcleo, y menor cuanto más se aleja del mismo. Al tener el núcleo central o zona letal una fuerte concentración de antibacteriano, se eliminan las bacterias existentes en el núcleo, pero exteriormente se crea una zona de inhibición sub-letal donde la concentración de antibacteriano es inferior.

En esta zona, que contiene dosis inferiores de antimicrobiano, los microorganismos pueden adaptarse y consiguientemente mutarse



y crear una bacteria cuyas posteriores generaciones sean inmunes a este tipo de sustancias químicas, es decir la exposición del microbio a dosis sub-letales causa mutación del microbio y gana resistencia. Este fenómeno es un problema reconocido como *inmunidad médica*.

#### **b) Antimicrobiano de contacto**

Este tipo de antimicrobiano consiste en moléculas que están químicamente enlazadas a la superficie de la fibra. Estos productos pueden controlar sólo los microbios que están presentes en la superficie de la fibra, mas no en el medio ambiente circundante. Potencialmente se desgastan a distancia o se desactivan y pierden su durabilidad a largo plazo. Estos antimicrobianos tienen la capacidad de eliminar microorganismos cuando entran en contacto con el textil, es decir los antimicrobianos que están en la superficie del textil al ser perjudicados por los microorganismos, ambos entran químicamente en contacto sin abandonar el textil y consecuentemente son eliminados, con ello se obstaculiza el crecimiento y reproducción de los microorganismos. Los actuales mecanismos por los cuales los acabados antimicrobianos controlan el crecimiento microbiano son muy variados, que van desde la prevención de la reproducción celular, bloqueo de enzimas, reacción con la membrana celular, destrucción de la pared celular y envenenamiento dentro de la célula. La comprensión de estos mecanismos es importante tanto para los microbiólogos como para otros profesionales que aplican y evalúan la eficacia de los acabados antimicrobianos.

### 2.2.3. Agentes

El hombre ha adoptado sustancias antimicrobianas desde la antigüedad, hecho que queda demostrado por su uso en momias egipcias y en aplicaciones similares en otras culturas. En este sentido, la protección y la conservación de los tejidos, también, han cumplido durante mucho tiempo un papel importante. La necesidad de proteger y preservar sigue siendo fundamental en muchas aplicaciones textiles hoy en día. Los antimicrobianos son agentes protectores que, al ser bacteriostático, bactericida, fungistática y fungicida, también ofrecen una protección especial contra las diversas formas de descomposición textil [26].

A continuación se describirá los agentes antimicrobianos importantes que se utilizan en los acabados textiles [25]:

#### a) Amonio cuaternario:

Los compuestos de amonio cuaternario representan una familia de compuestos antimicrobianos, considerados como agentes activos catiónicos potentes en cuanto a su actividad desinfectante, ya que son activos para eliminar bacterias *Gram-positivas* y *Gram-negativas*, aunque éstas últimas en menor grado. Son bactericidas, fungicidas y virucidas. Su actividad la desarrollan tanto sobre medio ácido como alcalino, aunque en éste último muestra mejores acciones. Son compatibles con tensoactivos catiónicos, no iónicos y anfotéricos, generalmente son incoloros o amarillentos, no irritantes y desodorantes. También tienen una acción detergente y son solubles en agua y alcohol. Tienen como estructura básica al ión amonio ( $\text{NH}_4$ ), la cual al ser modificada, da lugar a diferentes generaciones. Los compuestos de amonio cuaternario penetran en las membranas de los microorganismos

gracias a las cadenas carbonadas (hidrófobas). A través del nitrógeno catiónico (hidrófilo) interaccionan con los fosfatos de los fosfolípidos, causando la salida al exterior del material vital citoplasmático.

Los compuestos de amonio cuaternario son ampliamente utilizados como detergentes, limpiadores, desodorantes, humectantes, agentes de ablandamiento, agentes hidrófobos, emulsionantes, biocidas y germicidas. La mayor parte del uso de esta sustancia química es liberado o desechado en los sistemas de agua y suelo. Como resultado de esta descarga no controlada, se tiene altas concentraciones localizadas de amonio cuaternario en los suelos y por tanto es una fuente muy contaminante para el medio ambiente [27].

#### **b) Triclosán**

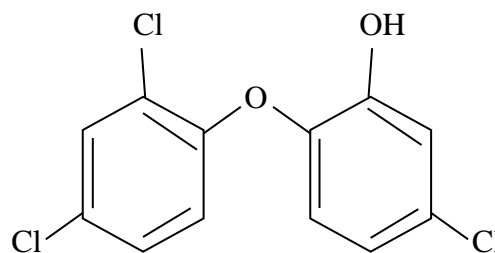
El Triclosán (5-cloro-2-(2,4-diclorofenoxi)fenol (figura 2.2)) es un potente agente antimicrobiano y fungicida. En condiciones normales se trata de un sólido incoloro con un ligero olor a fenol. Es un compuesto aromático clorado el cual tiene grupos funcionales representativos de éteres y fenoles. Es levemente soluble en agua, pero soluble en etanol, dietil éter y soluciones básicas fuertes tales como hidróxido del sodio a 1 M, así como muchos otros fenoles.

Como resultado de su actividad bacteriostática contra un amplio rango de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, se ha encontrado un incremento en el uso en productos del cuidado personal, cosméticos, pasta de dientes, enjuagues bucales, desodorantes, crema anti-microbiana, tratamiento del acné, lociones y jabones de tocador. Además es usado como agregado

en plásticos, polímeros, textiles y dispositivos médicos de implante, dándole a estos materiales propiedades antimicrobianas. También se encuentra impregnado en un gran número de productos de consumo, tales como utensilios de cocina, juguetes, ropa de cama, calcetines y bolsas de basura. Se ha demostrado que es efectivo reduciendo y controlando la contaminación bacteriana en las manos y en productos tratados.

Estudios realizados *in vitro* en los sistemas biológicos de humanos y de ratas, indican que el triclosán, a bajas concentraciones puede perturbar los sistemas metabólicos y la *homeostasis* de las hormonas, es decir podría ejercer efectos adversos en los seres humanos [28, 29].

La principal vía del triclosán para entrar en el medio ambiente después de su uso, es a través de la descarga de los efluentes de las plantas industriales y en la eliminación de lodos en la tierra del tratamiento de aguas residuales [30-32]. Lodo y agua recuperada de tratamientos a aguas residuales, se aplican cada vez más en las tierras agrícolas, lo que puede dar lugar a un impacto ambiental adverso. Por lo tanto, es necesario entender los efectos potenciales del triclosán en los organismos que están presentes en los suelos [33].



5-cloro-2-(2,4-diclorofenoxi)fenol

**Figura 2.2.** Estructura molecular del Triclosán [34].

### c) Sales metálicas

Numerosos productos químicos se han utilizado para mejorar la actividad antimicrobiana de los textiles de algodón. Muchos metales pesados en concentraciones muy bajas, ya sea en estado libre o en compuestos, matan a los microbios mediante la unión a proteínas intracelulares y la inactivación de ellos [35].

Algunos metales como cobre, zinc y cobalto, han atraído la atención como agentes antimicrobianos eficaces para los textiles, pero la plata es mucho más ampliamente utilizada en el sector textil en general [26, 36].

Para las fibras sintéticas, las partículas de plata se pueden incorporar en el polímero antes de la extrusión o antes de la formación de nano-fibras mediante la hilatura. El tratamiento de las fibras naturales con metales sólo puede llevarse a cabo en la etapa de acabado y se han diseñado diversas estrategias para mejorar la absorción y durabilidad. El algodón ha sido pre-tratado con anhídrido de ácido succínico, que actuaba como ligando para los iones de metal con el fin de mejorar la posterior adsorción de sales metálicas ( $\text{Ag}^+$  y  $\text{Cu}^{2+}$ ) y para proporcionar una actividad antibacteriana muy eficaz.

Preparación de metales y óxidos de metal de tamaño nano, principalmente de plata (Ag), dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), óxido de zinc (ZnO) y óxido de cobre (CuO) ha permitido el desarrollo de una nueva generación de biocidas [37-39]. Entre estos agentes antimicrobianos, la plata ha sido ampliamente utilizada en muchos campos, ya que muestra fuertes efectos biocidas en muchas bacterias patógenas. En consecuencia, la inmovilización de las nanopartículas de plata sobre diversas fibras ha atraído recientemente gran atención. En cuanto a los estudios de nanocompuestos de fibra/plata, la mayoría de las investigaciones

han sido de interés en la preparación de fibras ultrafinas que contienen nanopartículas de plata. Estos avances son importantes y contribuyen en gran medida a la industria textil, sin embargo, las microfibras de algodón convencionales siguen siendo muy populares en los mercados textiles.

La plata es bien conocido por su actividad antimicrobiana, y el ion  $\text{Ag}^+$  es generalmente reconocida como una especie bioactiva [40]. Recientemente, las nanopartículas de plata se han utilizado como una fuente de iones de  $\text{Ag}^+$  en muchos productos comerciales, tales como el envasado de alimentos, los textiles resistentes al olor, electrodomésticos, y dispositivos médicos [41, 42], los cuales se han convertido en una preocupación ambiental de su eventual disposición.

En los últimos años, la plata ha recibido mucha atención debido a su toxicidad en concentraciones iónicas bajas [43]. Además, la exposición  $\text{Ag}$  se asocia con síntomas clínicos específicos, como argiria, que provoca una coloración gris irreversible de la piel [44]. Las reacciones alérgicas se han observado en pacientes expuestos por vía tópica al nitrato de plata [45], y algunos estudios han informado de toxicidad en el riñón y el hígado [46]. Uno de los principales efectos inducidos por las nanopartículas de plata a nivel celular, es el estrés oxidativo, como es la *genotoxicidad* y la *mutagenicidad*, la respiración mitocondrial alterada y la muerte *apoptótica* [47].

#### **2.2.4. Aplicaciones médicas**

Los textiles con acabados antimicrobianos han atraído gran cantidad de actividades de investigación en los últimos años, con los objetivos de reducción de la transmisión de las enfermedades infecciosas y la mejora de la calidad de vida de los seres humanos. Los materiales

textiles para aplicaciones médicas tienen requisitos particulares sobre el rendimiento antimicrobiano, es decir deben matar completamente de manera rápida y eficaz contra la gama de microorganismos tales como bacterias, virus e incluso esporas.

#### **a) Aspectos principales de los textiles médicos**

Dentro de los principales aspectos de los textiles de uso médico se tienen lo siguiente [21]:

##### **1. Textiles de uso médico y transmisión de enfermedades**

Los textiles de uso médico incluyen uniformes de los trabajadores sanitarios, los vestidos de los pacientes, sábanas, toallas, abrigos, batas quirúrgicas y cortinas. La mayoría de los textiles de uso médico tales como uniformes, bata quirúrgica y cortinas se utilizan como una barrera física para proteger al personal sanitario y a los pacientes de la transmisión de enfermedades. De acuerdo con los materiales utilizados para la confección de los productos textiles médicos, se tienen dos opciones: las telas *no tejidas* y las tejidas, que conducen a los denominados materiales desechables (un solo uso) y reutilizable basado en los patrones de uso. La mayoría de los uniformes de los médicos y enfermeras, las ropas de cama de los pacientes, están hechos de tejidos y son productos reutilizables, los cuales deben ser desinfectados y lavados después de ser usados varias veces. Las batas quirúrgicas y cortinas se pueden hacer de telas tejidas o no tejidas, y por lo tanto los productos se pueden usar una solo vez o pueden ser reusables. Después del uso, los productos reutilizables son desinfectados, lavados y esterilizados para su reutilización,

mientras que los desechables serán esterilizados para su eliminación.

Los textiles médicos actuales están sirviendo principalmente como una barrera defensiva para los usuarios con ello evitar la penetración de líquidos potencialmente infecciosos, pero no pueden proteger completamente a los trabajadores sanitarios y los pacientes de las infecciones, ya que los microorganismos pueden sobrevivir en los textiles por días o incluso meses, y todavía pueden causar transmisión de la infección a los seres humanos. La transmisión por contacto de las enfermedades es una de las rutas más importantes de las infecciones relacionadas en los hospitales.

La solución para reducir las infecciones relacionadas con el material es desarrollar textiles antimicrobianos que pueden inactivar completamente todos los microorganismos sobre la superficie de contacto. La investigación teórica y evaluación de riesgos han demostrado que los textiles con acabados antimicrobianos podrían posiblemente reducir el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas en los hospitales. Sin embargo, no todas las funciones denominadas antimicrobianas pueden proporcionar una protección adecuada contra la transmisión de patógenos. Funciones antimicrobianas cubren una amplia gama de prestaciones de instantánea y destrucción completa a sólo la inhibición de las enfermedades infecciosas.

## **2. Diferencia en el rendimiento antimicrobiano**

Funciones antimicrobianas de textiles podrían implicar la inhibición del crecimiento de microorganismos, o inacciones completas de las bacterias por un largo o corto tiempo de contacto y la rápida destrucción en un amplio espectro de



agentes patógenos (bacterias, virus y hongos). Si los textiles con acabados antimicrobianos sólo inhiben el crecimiento de microorganismos y son útiles para el control de la biodegradación de los productos y conservación de los textiles, además de ello proporcionan funciones de control de olores (reducir el olor corporal), estos productos se denominan materiales bioestáticos. Con estos materiales, las tasas de crecimiento y el número de microorganismos pueden ser significativamente reducidos. Aunque las tasas de infección podrían reducirse, los microorganismos residuales todavía podrían provocar la transmisión de infecciones en un cierto nivel.

Los productos textiles que pueden proporcionar la inactivación total de un amplio espectro de microorganismos por un corto tiempo de contacto se denominan textiles biocidas. Esta función antimicrobiana es el más fuerte entre todos los antimicrobianos y por lo tanto es ideal para textiles médicos y en particular para los productos biológicos de protección. Sólo los textiles que poseen tales funciones podría asegurar una desinfección completa de las enfermedades en las superficies, evitar transmisiones de enfermedades infecciosas causadas por los contactos de la superficie de los productos textiles y el resultado es la reducción de riesgos de las infecciones en los hospitales.

### **3. Requisitos para los materiales textiles médicos**

En general los materiales textiles médicos como: batas quirúrgicas, cortinas, ropa de cama, tapizados y uniformes para médicos, enfermeras y pacientes, todos los vestidos deben poseer las funciones biocidas. Dado que la mayoría de los

textiles médicos se usan en estrecho contacto con la piel, la seguridad humana es un motivo de especial preocupación, sobre todo en los productos con funciones biocidas. Como se explicó anteriormente, textiles médicos ideales deberían poseer funciones biocidas que podrían proporcionar una inactivación rápida a un amplio espectro de microorganismos sin inducir ninguna resistencia potencial; los tejidos textiles biocidas deben ser absolutamente seguros para el cuerpo humano sin irritación de la piel y sin ninguna sensación desfavorable; las funciones biocidas deben ser duraderos por al menos 50 lavados repetidos; estas funciones podrían ser actualizables o recargables durante el lavado o un proceso simple, y las funciones biocidas de los textiles deben ser compatibles con otras funciones deseadas tales como la impermeabilidad y propiedades antiestáticas. Como cuestión de hecho, no existe un producto ideal de este tipo actualmente disponible.

La durabilidad en el lavado de los textiles con acabados antimicrobianos es un requisito clave para los uniformes reutilizables, ropa de cama y productos quirúrgicos. A fin de proporcionar estas funciones durables de biocidas se debe incorporar suficientes cantidades dentro de los textiles, químicamente o físicamente y se liberen lentamente para proporcionar la función de la duración requerida. Tal mecanismo se denomina mecanismo de lenta liberación. La mayoría de los biocidas como los que contienen agentes de amonio cuaternario y plata, se encuentran en esta categoría.

## **b) Tecnologías antimicrobianas actuales**

Actualmente el desarrollo de nuevas tecnologías de textiles

antimicrobianos ha proporcionado una amplia gama de funciones antimicrobianas de acuerdo a los mecanismos antimicrobianos y los biocidas empleados en los materiales. Algunos de los agentes biocidas como el amonio cuaternario y los de iones de plata deben contar con la cantidad suficiente y cierto tiempo de contacto para proporcionar las funciones deseadas. Con el fin de lograr las funciones duraderas, la cantidad significativa de antimicrobianos biocidas deben ser incrustadas en las fibras o tejidos y ser liberados lentamente durante el uso.

Además, los antimicrobianos, sino son unidos químicamente a las fibras podrían ser liberados en el agua al momento del lavado y posiblemente entren en el flujo de aguas residuales, como los ríos y las aguas subterráneas y las funciones biocidas de los antimicrobianos afectarán al sistema biológico en el medio ambiente, presentando así preocupaciones ambientales potenciales [48]. Por lo tanto, los usuarios de los productos textiles con acabados antimicrobianos deben ser informados de los problemas de seguridad ambiental y humana. Idealmente, se deben desarrollar antimicrobianos con *tecnologías verdes* sin las preocupaciones anteriores.

### **c) Aplicación de los textiles antimicrobianos**

Se tienen gran variedad de aplicaciones de los textiles antimicrobianos, podemos mencionar productos como:

#### **1. Ropas de protección**

Las funciones antimicrobianas en los materiales textiles podrían proporcionar protección personal contra varios patógenos. La mayoría de los investigadores creen que los

textiles médicos, como los uniformes de médicos y enfermeras, vestidos de los pacientes y otros productos de ropa de hospital deberían tener funciones biocidas, con el fin de proteger a los pacientes y más importante aún a los trabajadores de salud. Estos materiales textiles pueden ser utilizados en los uniformes militares y como son reutilizables, las funciones antimicrobianas deben ser capaces de permanecer a fuertes ciclos de lavados.

## **2. Batas quirúrgicas y cortinas**

Estos productos deben tener funciones antimicrobianas. De acuerdo con directrices de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CCPEEU) o llamado también CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) agencia del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos [49]. Estos productos quirúrgicos deben ser esterilizados a una alta temperatura y presión o hacer uso de productos químicos antes de ser reutilizada. Los procesos de esterilización pueden ser perjudiciales para algunos productos antimicrobianos que están sobre los tejidos tratados. Sin embargo, iones de plata y productos de amonio cuaternario son térmicamente estables y pueden sobrevivir a los procesos de esterilización. La única preocupación es su capacidad para proporcionar los efectos antimicrobianos o biocidas en los materiales.

## **3. Tendencias futuras**

Se necesitan textiles antimicrobianos para la protección biológica de muchas aplicaciones, incluyendo textiles médicos,

ropa deportiva, productos de higiene y uniformes militares. Los avances en la tecnología de textiles antimicrobianos, es una nueva dirección para el desarrollo futuro, con la comprensión de que los mismos, deben ser seguros para los seres humanos y el medio ambiente, ser de bajo costo en el consumo de energía para la producción y prioritariamente deben ser reutilizables y reciclables. Tecnologías antibacterianas que pueden emplearse en vestidos y paños quirúrgicos se deben desarrollar para cumplir con el requisito de la esterilización. En general, el desarrollo de perfectos textiles antimicrobianos sigue siendo un reto para los científicos textiles.

#### **2.2.5. Métodos de evaluación**

El Manual Técnico AATCC (*American Association of Textile Chemists and Colorists*), tiene un número de métodos de ensayo que son útiles para la evaluación de acabados antimicrobianos en los textiles. Estos ensayos se resumen en la tabla 2.2.

Dos tipos de pruebas antimicrobianas son dominantes, las pruebas de inhibición de las bacterias y pruebas de recuento o de cuantificación. Las principales dificultades de estas pruebas son en su mayoría una mala reproducibilidad de los resultados de las pruebas y la correlación a menudo insuficiente entre los resultados de laboratorio y las condiciones reales en el campo. La atención cuidadosa y capacidad del personal de laboratorio son esenciales para obtener resultados precisos y repetibles de estos métodos.

**Tabla 2.2.** Métodos de prueba antimicrobianos usados en textiles  
(Anexo II).

<b>Método de prueba AATCC</b>	<b>Comentarios</b>
<b>Método de prueba 147</b> Evaluación de la actividad antibacteriana de materiales textiles: Método rayas longitudinales paralelas.	Método cualitativo para determinar la actividad antibacteriana de los materiales textiles tratados frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas.
<b>Método de prueba 100</b> Evaluación del acabado antibacteriano en materiales textiles.	Método cuantitativo para la determinación del grado de actividad antimicrobiana de los textiles tratados. Se utilizan bacterias Gram-positivas y Gram-negativas.
<b>Método de prueba 30</b> Actividad antifúngica, la evaluación de las materias textiles: el moho y la resistencia a la pudrición de los textiles.	Consta de cuatro tipos. 1° probar propiedades de la tela después del entierro en el suelo que contiene hongos. 2° y 3° el tejido de celulosa se expone a los hongos <i>Chaetomium globosum</i> y <i>Aspergillus niger</i> respectivamente. 4° Se exponen los textiles a la mezcla de hongos.
<b>Método de prueba 174</b> Evaluación de la actividad antimicrobiana de alfombras.	Métodos para la determinación cualitativa y cuantitativa de la actividad antibacteriana y la evaluación cualitativa de las propiedades antifúngicas de muestras de la alfombra.

#### **2.2.6. Problemas ocasionados por el uso de los acabados antimicrobianos**

Las vías de exposición y los efectos potenciales para la salud deben tenerse en cuenta con el fin de evaluar la

seguridad de los compuestos antimicrobianos para los seres humanos.

El tipo de antimicrobiano, la concentración del producto, las vías de exposición y la frecuencia de uso, influyen en el grado en que los seres humanos pueden estar expuestos a los antimicrobianos en un producto textil [50].

El uso del antimicrobiano de tipo migración puede conducir a la pérdida de resistencia de la tela y también producir cambios de color de la misma. Algunos consumidores pueden presentar dermatitis por contacto prolongado de la piel con este tipo de acabado antimicrobiano [24, 51].

La eliminación indebida de los efluentes del acabado antimicrobiano, pueden causar graves problemas ambientales, pues los microorganismos deseables y necesarios en una la planta de tratamiento de aguas residuales pueden ser eliminados. Otra área de preocupación es el uso a largo plazo de los productos antimicrobianos a nivel mundial, darán lugar al eventual desarrollo de microbios resistentes con consecuencias tal vez mortales.

Un problema general de los acabados antimicrobianos es su efecto selectivo, es decir algunos son eficaces contra hongos, otros contra bacterias Gram-positivas o Gram-negativas, por lo tanto formulaciones antimicrobianas comerciales a menudo están compuestas de una mezcla de varias sustancias con diferentes actividades.

Otro problema general es, encontrar el equilibrio entre la alta actividad biocida y los requisitos de manipulación, incluida la no toxicidad en humanos a las concentraciones habituales y exigencias ambientales.

### **3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

#### **3.1. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ZnO<sub>2</sub>**

Los métodos de síntesis de nanopartículas suelen agruparse en dos categorías, las aproximaciones “de arriba hacia abajo” y las “de abajo hacia arriba”. La primera consiste en la división de sólidos másicos en porciones más pequeñas. Este enfoque puede involucrar la molienda o el desgaste, métodos químicos, y la volatilización de un sólido seguido por la condensación de los componentes volatilizados. La segunda aproximación, “de abajo hacia arriba”, consiste en la fabricación de nanopartículas a través de la condensación de átomos o entidades moleculares en una fase gaseosa o en solución [52]. Existen diversos métodos para la síntesis de nanopartículas por medio de esta aproximación, los más empleados son los que utilizan procedimientos químicos. El método químico es más conveniente para obtener nanopartículas uniformes y pequeñas, dentro de los métodos más representativos de esta aproximación es el método o proceso sol-gel [53].

##### **3.1.1. Proceso sol – gel**

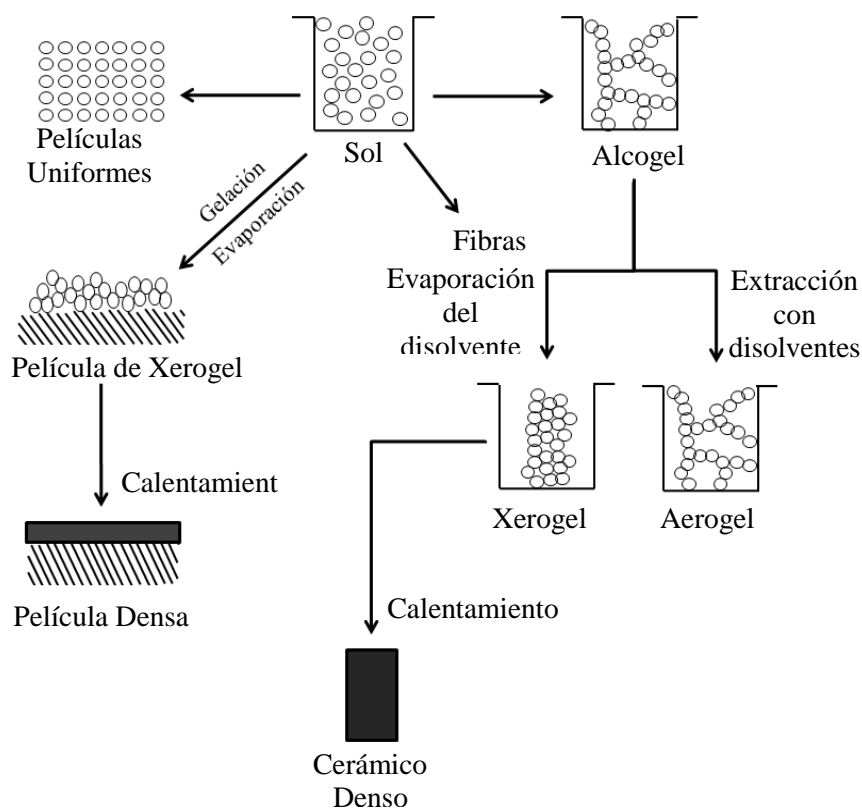
Este proceso permite la fabricación de materiales amorfos y policristalinos con características especiales en su composición y propiedades. Los beneficios de esta técnica de síntesis con relación a otras técnicas de fabricación radican en la versatilidad de la misma, así como los bajos costos que ella demanda.

La técnica de sol-gel es una síntesis química que se inicia con la preparación de una suspensión coloidal de partículas sólidas o cúmulos en un líquido (sol), de tamaño de partícula entre 1nm y



1000 nm, seguida de una hidrólisis y condensación de éste sol para formar un material sólido lleno del solvente (gel). El solvente puede extraerse de gel dejándolo reposar a temperatura ambiente durante un periodo de tiempo llamado envejecimiento (polimerización), en el cual el gel se encogerá expulsando el solvente y agua residual.

Al término del tiempo de envejecimiento, por lo general aún se tienen solventes y agua en el material, además de que el tamaño del poro es considerable. Dependiendo de las aplicaciones del material obtenido se somete a un tratamiento térmico, al final del cual obtendremos nuestro material en forma de monolito o de película delgada. El esquema del proceso sol-gel se muestra en la figura 3.1 donde: alcogel: también llamado gel, aerogel: secado de gel en condiciones supercríticas, xerogel: secado del gel por evaporación en condiciones normales.



**Figura 3.1.** Variantes del proceso sol-gel [53]

### **Etapas del proceso sol – gel**

El proceso sol-gel se divide en varias etapas fundamentales como preparación del sol, gelación y envejecimiento.

#### **- Preparación del sol**

Existen dos vías para obtener los soles: sistemas acuosos y los sistemas no acuosos. En los sistemas acuosos se utilizan como precursores óxidos, hidróxidos y sales orgánicas e inorgánicas.

#### **- Gelación**

Es cuando una solución pierde fluidez y toma apariencia de un sólido elástico, es decir la gelación es el crecimiento del dominio por condensación o por agregación de partículas, hasta que estos se interactúan, después los dominios se unen para producir uno solo de gran tamaño denominado gel.

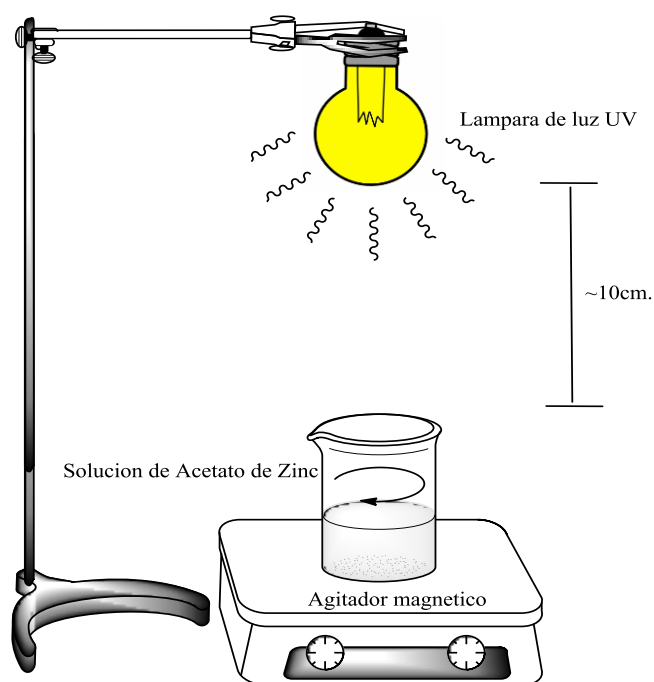
#### **- Envejecimiento**

El envejecimiento de una solución permite la reorganización de la estructura por disolución y re-precipitación, resultando en un producto cristalino o amorfo, por tanto involucra un proceso de cambio después de la gelación que es caracterizado como: Polimeración, maduración, transformación de fase, secado y tratamiento térmico.

### **Síntesis experimental de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>:**

El desarrollo de la síntesis experimental de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, se realizó por el método de radiación ultravioleta por medio del proceso sol-gel, como se explica a continuación:

Se empleó 32g de acetato de zinc dihidratado, 10 ml de peróxido de hidrógeno al 30% y 100 ml de agua destilada, la solución obtenida fue agitada constantemente con un agitador magnético e irradiada con una lámpara de 300W Ultra-Vitalux (Osram) por 150 minutos, la distancia de separación entre el recipiente contenedor de la solución y la fuente de luz UV fue aproximadamente de 10cm. Todo el equipo utilizado se colocó dentro de una cámara oscura para evitar posibles daños ocasionados por la luz UV. Esquemáticamente se muestra el procedimiento en la figura 3.2.



**Figura 3.2.** Síntesis de nanopartículas de  $ZnO_2$  por radiación UV [54].

Al culminar el proceso de radiación con luz UV, se obtuvo un *gel particulado*, el mismo fue centrifugado por un tiempo de 8 min a 10 000 RPM, luego las nanopartículas precipitadas se lavaron con agua destilada con la finalidad de eliminar o extraer el ácido acético remanente posiblemente adherido al  $ZnO_2$ , posteriormente se secó las nanopartículas a una temperatura de  $80^\circ C$  durante 12 horas. Para el caso de la impregnación del textil con nanopartículas de  $ZnO_2$  no se realizó el

proceso de secado sino se mantuvieron en una suspensión coloidal en agua destilada que fue diluida a diferentes concentraciones.

### **Caracterización experimental de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>:**

Para la caracterización estructural y morfológica de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> se empleó los métodos físicos siguientes:

#### **3.1.2. Difracción de rayos X**

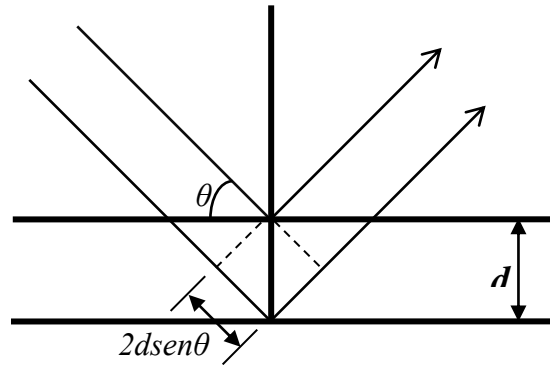
La caracterización estructural de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> se realizó empleando el método de difracción de rayos X.

La difracción de rayos X es el método más utilizado y menos ambiguo para la determinación estructural de los sólidos, identificación de materiales desconocidos, determinación de la pureza de la muestra, determinación del tamaño de los cristales y cambios de fase (estudios como una función de la temperatura y observación de transiciones estructurales).

Los análisis con rayos X desempeñan un papel más predominante en química inorgánica que en química orgánica, porque las moléculas y los sólidos inorgánicos presentan una mayor diversidad estructural.

La difracción es la interferencia entre ondas que ocurre como resultado de la presencia de un objeto en su trayectoria. Los rayos X son dispersados por los electrones de los átomos, y la difracción puede presentarse para un arreglo periódico de centros dispersores separados por distancias similares a la longitud de onda de la radiación (alrededor de 1Å), como las existencias en un cristal. Si se piensa en la dispersión como un equivalente a la reflexión de dos planos adyacentes paralelos separados por una distancia  $d$  (figura 3.3), el ángulo al cual se producirá una interferencia constructiva

entre ondas con longitud de onda  $\lambda$  estará dado por la ecuación de Bragg  $2d\sin\theta=\lambda$  [55].



**Figura 3.3.** Planos adyacentes paralelos [55].

La intensidad de la difracción depende de los detalles de la estructura cristalina y de las identidades de los átomos. Qué tan bien puede un átomo dispersar los rayos X está en función de la cantidad de electrones que posee y de su ubicación en la celda unitaria.

Hay dos técnicas de rayos X principales: el **método de polvo**, en el cual los materiales bajo estudio se encuentran en forma policristalina, consistente en miles de cristalitos cuya dimensión es de unos cuantos micrómetros o menos, y la **difracción de un monocristal**, en la que el compuesto está disponible como un solo cristal cuyas dimensiones corresponden a varias decenas de micrómetros o más.

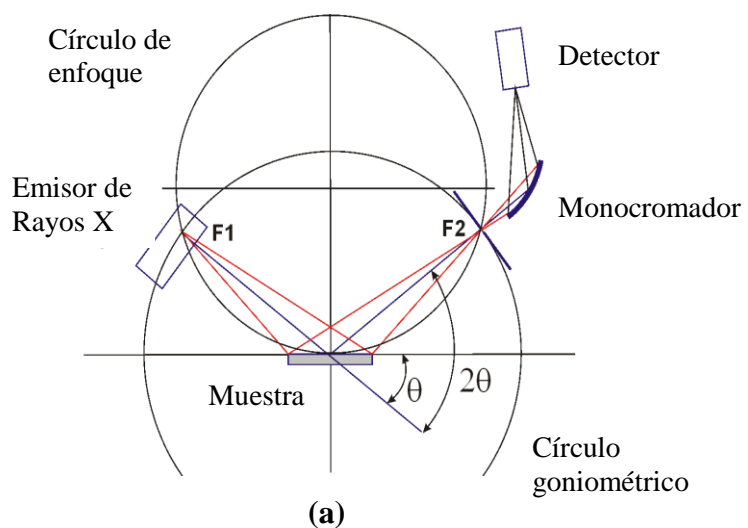
### **Difracción de rayos X en polvo:**

Una muestra de polvo contiene una enorme cantidad de cristalitos, por lo general una mención entre 0.1 y 10  $\mu\text{m}$  y dispuestos al azar. Un haz de rayos X que incide sobre una muestra policristalina se dispersa en todas las direcciones posibles; como resultado de ello, cada plano de átomos separados por un distinto espaciamiento de red

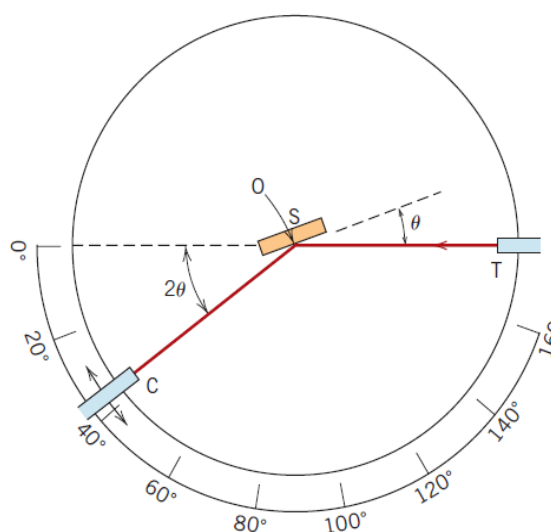
en el cristal da lugar a un cono de intensidad de difracción. Cada cono consiste de un conjunto de puntos espaciados cercanamente, cada uno de los cuales representa la difracción de un cristalito individual dentro de la muestra de polvo. Con una cantidad muy grande de estos cristalitos estos puntos se juntan para formar el cono de difracción. Con el fin de obtener datos de la difracción de rayos X de polvos en una forma útil para el análisis, es necesario determinar las posiciones de los diversos conos de difracción. Un difractómetro de polvos emplea un detector de rayos X para medir las posiciones de los haces difractados. Al escanear este detector alrededor de la muestra a lo largo de una circunferencia, corta a través de los conos de difracción en los diversos máximos de difracción, y la intensidad detectada de los rayos X se registra como una función del ángulo del detector.

En los instrumentos de rayos X, se utilizan tres tipos de fuentes: tubos, radioisótopos y fuentes secundarias de fluorescencia.

El esquema del funcionamiento de un difractómetro de método de polvos se muestra en la figura 3.4 a y b.



**Figura 3.4.** (a) Geometría de Bragg-Brentano, toma de difractogramas.



(b)

**Figura 3.4.** (b) Esquema del difractor: T = Fuente de rayos X, S = Muestra, C= Detector, O= Eje alrededor del cual gira la muestra y el detector [56].

Para el estudio de las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  se empleó un difractor Rigaku Miniflex II Desktop operado con una fuente de radiación de  $\text{CuK}\alpha 1$  ( $\lambda=0.15045$  nm) a 30 kV, 20 mA y con una velocidad de barrido de  $3^\circ/\text{min}$ .

### 3.1.3. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

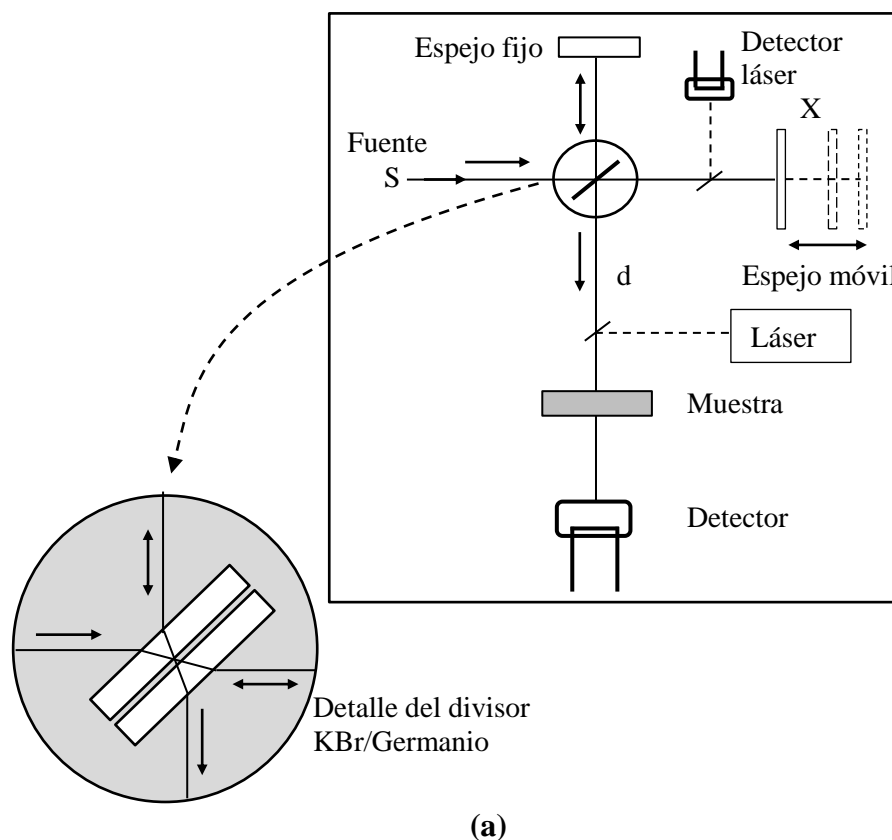
Para la caracterización estructural de las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  se utilizó la Espectroscopía Infrarroja (IR), la cual se emplea fundamentalmente para determinar las energías de las transiciones entre los niveles energéticos vibracionales de las moléculas y los sólidos [57].

Los espectrómetros de infrarrojo de transformada de Fourier son muy utilizados, debido a su alta sensibilidad y a su capacidad para el manejo de datos digitales. Corresponden a un montaje de haz simple que contiene como pieza esencial un interferómetro (a menudo tipo

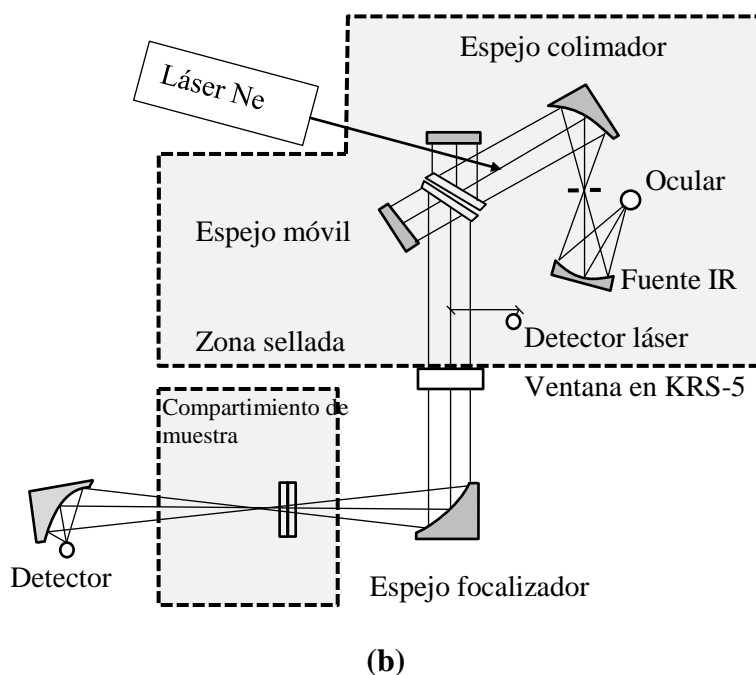
Michelson), colocado entre la fuente y la muestra (figura 3.5. a). Las radiaciones procedentes de la fuente inciden sobre un divisor de haz, compuesto de una película semitransparente de germanio depositada sobre una lámina de KBr. Este dispositivo permite generar dos haces, uno de los cuales se dirige hacia un espejo fijo y el otro hacia un espejo móvil, haciendo variar la distancia al divisor de haz. Estos dos haces, recombinados a continuación en el mismo trayecto, atraviesan la muestra antes de llegar al detector que mide la intensidad luminosa recibida globalmente. El núcleo del interferómetro de Michelson es el espejo móvil, única pieza en movimiento, que oscila en el transcurso del tiempo entre dos posiciones extremas. Cuando su posición es tal que los caminos seguidos por los dos haces presentan igual longitud, la composición de la luz que sale del interferómetro es idéntica a la luz que entra. Por el contrario, cuando el espejo móvil abandona esta posición particular, la luz tiene una composición variable debido al desfase entre los dos trayectos: la señal transmitida por el detector en el transcurso del tiempo se traduce a modo de interferograma,  $\text{Int. total} = f(\delta)$ , donde  $\delta$  representa la diferencia de trayecto óptico entre los dos caminos (Figura 3.5 b). La gestión del banco óptico y la adquisición de datos se realizan mediante una interfase electrónica específica. Durante el desplazamiento del espejo, un convertidor analógico-digital muestrea el interferograma a modo de millares de puntos. Cada uno de estos valores corresponde a una posición del espejo y representa la intensidad global que ha atravesado la muestra. Se trata formalmente del segundo miembro de una ecuación lineal cuyos términos corresponden a las intensidades de  $n$  longitudes de onda diferentes (seleccionadas en número finito) para la posición considerada del espejo y después de la absorción por la muestra.



A partir de estos millares de valores, un microprocesador específico ejecuta, de modo instantáneo, el cálculo de una matriz gigante siguiendo un algoritmo particular de la transformada de Fourier rápido, debido a Cooley, para obtener las amplitudes de cada longitud de onda de la banda espectral estudiada. Considerando un factor de resolución interpuesto por el método de cálculo, se obtiene la representación clásica del espectro  $I=f(\lambda)$  o  $I=f(\tilde{\nu})$ . Según el teorema de Nyquist, son necesarios al menos dos puntos por periodo para encontrar, mediante el cálculo, una longitud de onda derivada del espectro. Para obtener el espectro de una muestra, equivalente al obtenido con el instrumento de doble haz, se registran dos espectros de intensidades transmitidas: el primero sin muestra (absorción de fondo o background) y el segundo, con la muestra. El espectro tradicional, en % de T, procede de los dos espectros anteriores.



**Figura 3.5.** (a) Interferómetro.



**Figura 3.5.** (b) Esquema Óptico de un espectrómetro de infrarrojo de transformada de Fourier [57].

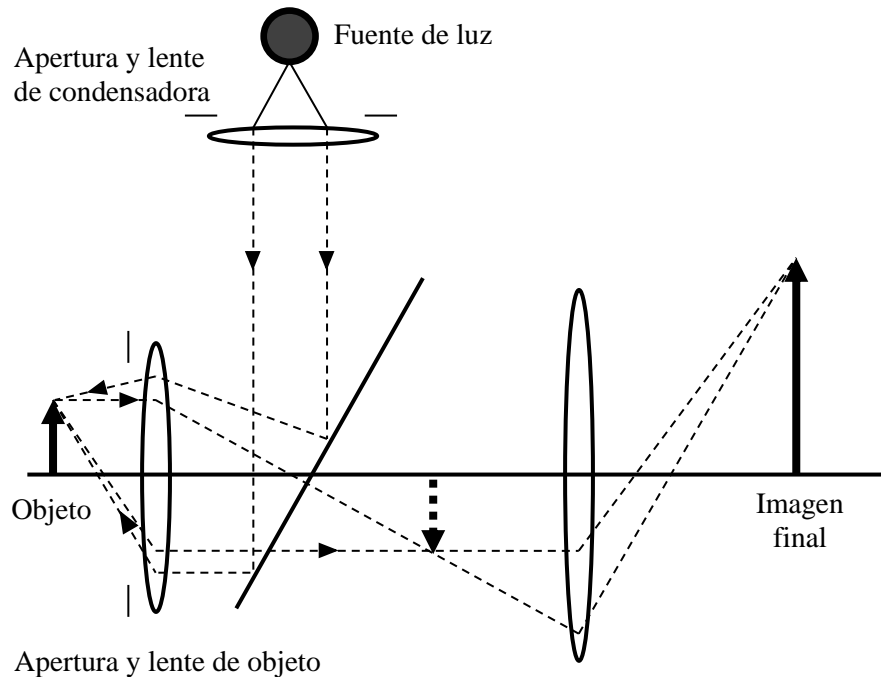
En el presente trabajo de investigación se hizo uso del Espectrofotómetro Infrarrojo con transformada de Fourier Prestige-21 marca Shimadzu.

### 3.1.4. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Para la caracterización morfológica de las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  se utilizó el método de microscopía electrónica de barrido.

El microscopio electrónico se puede considerar como un canal de comunicación entre un objeto y el observador. La información que se obtiene es función de los distintos procesos físicos de interacción del haz de electrones de alta energía (20-1500kV) con dicho objeto. Siguiendo los principios básicos de óptica que han gobernado el desarrollo de la microscopía electrónica durante casi cuatrocientos años, el sistema de formación de una imagen en microscopía electrónica de barrido está basado en el sistema óptico de reflexión

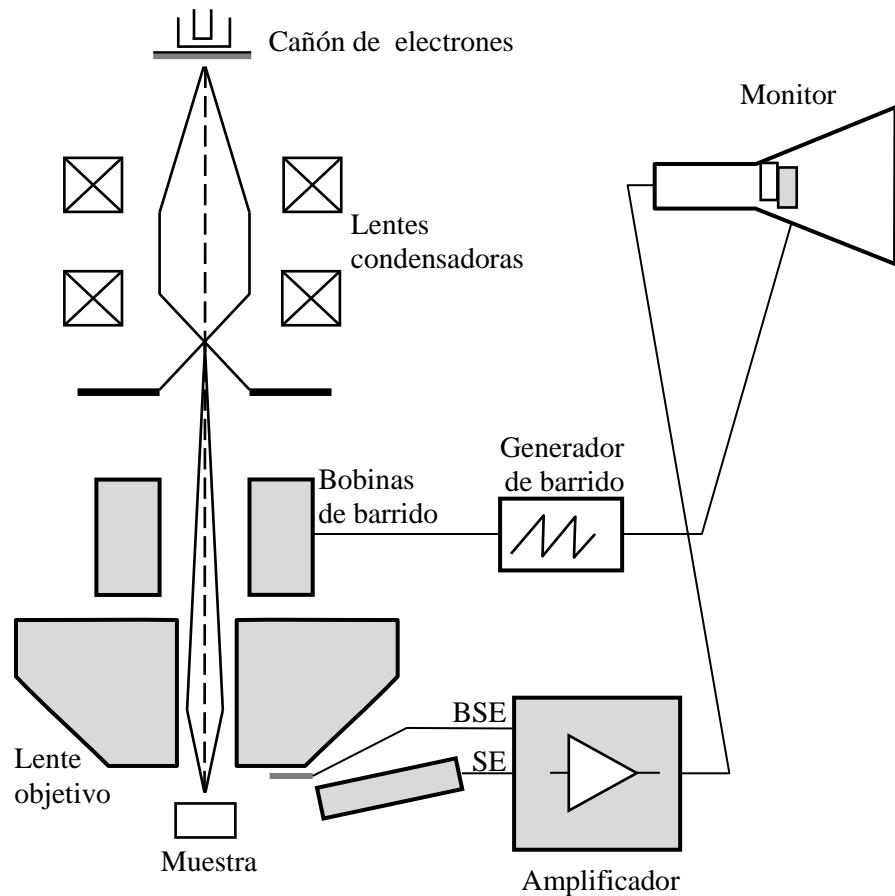
(figura 3.6). Según este, el objeto se ilumina frontalmente, siendo los haces reflejados los responsables de la información final.



**Figura 3.6.** Componentes de un sistema óptico de reflexión [58].

En un microscopio electrónico de barrido, el haz pasa a través de las lentes condensadoras y de objetivo, y es barrido a lo largo de la muestra por las bobinas de barrido, mientras que un detector cuenta el número de electrones secundarios de baja energía emitidos por cada punto de la superficie. La figura 3.7 muestra los principales componentes de un microscopio electrónico de barrido, que básicamente consiste en un haz fino de electrones con energía de hasta 40 kV que es enfocado y barrido sobre la superficie de una muestra.

Las lentes en MEB no son parte del sistema de formación de la imagen, sino que se usan para ampliar y enfocar el haz de electrones sobre la superficie de la muestra. Estas son, precisamente las dos grandes ventajas del microscopio de barrido: el rango de ampliación y la profundidad de campo de la imagen.



**Figura 3.7.** Representación esquemática de un microscopio electrónico de barrido [58].

La profundidad de campo, es la propiedad por la cual las imágenes de MEB pueden enfocar a la vez superficies que se encuentran a diferentes alturas, esta propiedad depende de la divergencia del haz de electrones, el cual viene definido por el diámetro de la apertura de la lente objetivo y la distancia entre la muestra y dicha apertura.

La señal procedente del detector de electrones secundarios (o retrodispersados) se usa para modular la intensidad de haz de electrones del monitor, el cual a su vez es barrido sobre la pantalla del monitor de manera sincronizada con el barrido de haz de electrones sobre la muestra, formándose así la imagen. No existen lentes proyectoras y en realidad la lente objetivo no es más que una lente condensadora.

El voltaje de aceleración generalmente se encuentra entre 20 y 40 kV, y su resolución entre 500 y 200 nm. La mayor ampliación es función del sistema de barrido más que de las lentes, es decir cuanto menor sea el área barrida mayor es la ampliación, y por tanto una superficie en foco puede ser ampliada entre 3x y 150,000x.

Dentro de los fenómenos que tienen lugar en la muestra bajo el impacto de los electrones, el más importante en MEB es la emisión de electrones secundarios con energías de unas cuantas decenas de eV, seguido de la emisión de electrones retrodispersados con mayores energías.

Los electrones secundarios son emitidos por la muestra en procesos inelásticos de ionización debido a la colisión con el haz incidente, altamente energético. Estos electrones al ser de baja energía (hasta 50eV) vuelven a ser absorbidos por átomos adyacentes pudiendo escapar del espécimen tan solo los electrones secundarios generados cerca de la superficie. Debido a esto las imágenes formadas por electrones secundarios representan las características de la superficie de la muestra.

Una fracción de los electrones del haz incidente pueden abandonar el material como electrones retrodispersados (BSE) con su energía reducida por interacciones inelásticas con el espécimen. Se consideran BSE aquellos electrones con energía entre 50eV y la energía del haz incidente. La intensidad de los electrones retrodispersados depende del número atómico promedio de la muestra pues elementos más pesados producirán más electrones retrodispersados.

En el presente trabajo de investigación, el análisis morfológico se realizó usando un microscopio electrónico marca Jeol JSM-6300 operado con una aceleración de electrones de 5 kV.

### **3.2. FUNCIONALIZACIÓN DE TEXTILES CON NANOPARTÍCULAS DE ZnO<sub>2</sub>**

La funcionalización del producto antimicrobiano al textil se realizó mediante el proceso de impregnación.

#### **3.2.1. Impregnación**

Es la operación que consiste en impregnar un material textil en una solución llamada impregnación que contenga determinados compuestos químicos, según el fin que se persiga, y posteriormente eliminar una parte de la solución impregnada mediante escurrido o exprimido entre dos cilindros. De forma general, podemos decir que la cantidad de compuesto químico depositado en el tejido a la salida del Foulard depende de la capacidad de absorción del material textil por el compuesto químico existente en el baño de impregnación y de la cantidad que queda de esta solución sobre el tejido, cuando éste pase a través de los dos cilindros del Foulard; se comprende que se obtendrá una regular distribución del compuesto químico, cuando exista una absorción uniforme de éste, tanto durante la impregnación como durante el escurrido [59].

#### **Tipos de impregnación**

Se conocen dos tipos de impregnación que se dan en el acabado textil:

##### **1. Impregnación sobre tejido seco**

Si se examina detenidamente un proceso de impregnación se puede apreciar que el material textil se impregna en una solución,

más o menos eficientemente, y transporta una determinada cantidad de esta solución a la salida de la batea del Foulard; la solución es posteriormente forzada a penetrar en el interior del tejido, a consecuencia de la presión ejercida al pasar el tejido entre los cilindros exprimidores. La eficiencia de la máquina Foulard viene determinada en la medida en que consiga una íntima penetración de la solución en el tejido y una regular distribución de dicha solución a la salida del tejido de los cilindros exprimidores. Cuando el tejido se pone en contacto con la solución existente en la batea del Foulard, el grado de penetración de dicha solución depende de fenómenos de tipo tensoactivo, regulados por las tensiones interfaciales entre tejido y solución y de la cantidad de aire retenido en la estructura del tejido, cuando éste se pone en contacto con la solución. La operación se reduce a un simple insertado del tejido, mediante el cual la tela absorbe la cantidad o porcentaje deseado de humedad y si la solución de impregnación contiene disuelto algún o algunos productos, la concentración de éste en dicha solución debe generalmente mantenerse constante, pero si dichos productos manifiestan una cierta afinidad por el textil, entonces se produce una variación o empobrecimiento de la concentración del producto en la solución lo cual se debe tener muy presente. En este tipo de impregnación es necesario controlar el volumen de la solución de impregnación, pues suele disminuir; pero debe mantenerse constante a fin de garantizar un porcentaje de absorción uniforme a todo lo largo del tejido.

## **2. Impregnación húmedo sobre húmedo**

Cuando un tejido impregnado con un porcentaje de líquido sobre el peso en seco del tejido, se vuelve a impregnar, sin un secado

intermedio a través de una solución por la cual no presenta afinidad, se produce un intercambio entre la solución que transporta el tejido y la existente en la batea del Foulard, de tal manera que a la salida de éste, el tejido sale impregnado con una solución mezcla de las dos anteriores.

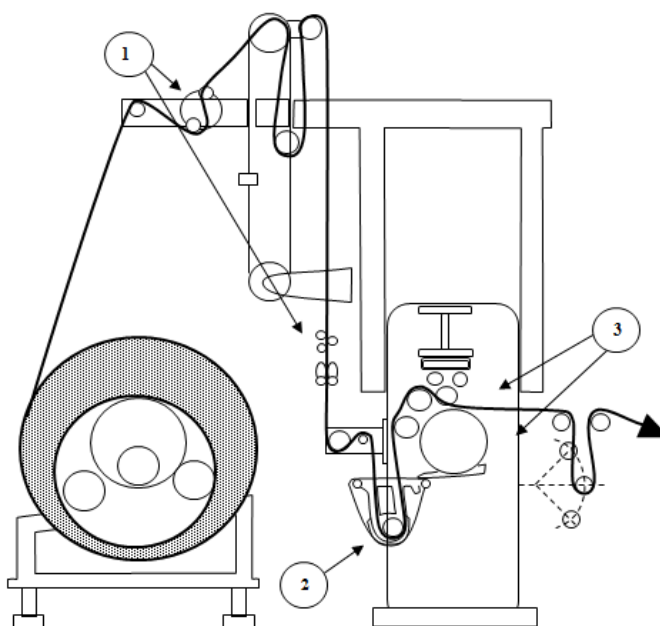
### **Elementos constituyentes del Foulard**

Los elementos más importantes de un foulard de impregnación se aprecian en la figura 3.8, y son los siguientes:

- 1° Dispositivo para evitar la formación de arrugas del tejido y para guiarlo en su posición, antes de ponerse en contacto con la solución de impregnación; estos dispositivos pueden ser mecánicos, tales como barras tensoras, cilindros, guías ensanchadoras del tejido, etc., o electromecánicos como los guiadores de tejido.
- 2° Dispositivos de impregnación del tejido en la solución, conocido por la denominación de “pastera” en donde el tejido se impregna en la solución de fulardado. Estas pasteras deben estar construidas de forma tal, que el volumen de la solución existente entre ellas sea lo más reducido posible, sin perjuicio de producir una buena impregnación; por otra parte, la pastera debe poseer una alimentación más o menos automática de la solución de fulardado que le permita mantener siempre el mismo nivel de la solución, a fin de no modificar las condiciones de la impregnación; además, es aconsejable la existencia de un control termostático para mantener la temperatura constante en las soluciones empleadas en el fulardado.
- 3° Cilindros exprimidores cuya misión es efectuar un escurrido de la solución que transporta el tejido a la salida de la pastera.



Generalmente estos cilindros son de goma sintética cuya dureza varía entre 70-90° Shore, según el tipo de foulard; la presión; la presión de escurrido acostumbra a darse en Kg/cm mediante el cociente de la fuerza total de expresión dividida por la anchura de los cilindros del foulard; también se suele expresar en  $\text{Kg/cm}^2$ , mediante el cociente de la fuerza total de expresión dividida por la superficie de la zona de contacto entre los dos cilindros durante el escurrido. Los valores suelen ser del orden de los 20Kg/cm para los fulares de bajo grado de escurrido y de 1000Kg/cm para los de elevado grado de escurrido. La fuerza que comunica a los cilindros bien mediante sistemas de palancas o por medio de fluidos que actúan sobre unos pistones, siendo la ejecución mecánica de estos dispositivos muy variados. Es condición fundamental que el escurrido se efectúe de manera uniforme a todo lo ancho del foulard, pues de lo contrario se producen irregularidades indeseables en la distribución del colorante.



**Figura 3.8.** Esquema de un foulard vertical de dos cilindros. (1) Cilindros guías, (2) Pastera o batea de impregnación, (3) Cilindros Exprimidores [59].

En el trabajo de investigación se hizo uso del Foulard de Impregnación: Artos Maschinenbau, Typ. 1-10235, S/N: 05-100, año: 1965.

### **Funcionalización experimental de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>:**

Para la funcionalización experimental de los textiles con las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> se utilizaron suspensiones coloidales a diferentes concentraciones en donde el medio líquido fue agua destilada y alcohol isotridecílico al 2%. El proceso de funcionalización se realizó por medio del método de impregnación en seco, para ello se hizo uso del Foulard de impregnación. El proceso consistió en pasar el textil a través de la suspensión coloidal, contenida en una batea, para luego ser presionado entre los cilindros exprimidores que se encontraron a una presión de 4 bar, cuya finalidad fue lograr una absorción uniforme y controlada a lo largo y ancho del textil. Este proceso suele expresarse en forma de porcentaje (%) de absorción, siempre con relación al peso seco del tejido, por lo cual es indispensable pesar el textil antes y después de la impregnación. A este % de absorción se le conoce como pick up y se expresa como la cantidad de producto que se le aplica a la tela en función a la base seca de esta.

El pick up de impregnación obtenido normalmente se encuentra entre 70 – 80% y se calcula según la siguiente expresión:

$$\frac{Peso_{humedo} - Peso_{seco}}{Peso_{seco}} \times 100$$

Luego de realizar la impregnación de la suspensión con nanopartículas, se eliminó el agua remanente en el textil por lo que se llevó a la estufa para secar a la temperatura de 120°C por 3 minutos.

### **3.2.2. Solideces**

Se entiende por solidez, a la resistencia que presenta un textil teñido a variar o perder su color al ser sometida a la acción de un determinado agente, pudiendo dar lugar a la degradación del color y/o a la descarga sobre otros textiles.

Se denomina agente, al definir una solidez, a la causa capaz de producir la modificación visual del color en los textiles teñidos, estampados o con acabados específicos. Los agentes se ensayan individualmente no aceptándose el efectuar ensayos en los que intervengan varios conjuntamente, aunque en la práctica un género puede estar expuesto simultáneamente a varios agentes. De modo general, los agentes principales son: luz, intemperie, lavado, limpieza en seco, agentes acuosos, gases atmosféricos, agentes de blanqueo, tratamientos térmicos, etc.

#### **Clases de solideces**

Los distintos agentes que pueden producir alteraciones en el color de los textiles se pueden agrupar desde varios puntos de vista. Una primera clasificación se puede establecer sobre la base de aquellos agentes que actúan normalmente durante el proceso de manufactura y de aquellos otros que actúan en la vida activa del género o sea durante su uso. Entre los primeros podemos citar: lavado, blanqueo, mercerizado, carbonizado, etc. Entre los segundos están: luz, lavado, agua, agua de mar, sudor, frote, planchado, etc.

#### **Factores que afectan las solideces**

Existen muchos factores que afectan las solideces, por lo que son agrupados en distintos apartados:

**a) El colorante**

La estructura química de un colorante es fundamental para las propiedades de solidez. Así, incluso dentro de una misma familia, los compuestos más solubles, son más sólidos a los tratamientos húmedos; los que están en forma más oxidada, resisten mejor a los oxidantes; los que contienen átomos de cloro, son sólidos a los tratamientos de blanqueo por hipocloritos, etc. La forma física del colorante, o sea su estado de agregación, también tiene influencia en las solideces.

**b) La fibra**

Hay familias completas de colorantes que tienen solideces mejores sobre una determinada fibra que sobre otra. Por otra parte, no solamente influye la diferencia de fibras, sino que dentro de una misma clase de fibras observamos diferencias de solideces, según los tratamientos a que ha sido sometida y que pueden influir sobre el estado de la fibra.

**c) El proceso de tintura**

Se debe tener en cuenta que hay colorantes que pueden ser aplicados por diferentes métodos. Un aspecto muy importante en relación con el proceso, se refiere a las operaciones posteriores a la tintura, sobre todo en aquellas cuyo objetivo es la mejora de las solideces como es el caso del tratamiento con formaldehído o con sales metálicas de los colorantes directos, o el jabonado en las tinturas con colorantes tinás, naftoles, y en los colorantes reactivos en los que no se desarrollan sus verdaderas solideces hasta que no se ha eliminado de la fibra el colorante hidrolizado

durante la tintura. Otras operaciones posteriores cuyo fin primordial no es la mejora de solidez, también influyen en las mismas mejorándolas o disminuyéndolas tal como la aplicación de resinas, empleo de suavizantes, etc.

#### **d) La intensidad de la tintura**

Ya que la variación del color que hemos denominado solidez se debe o bien a la destrucción de las moléculas de colorante o bien a la pérdida de las mismas, en uno u otro caso para una misma cantidad absoluta de colorante desaparecido de la fibra la proporción es mayor cuanto menor sea la intensidad inicial de la tintura.

Por ello, no se puede señalar un valor absoluto de solidez de un colorante a un determinado agente al ser ésta función de concentración del mismo, por lo que el objeto de normalizar este aspecto es independientemente del poder colorístico y la concentración de cada colorante se ha definido la Intensidad Estándar (I.S. 1/1) en toda la gama de colores del espectro así como una serie de intensidades de color superiores o inferiores en las cuales se puede determinar la solidez de un determinado colorante frente a un agente concreto.

#### **Determinación de solidez:**

En el presente trabajo de investigación se determinó solidez a las muestras textiles no funcionalizadas y funcionalizadas con la suspensión de nanopartículas de  $ZnO_2$  a diferentes concentraciones, las solidez son las siguientes (Anexo II):

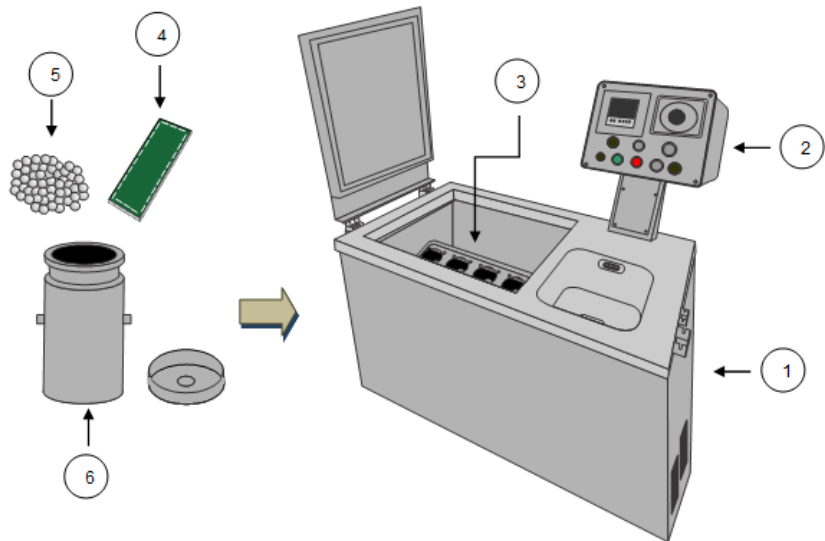
- Solidez al Lavado: Norma ISO 105/C06: 2006
- Solidez al Frote: Norma AATCC 8: 2013
- Solidez al Sudor: Norma ISO 105/E04: 2006

#### **a) Solidez al lavado**

Se preparó inicialmente la muestra de ensayo, que consistió en unir áreas iguales (10cm x 4cm) del textil a evaluar y el *testigo multifibra*, por medio de una costura simple en sus cuatro lados. Luego se preparó la solución de lavado, disolviendo 4 g de detergente sin blanqueador óptico (denominado detergente WOB de los términos en inglés *without optical brightener*) en un litro de agua y se añadió 150 mL de la solución antes preparada a un frasco de acero (Figura 3.9).

Se procedió a añadir 50 billas de acero a cada frasco de acero, necesarias para simular el efecto de la fricción que se da en un lavado convencional, este se llevó a la máquina de lavado (Launderómetro) a un precalentamiento a 50°C, luego se introdujo las muestras de ensayo dentro de cada frasco. En estas condiciones la máquina de lavado se mantuvo por un tiempo de 45 minutos girando a 40 RPM (Figura 3.9). Al finalizar los 45 minutos del tiempo de lavado, se retiró el recipiente y se enjuagó la muestra textil. Luego de extraer el exceso de agua, se descosieron por 3 lados la muestra de tela y el testigo multifibra, quedando ambos en contacto sólo por un lado; llevándose a la estufa para secar a una temperatura menor de 60°C.

Posteriormente se realizó la evaluación del textil con las escalas de grises cambio de color y transferencia de color, tal como se detalla en el capítulo 4.2.2 Solideces sección evaluación.



**Figura 3.9.** Esquema del equipo empleado para la evaluar la solidez al lavado de los textiles: Launderómetro, (2) panel de control, (3) eje axial, (4) textil funcionalizado cosido al testigo multifibra, (5) bolas de acero inoxidable de lavado y (6) vaso metálico.

#### b) Solidez al frote

Para esta prueba inicialmente se acondicionaron las muestras textiles aproximadamente por 4 horas a una temperatura ambiente de  $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $65\% \pm 2\%$  de humedad relativa. Terminado el acondicionamiento se sujetó la muestra de  $14\text{cm} \times 5\text{cm}$  a evaluar con la cara hacia arriba a la base del equipo Frotómetro sobre una lija de agua y por medio del dispositivo de sujeción (placa metálica) se fijó la muestra en la base del Frotómetro, de tal forma que la dirección diagonal del textil se encontró en dirección paralela al movimiento de la clavija de 1.6 cm de diámetro.

Todo este montaje se puede apreciar claramente en la figura 3.10. Para este ensayo se realizaron dos tipos de solidez al frote: en seco y en húmedo.

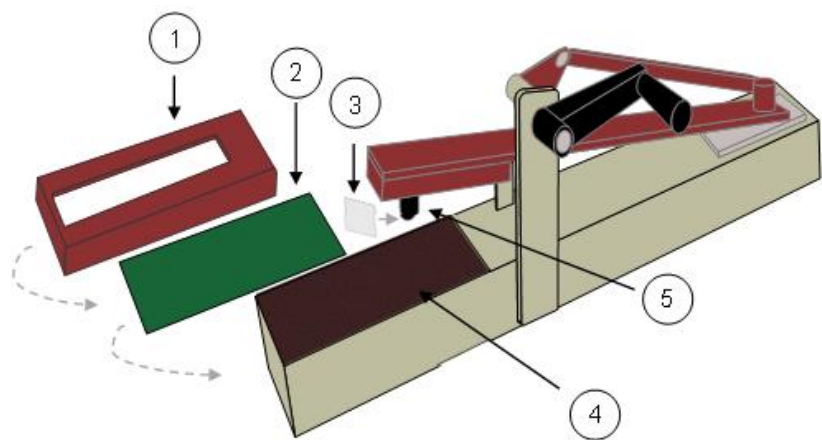
**Frote seco:**

Se colocó el *testigo monofibra* en el extremo de la clavija y se sujetó con un gancho. El testigo monofibra se colocó en el sentido de los hilos paralelo a la dirección en la que se movió la clavija frotadora. Seguidamente se bajó la clavija sobre la muestra y se empezó a frotar 10 veces, una por segundo sobre la muestra, a lo largo de una longitud de 10.4 cm x 0.3 cm, ejerciendo una fuerza de  $9 \pm 2$  N.

**Frote húmedo:**

En este caso primero se humedeció el testigo monofibra con agua destilada asegurándose que tenga un pick up de 65%. Luego se continuó el procedimiento siguiendo los mismos pasos que se usaron para el frote en seco, se retiró el testigo monofibra y se dejó secar al ambiente, para finalmente realizar su respectiva valoración.

En ambos casos el testigo monofibra se acondicionó y se eliminó cualquier material fibroso extraño que pudiera interferir en la evaluación con la escala de grises transferencia de color.



**Figura 3.10** Esquema del equipo Frotómetro: (1) Placa sujetadora, (2) tela funcionalizada, (3) testigo monofibra de algodón blanqueado, (4) lija de agua y (5) clavija o tarugo.



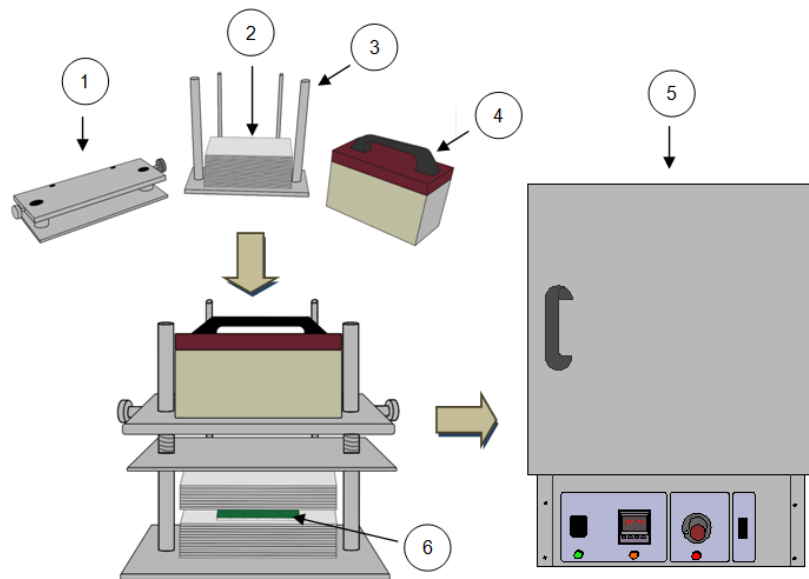
### c) Solidez al sudor

Se preparó inicialmente la muestra de ensayo, que consistió en unir áreas iguales (10cm x 4cm) del textil a evaluar y el testigo multifibra, por medio de una costura simple en uno de sus lados cortos. Luego se prepararon soluciones ácidas (pH 5.5) y alcalinas (pH 8.0), que simulan el sudor del cuerpo humano, se vertió 150 ml en cada placa Petri que contenían las muestras de ensayo a evaluar.

Las muestras quedaron cubiertas completamente (sumergidas) por las diluciones que simulan el sudor durante 30 minutos a temperatura ambiente. Seguidamente, se decantó la solución y se escurrió ligeramente la muestra para eliminar el exceso de agua en su superficie.

Luego se colocó entre dos placas de resina acrílica, y se ubicó en el equipo de Transpiración bajo una presión de 12.5 kPa. El equipo de Transpiración, conteniendo la muestra textil, se introdujo dentro de una estufa durante 4h a  $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Al terminar el tiempo las muestras textiles fueron retiradas y se secaron al aire a una temperatura menor de  $60^{\circ}\text{C}$ . Luego se realizó la evaluación (ver capítulo 4.2.2 Solideces sección evaluación).

La figura 3.11 muestra el esquema del procedimiento realizado para determinar la solidez al sudor del textil no funcionalizado y funcionalizado con la suspensión de nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$ .



**Figura 3.11.** Esquema del equipo de Transpiración: (1) Sujetador de las placas de acrílico, (2) placas de acrílico, (3) base, (4) pesa, (5) estufa y (6) textil funcionalizado cosido a la multifibra.

### 3.2.3. Control de color

La evaluación del cambio de color producido luego de la funcionalización a diferentes concentraciones de la suspensión de nanopartículas de  $ZnO_2$  al textil teñido, fue realizada haciendo uso de un espectrofotómetro de esfera integradora  $d/8^\circ$ .

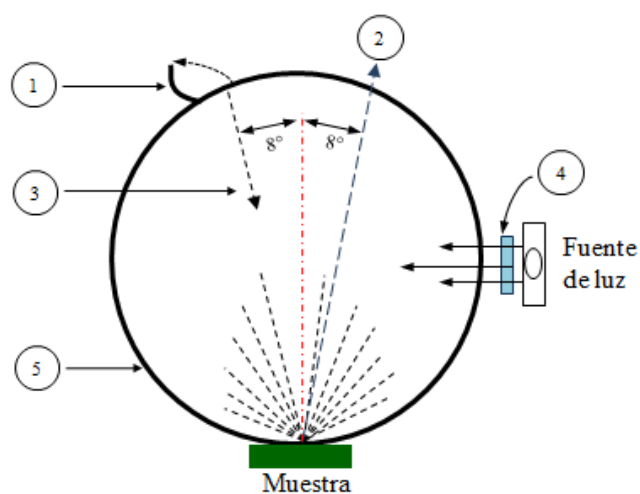
#### Espectrofotómetro de esfera integrada

La figura 3.12 muestra el espectrofotómetro de esfera integrada  $d/8^\circ$ , donde la luz incide en la esfera para ser reflejada de manera que la incidencia sobre la muestra sea difusa. La esfera integradora refleja la luz hasta que finalmente toda penetra en la muestra. El puerto especular que es colocada de manera simétrica al detector (monocromador), permite hacer mediciones con la componente especular incluida o excluida. El detector se encuentra fuera de la

esfera y está enfocado, a través de un sistema de lentes, a la superficie de la muestra.

El papel de la esfera integradora del espectrofotómetro es doble, por un lado permite iluminar la superficie de la muestra de manera difusa y por otro sirve como una especie de normalización al coleccionar toda la luz emitida por la fuente y obligarla a que finalmente penetre en la muestra (caso ideal). La esfera integradora es una superficie rugosa recubierta con sulfato de bario ( $\text{Ba}_2\text{SO}_4$ ) que es un material blanco de gran pureza que refleja y esparce la luz de la fuente muy eficientemente. Cada vez que la luz llega a un punto de la esfera integradora, ésta es esparcida en todas direcciones.

La geometría de medición del espectrofotómetro ilustrada en la figura 3.12 se conoce como  $d/8^\circ$  (difusa – ocho grados con specular excluido), por lo que a veces se le llama geometría  $d/8^\circ$ , pero en realidad mientras el detector se encuentre entre  $0^\circ$  y  $10^\circ$ , se trata, para fines prácticos, de la misma geometría de medición. Esto se entiende porque la dependencia angular de la reflexión de la luz por superficies es muy débil a ángulos pequeños.



**Figura 3.12.** Diagrama esquemático de un espectrofotómetro de esfera integrada  $d/8^\circ$ . (1) Puerto espejador. (2) Detector. (3) Iluminación espejadora. (4) Filtro D65. (5) Esfera integradora [60].

El equipo usado en el presente trabajo fue el Datacolor 550 TM, Datacolor Spectrum TM. Para el cálculo de las diferencias de color se hizo uso del programa Datacolor TOOLS.

#### **3.2.4. Pruebas físicas**

La determinación de las pruebas físicas de un textil consiste en especificar completamente las características mecánicas que este posee.

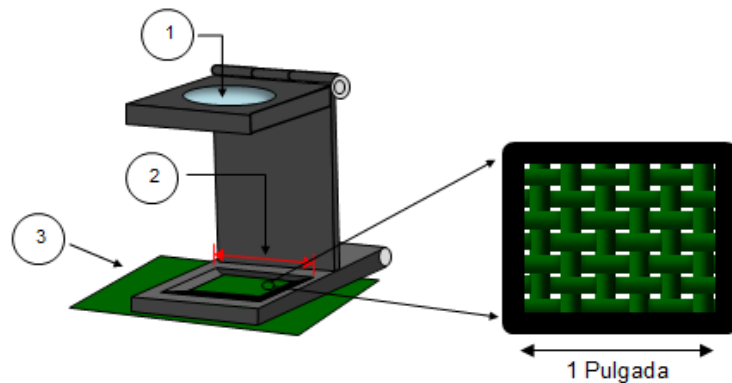
En el presente trabajo de investigación se evaluó las siguientes pruebas físicas de las muestras textiles (Anexo II):

- Densidad del tejido: Norma ASTM D3775(2012)
- Gramaje del tejido: ASTM D3776 – 09a(2013)
- Resistencia del tejido: ASTM D5034 – 09(2013)
- Ligamento del tejido: NTP 231.141:1985(2010)
- Título del hilo: ASTM D1059 – 01(2010)

A continuación se describirá brevemente como se desarrolló cada una de las evaluaciones:

##### **a) Densidad del Tejido**

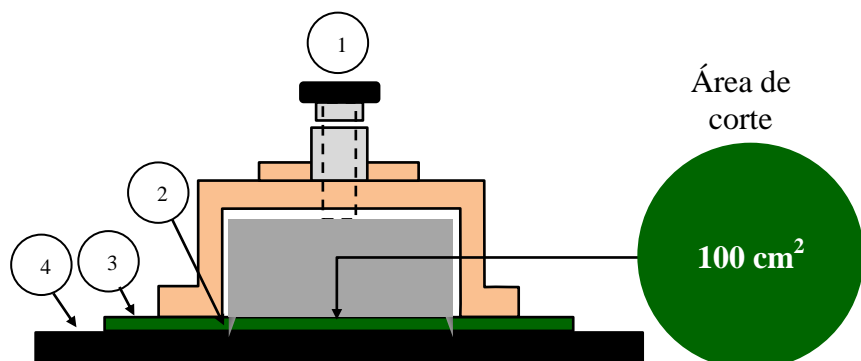
Es la cantidad de hilos por unidad de longitud del tejido. El proceso para su determinación consistió en contar en número de hilos que están dentro de una pulgada o un centímetro lineal, haciendo uso del instrumento denominado Cuentahilos [61]. En la figura 3.13, se puede observar el modo de empleo del instrumento.



**Figura 3.13.** Esquema del equipo Cuentahilos. (1) Lente de vidrio, (2) longitud de medida y (3) tejido textil.

#### b) Gramaje del Tejido

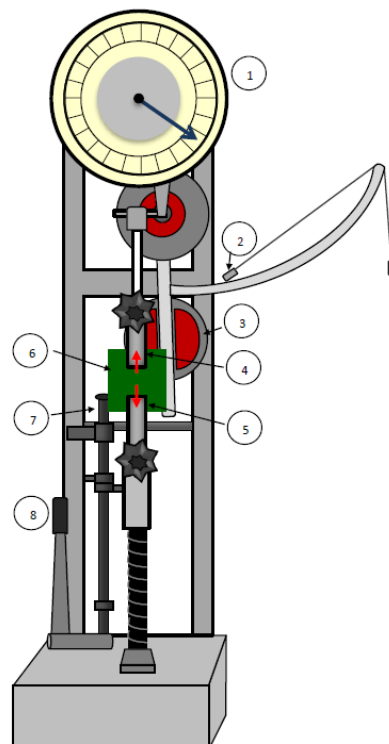
Este parámetro nos da información de la cantidad de masa textil por unidad de área. Las unidades que generalmente se usan son  $\text{g}/\text{m}^2$ . Para su determinación, se usó un Sacabocado, que es un instrumento que consta de cuchillas en la base, las cuales cortan el tejido en forma circular al presionar y girar el cilindro de presión (área de corte =  $100 \text{ cm}^2$ ). La figura 3.14 muestra el corte transversal de este equipo.



**Figura 3.14.** Esquema del corte transversal del Sacabocado, donde (1) cilindro de presión, (2) cuchillas, (3) tejido textil y (4) espuma. El área de corte del tejido indica el tamaño y forma de la muestra a utilizar.

### c) Resistencia del Tejido

Este parámetro representa la carga en libras o kilogramos que soporta el textil por unidad de longitud. Para la evaluación de la resistencia a la rotura y la elongación de los tejidos se utilizó el Método Grab. Para estas evaluaciones se utilizó el dinamómetro Scott, donde la muestra de tela (4 x 6 pulgadas) se sujetó por dos mordazas (superior e inferior), ambas de 1 pulgada de ancho y distanciadas en 3 pulgadas. Al arrancar el dinamómetro con la palanca de marcha, las mordazas se desplazaron en sentido contrario, de tal manera que se ejerció una fuerza de tracción sobre el tejido. Cuando el tejido empezó a romperse, el dinamómetro se detuvo con la palanca de contramarcha, y tomó como medida (en el dial) la cantidad de libras que soportó el textil.



**Figura 3.15** Esquema del dinamómetro Scott para medir resistencia a la ruptura y elongación de las telas. (1) Dial, (2) ratchet, (3) contrapeso, (4) mordaza superior, (5) mordaza inferior, (6) tejido textil, (7) palanca de contramarcha y (8) palanca de marcha.

**d) Ligamento del tejido**

Determina la manera de entrecruzar los hilos (urdimbre), con las pasadas (trama) y cuyo conjunto de evoluciones se repite constantemente a lo largo y a lo ancho del tejido. Los ligamentos fundamentales son: tafetán, sarga y raso.

**e) Título del hilo**

Es una característica técnica que relaciona la masa por unidad de longitud o viceversa. Existen dos sistemas de numeración, el sistema Indirecto como los sistemas inglés (Ne) y métrico (Nm) y el sistema Directo, como los sistemas Denier (De) y Tex (tex).

El proceso para su determinación, consistió en deshilar el tejido, luego se midieron y pesaron los hilos obtenidos.

**3.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

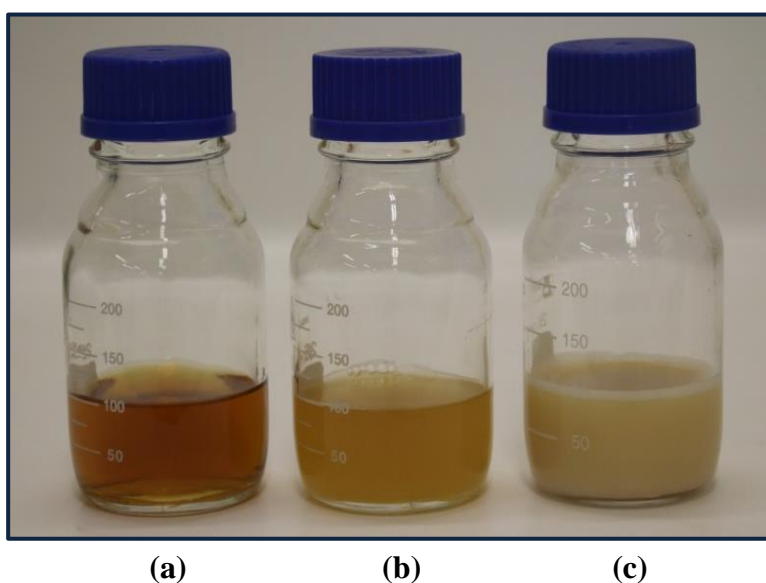
En el presente trabajo se realizó el análisis microbiológico del nanopolvo de ZnO<sub>2</sub>, donde se determinó la Mínima Concentración Inhibitoria para los microorganismos *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* y *Staphylococcus aureus*. Se analizó también tela no funcionalizada y la funcionalizada con suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> para *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*.

**3.3.1. Determinación de la mínima concentración inhibitoria**

El método empleado para la determinación de la Mínima Concentración Inhibitoria (MCI) fue el de dilución. La MCI corresponde a la mínima concentración del ZnO<sub>2</sub> en donde no se

observa desarrollo de los microorganismos y se expresa en  $\mu\text{g/ml}$  [20].

El procedimiento para su determinación consistió en preparar 4 diluciones seriadas al medio (1:2) de  $\text{ZnO}_2$  a partir de una concentración de  $64,000 \mu\text{g/mL}$  ( $32,000$ ;  $16,000$  y  $8,000 \mu\text{g/mL}$ ) en un volumen total de  $100\text{mL}$  de Caldo Trypticase de Soya (TSB por sus siglas en inglés *Tryptic Soy Broth*) contenidas en frascos de vidrio, seguidamente se realizó el sonicado a cada frasco por 10 veces cada una de 3 y 6 segundos (figura 3.17). Después se agregó  $100\mu\text{L}$  del inóculo en cada una de las diluciones, donde el inóculo fue previamente preparado conteniendo  $1.5 \times 10^8$  unidades formadoras de colonia (ufc). Los frascos permanecieron en constante agitación y fueron incubados a  $37^\circ\text{C}$  por 24 horas. Luego se realizaron las siembras correspondientes de cada una de las diluciones en Agar Trypticase de Soya, se incubó a  $37^\circ\text{C}$  por 24 horas y finalmente se realizaron las lecturas de las placas Petri y se determinó la concentración en la cual no hay crecimiento bacteriano.



**Figura 3.17.** (a) Caldo de cultivo sin bacterias. (b) Caldo de cultivo con bacteria. (c) Caldo con Nanopulvos de  $\text{ZnO}_2$  sonicados.

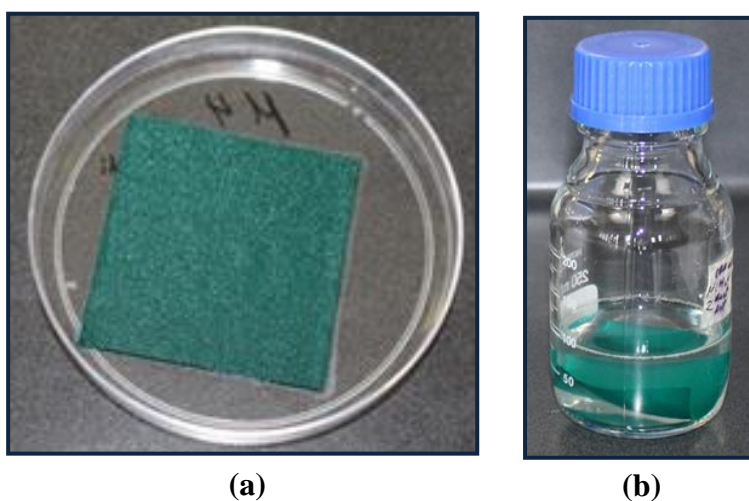


### 3.3.2. Evaluación microbiológica del textil

Los análisis microbiológicos de las telas se realizaron según la norma AATCC Método de prueba 100:2012 (Anexo II).

El procedimiento para el análisis microbiológico del textil consistió en colocar un trozo de tela de 5cm x 5cm funcionalizado con nanopartículas de  $ZnO_2$  sobre una placa Petri estéril. Luego fue impregnado con 1 mL de la cepa problema a ensayar (*Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*) a una concentración de  $1,5 \times 10^8$  ufc (figura 3.18 a). Un trozo de tela se sembró inmediatamente (tiempo de contacto cero horas) y el otro a las 24 horas de incubación a  $37^\circ C$  (tiempo de contacto 24 horas).

Después de la impregnación e incubación con la cepa a estudiar, el textil fue sometido a un lavado con 100 mL de agua destilada estéril (figura 3.18 b). Luego se prepararon diluciones seriadas a partir de  $10^{-1}$  hasta  $10^{-5}$  del agua de lavado, estas fueron sembradas en medio Agar Trypticase de Soya y se incubaron por 24 horas a  $37^\circ C$  para finalmente realizar las lecturas correspondientes y determinar la concentración de la suspensión de nanopartículas en la cual no hay crecimiento bacteriano.



**Figura 3.18.** (a) Tela impregnada con la bacteria problema. (b) Solución de lavado.

Luego de transcurrido el tiempo de 24 horas de contacto entre el microorganismo y el tejido se determinó el porcentaje de reducción del microorganismo originado por el antimicrobiano (textil funcionalizado), para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$R(\%) = \frac{B - A}{B} \times 100$$

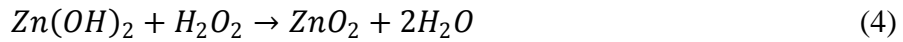
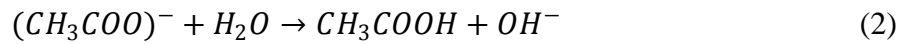
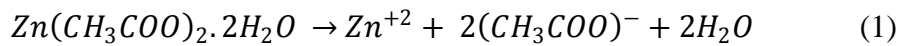
Donde:

*R*= porcentaje de reducción. *A*= número de bacterias recuperadas del inóculo de la muestra tratada que se incubaron en el frasco durante el período de contacto (Tiempo de contacto 24). *B*= número de bacterias recuperadas del inóculo de la muestra tratada que se incubaron en el frasco inmediatamente después de la inoculación (Tiempo de contacto cero).

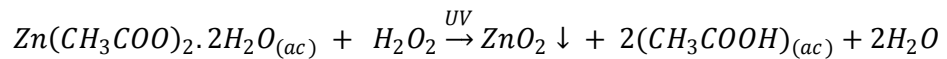
## 4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

### 4.1. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PERÓXIDO DE ZINC

Diversos autores proponen el mecanismo de reacción que se produce al irradiar con luz ultravioleta (UV) la solución de acetato de zinc dihidratado ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2(H_2O)$ ) y es la siguiente:



Reacción resultante es la siguiente:



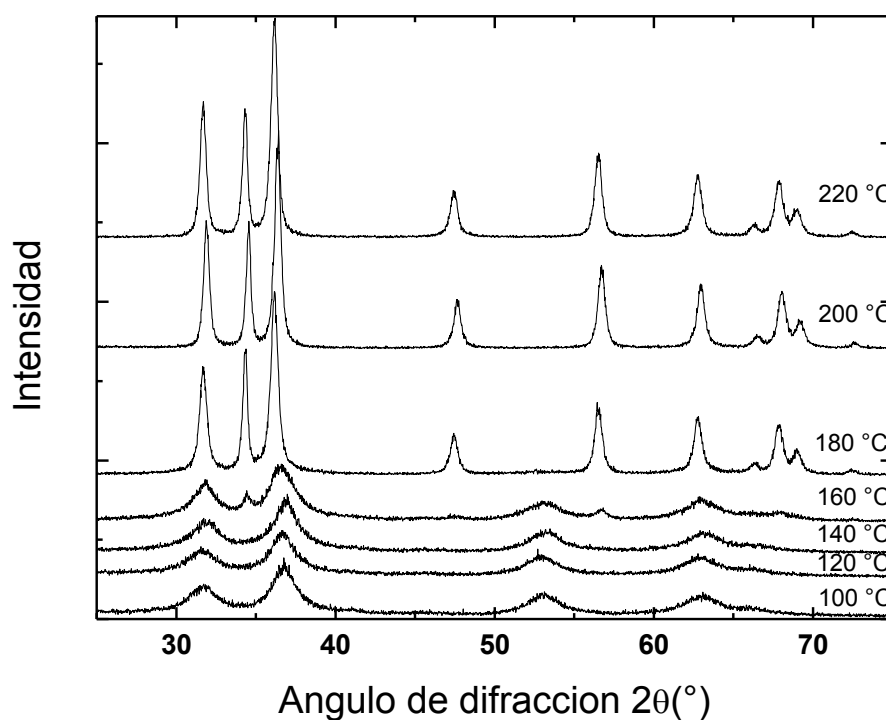
En la ecuación (1) se produce la descomposición del acetato de zinc en medio acuoso en iones  $Zn^{+2}$  e iones acetato. Debido a que el ion  $CH_3COO^-$  es una base fuerte es fácilmente protonizada, produciendo ácido acético y radicales hidroxilos (Ecu. 2). Es bien conocido que los iones metálicos en soluciones alcalinas estén rodeados por iones  $OH^-$  para formar unidades de hidróxidos metálicos  $[M(OH)_x]$  (Ecu. 3). En fuentes bibliográficas proponen que este compuesto intermedio reacciona con el peróxido de hidrógeno para formar  $ZnO_2$ . La última ecuación química implica la

descomposición química del peróxido de hidrógeno en un ion oxidante fuerte  $O_2^{2-}$  y la liberación de oxígeno gaseoso (Ecu. 5) [62].

#### 4.1.1. Difracción de rayos X

La figura 4.1 muestra los patrones de difracción de nanopulvos de  $ZnO_2$  al variar la temperatura de secado.

En los patrones de rayos X se observa que entre  $100^\circ\text{C}$  y  $140^\circ\text{C}$  de temperatura se forman 4 picos característicos del  $ZnO_2$ , a  $160^\circ\text{C}$  se da la formación ligera de varios picos en los ángulos aproximados de  $35$ ,  $48,58$ ,  $65,68$  y  $75$ ; entre  $180^\circ\text{C}$  y  $220^\circ\text{C}$  estos picos están bien definidos y los difractogramas formados en este rango de temperatura pertenecen al óxido de zinc ( $ZnO$ ). Es decir a partir de  $160^\circ\text{C}$  se da un cambio de fase.



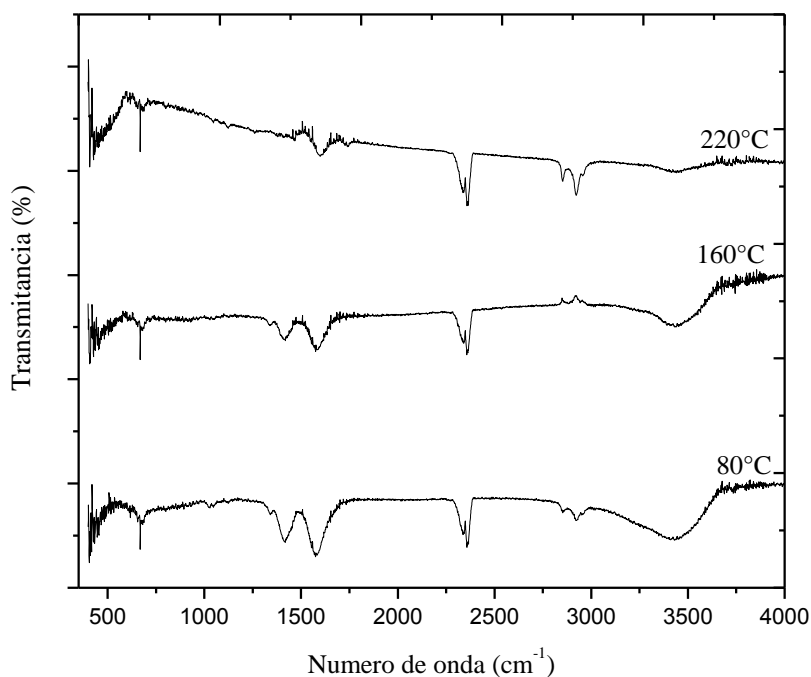
**Figura 4.1.** Difractogramas de Rayos X de nanopartículas de  $ZnO_2$  sinterizadas para diferentes temperaturas de secado.

#### 4.1.2. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

La figura 4.2 muestra los espectros de los nanopulvos de  $\text{ZnO}_2$  a  $80^\circ\text{C}$ ,  $160^\circ\text{C}$  y  $220^\circ\text{C}$  de temperaturas de secado.

Podemos observar que en el rango de  $3400\text{ cm}^{-1}$  a  $3600\text{ cm}^{-1}$  el pico formado se puede atribuir a la absorción de  $\text{OH}^-$  en la superficie de las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  o debido a la influencia del medio ambiente que nos rodea. Cercano a  $3000\text{ cm}^{-1}$  los pequeños picos son característicos de la tensión de los enlaces C-H del grupo metilo ( $-\text{CH}_3$ ). Entre  $2250\text{ cm}^{-1}$  a  $2500\text{ cm}^{-1}$  se atribuye al  $\text{CO}_2$  que puede ser debido a la descomposición térmica del acetato de zinc remanente.

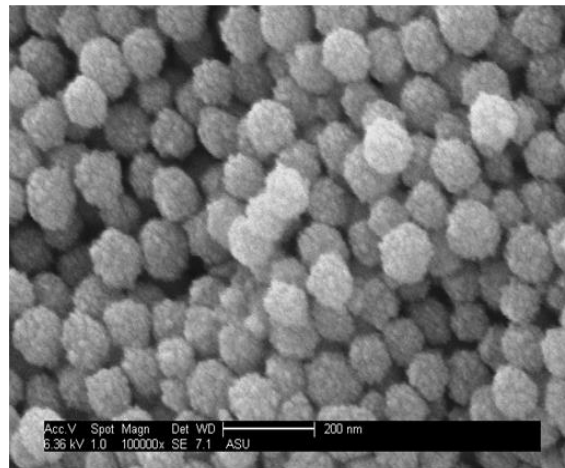
Entre  $1250\text{ cm}^{-1}$  y  $1750\text{ cm}^{-1}$  los picos formados son correspondientes a los modos de vibración del acetato de zinc sin reaccionar. Menor a  $500\text{ cm}^{-1}$  el pico es la tensión del enlace Zn-O, el cual es más largo y definido al aumentar la temperatura.



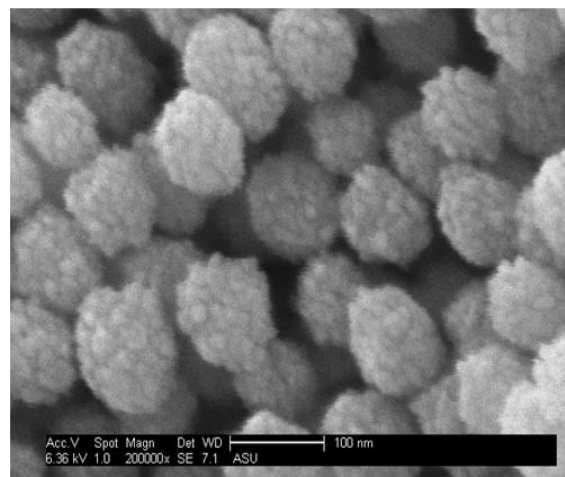
**Figura 4.2.** Espectros infrarrojo con transformada de Fourier para nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  y  $\text{ZnO}$  sinterizadas para diferentes temperaturas de secado.

#### 4.1.3. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

La figura 4.3 muestra la micrografía de  $\text{ZnO}_2$  irradiada por luz UV por un periodo de 30 minutos. En la microscopía se observa conglomerados esféricos de  $\text{ZnO}_2$ , conformados por *dominios cristalinos* relativamente homogéneos, los podemos denominar también “blackberry” por la forma de berry o moras que poseen.



(a)



(b)

**Figura 4.3.** Micrografías electrónicas de barrido de nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  irradiadas con UV por 30 minutos. a) 100kX, b) 200kX [63].

## **4.2. FUNCIONALIZACIÓN DE TEXTILES CON NANOPARTÍCULAS DE ZnO<sub>2</sub>**

Para la funcionalización del textil con la suspensión de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> se utilizó una muestra de tejido plano teñido con colorante de tipo tina. En el presente trabajo se realizaron control de solideces, análisis de sus principales propiedades físicas y control del color del tejido.

### **4.2.1. Impregnación**

Se obtuvo muestras textiles funcionalizados con suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> a distintas concentraciones como son: 20, 40 y 60 g/L.

### **4.2.2. Solideces**

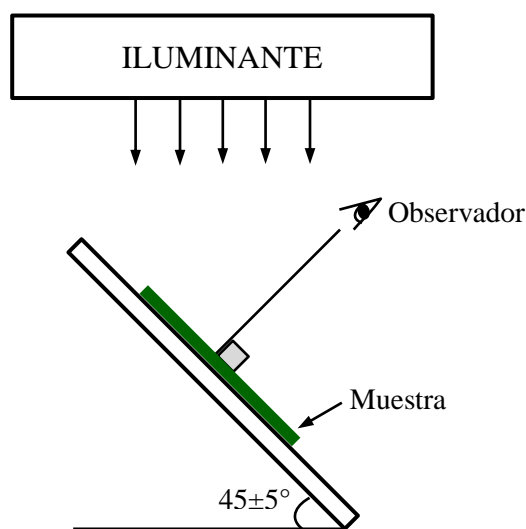
En la evaluación de solideces de las muestras textiles se obtuvo los siguientes resultados:

#### **Evaluación**

Para la evaluación de solideces, se empleó escalas de grises estandarizadas (AATCC), las cuales son: escala de grises para cambio de color (E.G.C.C.) y escala de grises para transferencia de color (E.G.T.C.), además se siguió el procedimiento según las normas técnicas (Anexo II):

- Solidez del color AATCC 1:2012, Escala de grises para cambio de color
- Solidez del color AATCC 2:2012, Escala de grises para transferencia de color

La evaluación del cambio de color y transferencia de color o manchado, se realizó en la cabina de luces con la luz D65 incidiendo en ángulo de  $45^\circ$ , tal como muestra la figura 4.4.



**Figura 4.4.** Esquema de evaluación de sólidos en la cabina de luces.

#### a) Solidez al lavado

La tabla 4.1 muestra los resultados obtenidos luego de la evaluación después de realizar la solidez al lavado, donde se puede observar que el textil no funcionalizado y los textiles funcionalizados con diferentes concentraciones de nanopartículas presentan el mismo grado de valoración en transferencia de color sobre el testigo multifibra. Con respecto al cambio de color luego de la prueba de solidez al lavado, se puede observar que el textil no funcionalizado y los textiles funcionalizados con suspensiones de nanopartículas a concentraciones de 20g/L y 40g/L no presentan cambio de color notorio (grado 4 – 5, 5), mientras el textil funcionalizado con una concentración de 60g/L, presenta un cambio de color moderado (grado 3), esto se justifica por las evaluaciones visuales realizadas luego de la funcionalización de



los textiles, donde a mayor concentración el textil se torna más luminoso.

**Tabla 4.1.** Resultados de la evaluación de solidez al lavado según Norma ISO 105/C06:2006 con la E.G.T.C. y E.G.C.C.

Evaluación	Testigo multifibra DW	Muestra textiles			
		No funcionalizada	20 g/L	40 g/L	60 g/L
Transferencia de color	Di-acetato	4-5	4-5	4-5	4-5
	Algodón blanqueado	4-5	4	4	4
	Poliamida	4	4-5	4	4-5
	Poliéster	4-5	4-5	4-5	4-5
	Acrílico	5	5	4-5	4-5
	Lana	4-5	4	4-5	4
<b>Cambio de color</b>		4-5	4-5	4-5	3

#### b) Solidez al frote

En la tabla 4.2 se puede observar que la concentración de nanopartículas interfiere mínimamente en la solidez al frote en seco. Respecto al frote húmedo las telas funcionalizada y no funcionalizadas presentan el mismo resultado, no importando la concentración de la suspensión de nanopartículas aplicada.

**Tabla 4.2.** Resultados de la evaluación de solidez al frote según Norma AATCC 8:2013 con la E.G.T.C.

Muestras textiles	Evaluación	
	Frote seco	Frote húmedo
No funcionalizada	4 - 5	3
20 g/L	4	3
40 g/L	3 - 4	3
60 g/L	3 - 4	3

### c) Solidez al sudor

La estabilidad no satisfactoria del color a la transpiración o sudor se debe al corrimiento o migración del color, o bien al cambio de color del material teñido. Por otra parte se puede producir un corrimiento sin ningún cambio aparente de color o viceversa, o puede haber tanto corrimiento como cambio de color.

En la tabla 4.3 se presentan los resultados obtenidos, donde claramente se muestra que la presencia de las nanopartículas en los textiles funcionalizados no ocasiona transferencia ni cambio de color, es decir presentan una excelente solidez al sudor.

**Tabla 4.3.** Resultados de la evaluación de solidez al sudor según Norma ISO 105/E04:2006 con la E.G.T.C y E.G.C.C.

Evaluación	Testigo multifibra DW	Muestra textiles			
		No funcionalizada	20 g/L	40 g/L	60 g/L
Transferencia de color	Di-acetato	5	5	5	5
	Algodón blanqueado	5	5	5	5
	Poliamida	5	5	5	5
	Poliéster	5	5	5	5
	Acrílico	5	5	5	5
	Lana	5	5	5	5
Cambio de color		5	5	5	5

### 4.2.3. Control de color

La tabla 4.4 muestra los resultados de diferencia de color entre la muestra textil no funcionalizada y las muestras textiles funcionalizadas con la suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>. Todas las muestras textiles fueron analizadas con iluminante

luz de día (D65) y con el observador patrón de 10° normalizado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE del término en francés *Commission Internationale de L'Eclairage*).

De los valores de diferencia de color, se puede apreciar que a mayor concentración de la suspensión de nanopartículas, aumenta la luminosidad del textil.

**Tabla 4.4.** Diferencias de color de las muestras textiles funcionalizadas.

Muestras	$\Delta E$ CIELab	DL	Da	Db	DC	DH
20 g/L	1.81	-0.10	-1.73	-0.55	1.64	0.77
40 g/L	2.16	1.80	0.66	-0.98	-0.78	0.89
60 g/L	4.01	3.09	1.88	-1.73	-2.08	1.49

#### 4.2.4. Pruebas físicas

En la determinación de las propiedades físicas de las muestras textiles, se obtuvo los siguientes resultados:

##### a) Densidad del tejido

La tabla 4.5 muestra los resultados para los textiles evaluados (funcionalizado y no funcionalizado), se puede observar que la cantidad de hilos en el sentido de la urdimbre permanece constante en todas las muestras de tela mientras que en el sentido de los hilos de trama hay un incremento de la cantidad de hilos (encogimiento en esa dirección) para las muestras funcionalizadas con la suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>.

**Tabla 4.5.** Resultados de la densidad del tejido para las muestras textiles indicadas.

Muestras textiles	N° Hilos/pulgada	
	Urdimbre	Trama
No funcionalizada	116	57
20g/L	116	59
40g/L	116	59
60g/L	116	60

Este ligero encogimiento observado es una propiedad típica del algodón que todos los usuarios de esta fibra han experimentado en la práctica, por lo que no podemos con certeza atribuirlo al proceso de funcionalización y al mecanismo que podría estar jugando las nanopartículas en él.

#### b) Gramaje del Tejido

La tabla 4.6 presenta los resultados obtenidos para las muestras textiles analizadas. Se observa que, el gramaje de las muestras se incrementa con el aumento de la concentración de la suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>.

**Tabla 4.6.** Resultados de gramaje (g/m<sup>2</sup>) para las muestras de textil indicadas.

Muestras textiles	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )
No funcionalizada	265.87
20g/L	272.93
40g/L	275.00
60g/L	280.99

Este resultado podríamos fácilmente esperarlo considerando que al aumentar la concentración de nanopartículas de  $ZnO_2$  en la suspensión, aumenta la presencia de ellas en el textil y por lo tanto la masa de este se incrementa.

### c) Resistencia del Tejido

Los resultados de resistencia del tejido se muestran en la tabla 4.7. Se puede observar que para el sentido de la urdimbre, la relación resistencia/cantidad de nanopartículas es inversa.

Así la muestra textil funcionalizada con una suspensión de concentración igual a 60 g/L tiene la menor resistencia. Por otro lado para el sentido de la trama se tiene un aumento de la resistencia para todos los textiles funcionalizados.

**Tabla 4.7.** Resultados de la resistencia del tejido en la dirección de la urdimbre y la trama para las muestras indicadas.

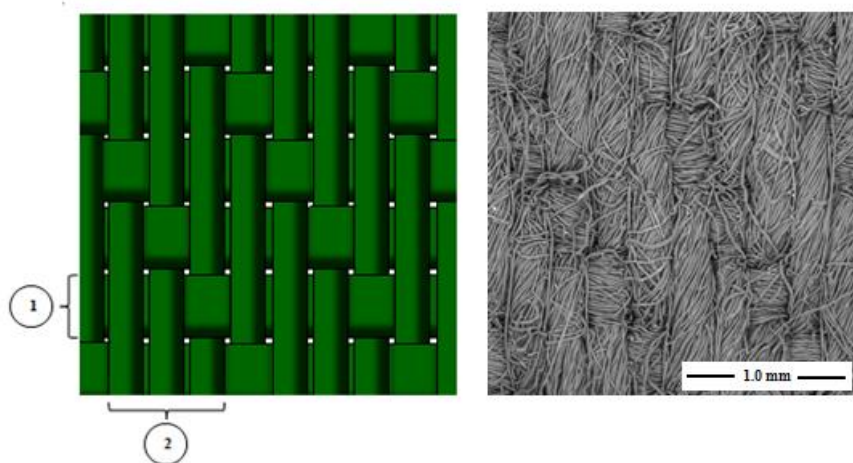
Muestras textiles	Resistencia al tejido (kg/m)	
	Urdimbre	Trama
No funcionalizada	745.41	608.92
20g/L	813.65	673.23
40g/L	801.84	666.67
60g/L	633.86	717.85

Este efecto podemos interpretarlo en conexión con los resultados obtenidos para la densidad del tejido, donde se observa el aumento de hilos de trama, lo que le conferiría mayor resistencia en esa dirección. Por otro lado en dirección de los hilos de urdimbre se observa

que el textil funcionalizado con la suspensión de concentración 20g/L presenta un aumento de la resistencia. Pero este valor disminuye sostenidamente a medida que aumenta la presencia de nanopartículas en el textil. Esto podría deberse a que el  $ZnO_2$  posiblemente afecta a la fibra.

#### d) Ligamento del tejido

En figura 4.5 se puede observar claramente que el ligamento de los textiles empleados en el trabajo de investigación es una sarga 3/1, lo que significa que la evolución del hilo es 3 tomados (hilo encima de la pasada) y 1 dejado (hilo debajo de la pasada).



**Figura 4.5.** (a) Esquema del ligamento sarga 3/1 en donde (1) hilos de trama y (2) hilo de urdimbre. (b) Micrografía electrónica de barrido del tejido utilizado en el presente trabajo.

#### e) Título del hilo

La tabla 4.8 muestra los resultados de título del hilo para las muestras funcionalizadas analizadas. Se observa una mínima

diferencia entre los títulos de los hilos de urdimbre de todas las muestras, aproximadamente entre los valores de 0.04 y 0.14. El título de los hilos de trama tiene la tendencia a disminuir conforme se incrementa la concentración de suspensión de ZnO<sub>2</sub> impregnada al tejido textil.

**Tabla 4.8.** Título del hilo en sistema inglés (Ne).

Muestras textiles	Título (Ne)	
	Urdimbre	Trama
No funcionalizada	19.29	11.82
20g/L	19.38	11.62
40g/L	19.25	11.43
60g/L	19.11	11.42

La leve disminución del título de los hilos de trama podría deberse al incremento de la presencia de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, ya que estas al adherirse en la superficie de los hilos hacen que aumenten el peso y por tanto que el título sea más grueso.

### 4.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Los resultados de los análisis microbiológicos al nanopolvo de ZnO<sub>2</sub> y a los textiles funcionalizados, se muestran a continuación:

#### 4.3.1. Determinación de la mínima concentración inhibitoria

Los valores de la mínima concentración inhibitoria del nanopolvo de ZnO<sub>2</sub> para las cepas de microorganismos evaluados como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*, se muestran en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9.** Cantidad en  $\mu\text{g/mL}$  de  $\text{ZnO}_2$  necesarios para inhibir  $1.5 \times 10^8$  ufc de las cepas indicadas.

Cepas microbianas	MCI $\mu\text{g/mL}$
<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)	64,000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 10145)	16,000
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	32,000
<i>Candida albicans</i> (ATCC 90028)	32,000

#### 4.3.2. Evaluación microbiológica del textil

La tabla 4.10 y 4.11 muestran los resultados obtenidos de la evaluación microbiológica del textil con los microorganismos *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia Coli* respectivamente. El textil no funcionalizado y funcionalizado con 20g/L de concentración de la suspensión de nanopartículas, no presentan porcentaje de reducción bacteriana, es decir los microorganismos se han desarrollado. Los textiles funcionalizados con 40 y 60g/L de concentración de la suspensión de nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$ , muestran actividad antimicrobiana después de 24 horas de contacto frente a las dos cepas de bacterias evaluadas, con una reducción de su crecimiento del 100%.

**Tabla 4.10.** Resultados del porcentaje de reducción bacteriana para la *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 10145), según Norma AATCC 100:2012.

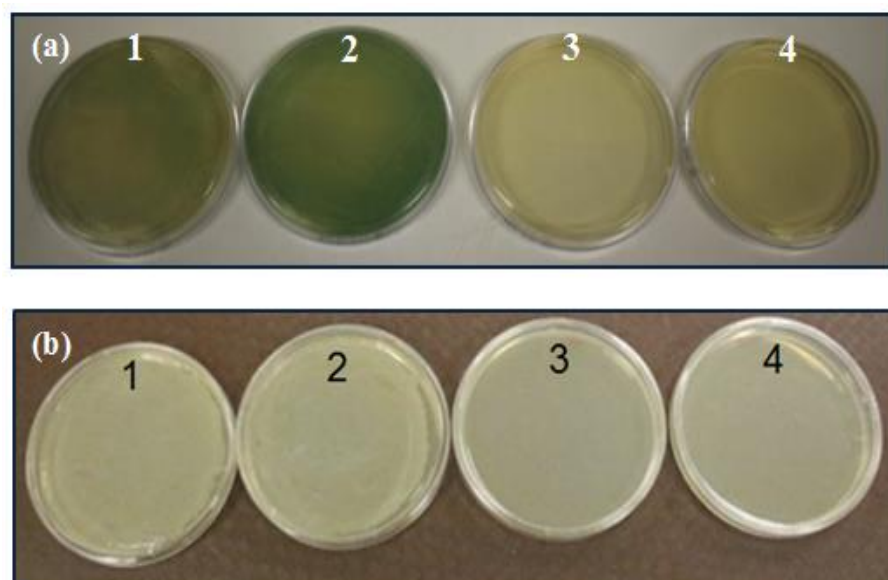
Muestras textiles	Conteo bacteriano (ufc/mL)		Porcentaje de reducción. R(%)
	Tiempo cero	Tiempo 24	
No funcionalizada	560x10	>100,000	No hay reducción
20g/L	640x10	>100,000	No hay reducción
40g/L	180x10	0	100%
60g/L	280x10	0	100%



**Tabla 4.11.** Resultados del porcentaje de reducción bacteriana para la *Escherichia Coli* (ATCC 25922), según Norma AATCC 100:2012.

Muestras textiles	Conteo bacteriano (ufc/mL)		Porcentaje de reducción. R(%)
	Tiempo cero	Tiempo 24	
No funcionalizada	140x10	>100,000	No hay reducción
20g/L	1040x10	>100,000	No hay reducción
40g/L	1370x10	0	100%
60g/L	350x10	0	100%

La figura 4.6. Muestra el conteo bacteriano realizado en las placas Petri. La pigmentación verdosa es característico del desarrollo bacteriano de *Pseudomonas aeruginosa* (placas 1 y 2 (a)). La ligera opacidad de placas muestra el desarrollo de la bacteria *Escherichia Coli* (placas 1 y 2 (b)). En el restante de placas se puede observar que no hubo desarrollo de las dos cepas bacterianas evaluadas.



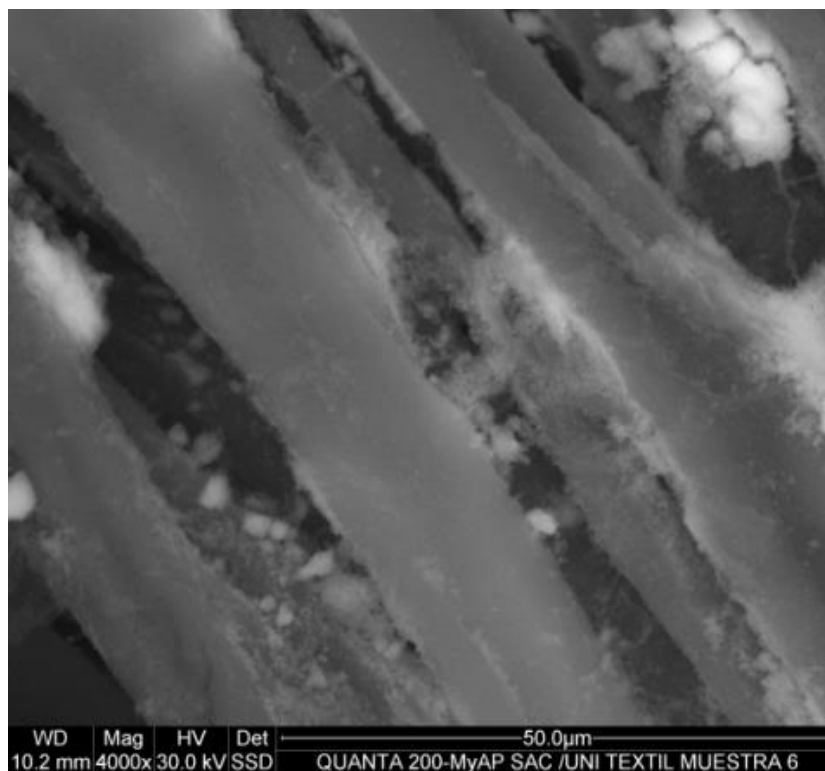
**Figura 4.6.** Resultado de las placas para: (a) *Pseudomonas aeruginosa*. (b) *Escherichia coli*. En ambos casos las muestras (1) y (2) muestran desarrollo de las bacterias y las placas (3) y (4) muestran que las bacterias no desarrollan.

#### 4.4. MORFOLOGÍA

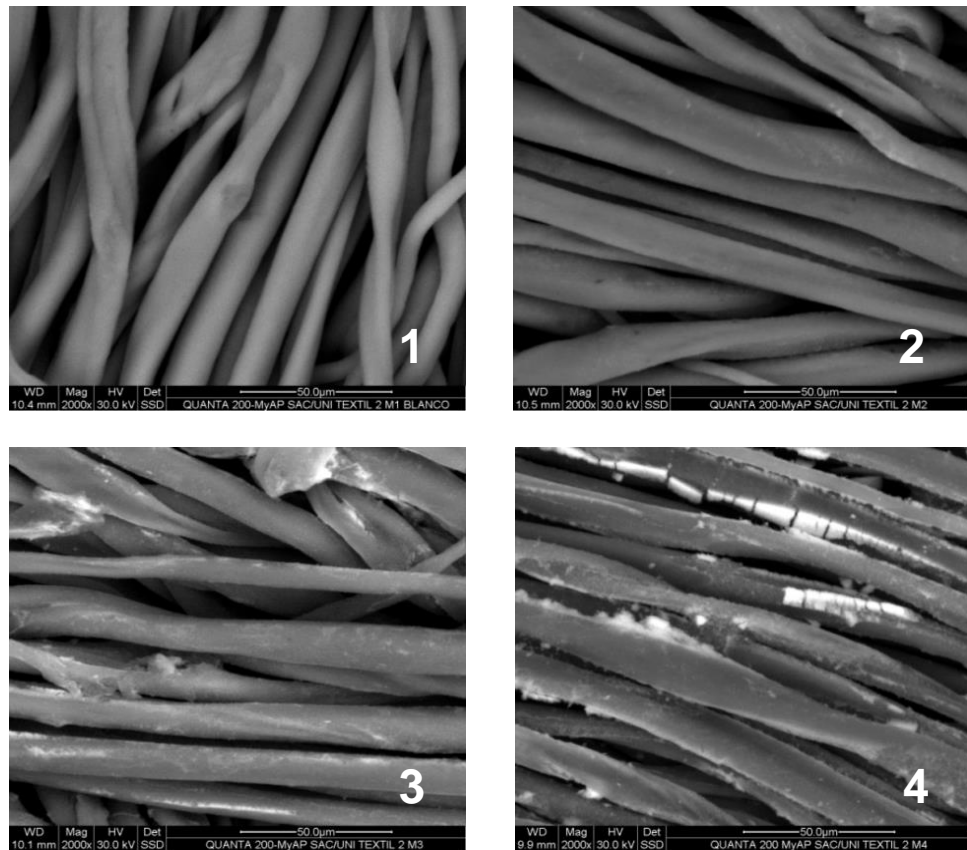
La información de la ubicación y distribución de las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  en la superficie de las fibras textiles es de gran importancia para entender el comportamiento antimicrobiano que estas presentan.

La figura 4.6 muestra claramente las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$ , las cuales se encuentran ubicadas superficialmente en zonas que se reconocen como nubosidades blancas en la tela funcionalizada.

En la figura 4.7 se puede identificar las nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  como depósitos blancos que están distribuidos heterogéneamente en ciertas zonas de la superficie de la fibra de algodón. Notoriamente se puede reconocer que para el caso de mayor concentración, se observan encostrados de  $\sim 30 \mu\text{m}$  de tamaño.



**Figura 4.7.** Micrografía electrónica de barrido del textil funcionalizado.



**Figura 4.8.** Micrografías electrónicas de barrido para: (1) textil no funcionalizado, textil funcionalizado con una suspensión de (2) 20g/L, (3) 40 g/L y (4) 60 g/L.

## 5. ANÁLISIS DE COSTOS

Los términos que se usan comúnmente al describir los costos de fabricación de un producto o manufactura son los costos de los materiales directos, costos directos de la mano de obra de manufactura y los costos indirectos de manufactura.

En la presente tesis se determinó sólo el costo de los materiales directos, debido a que dentro de los objetivos que se tiene, es la investigación y desarrollo de tejidos textiles funcionales o inteligentes, más no es la obtención de productos económicamente rentables.

La tabla 5.1 muestra en análisis de costos de los materiales utilizados para la obtención de 1L de suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> a una concentración 20g/L.

**Tabla 5.1.** Costos de los materiales directos para la obtención del antimicrobiano a base de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> a nivel del laboratorio e industrial.

Insumos químicos	Laboratorio			Industrial		
	Kg	Precio US\$/Kg	US\$	Kg	Precio US\$/Kg	US\$
(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Zn.2H <sub>2</sub> O	0.4866	51.689	<b>25.153</b>	0.4866	1.011	<b>0.492</b>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30%	0.1734	29.039	<b>5.034</b>	0.0000	0.000	<b>0.000</b>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 50%	0.0000	0.000	<b>0.000</b>	0.1041	0.566	<b>0.059</b>
H <sub>2</sub> O	2.5079	0.738	<b>1.850</b>	2.5726	0.464	<b>1.193</b>
CH <sub>3</sub> -CH(CH <sub>3</sub> )-(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> -CH <sub>2</sub> OH	0.0004	4.012	<b>0.002</b>	0.0004	4.012	<b>0.002</b>
<b>Total</b>			<b>32.038</b>			<b>1.745</b>

De los resultados obtenidos, se puede apreciar claramente la gran diferencia de costos a nivel de laboratorio con respecto al industrial.

Se debe tener en cuenta que los precios de los productos utilizados a nivel de

laboratorio generalmente son más caros, ello debido a su alta pureza, las pocas cantidades que se requieren y a su exclusividad, por ejemplo se tiene el  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% que normalmente en la industria se comercializa como  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 50%.

Los costos obtenidos dan la posibilidad de complementar los análisis de costos en mano de obra directa y los costos indirectos, con la finalidad de producir el antimicrobiano a base de nanopartículas de  $\text{ZnO}_2$  a escala industrial.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

1. Se sintetizó nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> por medio del método de sol-gel, obteniéndose suspensiones a diferentes concentraciones. Estas contienen 2% de un tensoactivo que mejora las propiedades hidrofílicas de los textiles funcionalizados.
2. Según los tipos de mecanismo de acción de los antimicrobianos en la industria textil, el antimicrobiano a base de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> pertenece al antimicrobiano de contacto.
3. Los valores de la mínima concentración inhibitoria obtenido para las cuatro cepas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*) no son necesariamente los indicadores de las concentraciones de las suspensiones de las nanopartículas a emplear en el proceso de impregnación, dado que se debe considerar el pick up del tejido textil.
4. Los valores de la mínima concentración inhibitoria obtenido para las cepas, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*, son mucho mayores que la concentración de 20g/L de la suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, es por ello que no se da la reducción del crecimiento de las bacterias.
5. Los textiles funcionalizados con la suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> a concentraciones mayores de 40g/L, reducen 100% el crecimiento de las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* y

*Escherichia coli*, representando esto la muerte de las mismas.

6. Los resultados de solidez o resistencia del color al lavado doméstico, frote y sudor muestran que la funcionalización con nanopartículas de  $ZnO_2$  no afecta el color del textil, es decir la evaluación antes y después de la aplicación son similares en cambio de color del textil y transferencia de color hacia otras fibras textiles adyacentes como la multifibra o el testigo de algodón blanqueado.
7. La comparación de las propiedades físicas del textil funcionalizado con nanopartículas de  $ZnO_2$  versus el textil original en densidad, gramaje y resistencia muestran un incremento de cada uno los valores, significando esto un fortalecimiento del textil y no un deterioro del mismo.
8. La funcionalización del textil con nanopartículas de  $ZnO_2$  produce un cambio de color sobre el textil original, tal como se mostraron en los resultados efectuados visualmente y de manera instrumental. Este cambio de color es previsible y usual en todas las aplicaciones de acabados textiles en la industria previéndose el mismo en el desarrollo del color.
9. A partir de  $160^\circ C$  el  $ZnO_2$  comienza a descomponerse en  $ZnO$  y a  $220^\circ C$  de tiene completamente  $ZnO$  en el sistema.
10. La temperatura de secado del textil no debe exceder los  $160^\circ C$ , a dicha temperatura el  $ZnO_2$  se descompone en  $ZnO$ , el cual también posee propiedades antimicrobianas pero requiere de alta energía para activarlas.
11. De estos resultados microbiológicos podemos concluir que el  $ZnO_2$

en forma de nanopartículas se comporta como un agente antimicrobiano y antimicótico.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- 1.** Analizar la afección de la aplicación de las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> en el grado de polimerización del algodón.
- 2.** Verificar la resistencia de la funcionalización del textil con las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> a los ciclos de lavados domésticos y comerciales.
- 3.** Ampliar la investigación realizando pruebas de funcionalización sobre otros tejidos de material diferente al analizado, como por ejemplo 100% poliéster, mezclas de poliéster-algodón, viscosa-algodón, etc.
- 4.** Aplicar productos suavizantes al textil funcionalizado con la nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, con la finalidad de mejorar la apariencia física (tacto) del textil, así mismo realizar las evaluaciones microbiológicas para verificar sus propiedades antimicrobianas.
- 5.** Realizar estudios microbiológicos del antimicrobiano a base de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, para poder clasificarlo en el grupo de antimicrobianos que actúan según su preferencia en relación con la estructura química que posea.
- 6.** Realizar evaluaciones toxicológicas del nanopolvo de ZnO<sub>2</sub> y de los textiles funcionalizados con la suspensión de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> a diferentes concentraciones.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Jovic, D., *Functional finishing of textiles with responsive polymeric systems*, in *Surface modification systems for creating stimuli responsiveness of textiles*. 2010, University of Twente: Netherlands.
2. Langenhove, L.V. and C. Hertleer, *Smart clothing: a new life*. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2004. **16**: p. 63-72.
3. Martín, J.R.S., *Los tejidos inteligentes y el desarrollo tecnológico de la industria textil*. *Técnica Industrial*, 2007. **268**: p. 38-45.
4. Abraham, G.A., et al., *Nanotecnología para Textiles Funcionales*. Vinculación: Asociación Argentina de Materiales, 2010: p. 3-46.
5. White, W.C. and R.A. Monticello, *Antimicrobial Performance of Medical Textiles*. AEGIS Environments, 2002: p. 1-14.
6. Baurley, S., *Interactive and experiential desing in smart textile products and applications*. Woodhead Publishing Limited, 2004. **8**: p. 274-281.
7. Dastjerdi, R., M. Montazer, and S. Shahsavan, *A new method to stabilize nanoparticles on textile surfaces*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2009. **345**: p. 202-210.
8. Zhang, F., et al., *Application of Silver Nanoparticles to Cotton Fabric as an Antibacterial Textile Finish*. *Fiber and Polymers*, 2009. **10**(496-501).
9. Cioffi, N., et al., *Copper Nanoparticle/Polymer Composites with Antifungal and Bacteriostatic Properties*. American Chemical Society, 2005. **17**: p. 5255-5262.
10. Ahmad, T., et al., *Biosynthesis, structural characterization and antimicrobial activity of gold and silver nanoparticles*. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2013. **107**: p. 227-34.
11. Çakır, B.A., et al., *Synthesis of ZnO nanoparticles using PS-b-PAA reverse micelle cores for UV protective, self-cleaning and antibacterial textile applications*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2012. **414**: p. 132-139.
12. Gordon, T., et al., *Synthesis and characterization of zinc/iron oxide composite nanoparticles and their antibacterial properties*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2011. **374**(1-3): p. 1-8.
13. Stevanovic, M., et al., *Multifunctional PLGA particles containing poly(L-glutamic acid)-capped silver nanoparticles and ascorbic acid with simultaneous antioxidative and prolonged antimicrobial activity*. *Acta Biomater*, 2014. **10**(1): p. 151-62.
14. Colonia, R., et al., *Síntesis de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> empleando ultrasonido: Caracterización estructural y morfológica para aplicaciones bactericidas*. *Sociedad Química del Perú*, 2013. **79**(2): p. 126-135.
15. Rodríguez, J.A.G., et al., *Historia de la Antibioterapia*. 1997, España: Ars Medica. 92.

16. López, J.B., et al., *La otra historia de los antimicrobianos*. 2006, España: Ars Medica. 64.
17. Rodríguez, J.A.G., *Antimicrobianos*, in *Microbiología y Parasitología Médica*, A. Pumarola, et al., Editors. 1987, Salvat Editores S.A.: España. p. 926.
18. Murray, P.R., K.S. Rosenthal, and M.A. Pfaüer, *Antibióticos*, in *Microbiología Médica*. 2006, Elsevier: España. p. 927.
19. Ryan, K.J. and W.L. Drew, *Antibacterial and Antiviral Agents*, in *Sherris Medical Microbiology: An Introduction to Infectious Diseases*, K.J. Ryan and C.G. Ray, Editors. 2004, McGraw-Hill: Unites States of America. p. 997.
20. Taroco, R., V. Seija, and R. Vignol, *Métodos de estudio de la sensibilidad antibiótica*, in *Temas de Bacteriología y Virología Médica*, F.d.M. Universidad de la República, Editor 2006, Oficina del libro FEFMUR: Uruguay.
21. Rhim, J.W., L.F. Wang, and S.I. Hong, *Preparation and characterization of agar/silver nanoparticles composite films with antimicrobial activity*. Food Hydrocolloids, 2013. **33**(2): p. 327-335.
22. Pan, N. and G. Sun, *Functional textiles for improved performance, protection and health*2011: Woodhead Publishing Limited.
23. Langenhove, L.V., *Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications*. 2007, England: Woodhead Publishing Limited. 329.
24. Schindler, W.D. and P.J. Hauser, *Antimicrobial finishing*, in *Chemical finishing of textiles*2004, Woodhead Publishing Limited: England.
25. Choi, J.-H. and V. Loftness, *Investigation of human body skin temperatures as a bio-signal to indicate overall thermal sensations*. Building and Environment, 2012. **58**: p. 258-269.
26. Shahidi, S. and J. Wiener, *Antibacterial Agents in Textile industry*, in *Antimicrobial Agents*, V. Bobbarala, Editor 2012, InTech: Croatia. p. 429.
27. Sarkar, B., et al., *Sorption of quaternary ammonium compounds in soils: Implications to the soil microbial activities*. journal of Hazardous Materials, 2010. **184**: p. 448-456.
28. Hanioka, N., et al., *Interaction of 2,4,4'-trichloro-2'-hydroxydiphenyl ether with microsomal cytochrome P450-Dependent monooxygenases in rat liver*. Chemosphere, 1996. **33**(2): p. 265-276.
29. Jacobs, M.N., G.T. Nolan, and S.R. Hood, *Lignans, bacteriocides and organochlorine compounds activate the human pregnane X receptor (PXR)*. Toxicology and Applied Pharmacology, 2005. **209** p. 123 – 133.
30. Bester, K., *Triclosan in a sewage treatment process - balances and monitoring data*. Water Research, 2003. **37**: p. 3891–3896.
31. Ferrer, I., et al., *Liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometric analyses for the elucidation of the photodegradation products of triclosan in wastewater samples*. Rapid Communications in Mass Spectrometry 2004. **18**: p. 443–450.

32. Ying, G.-G. and R.S. Kookana, *Triclosan in wastewaters and biosolids from Australian wastewater treatment plants*. Environment International, 2007 **33**: p. 199–205.
33. Liu, F., et al., *Terrestrial ecotoxicological effects of the antimicrobial agent triclosan*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2009. **72**: p. 86-92.
34. Allmyr, M., et al., *Triclosan in plasma and milk from Swedish nursing mothers and their exposure via personal care products*. Science of the Total Environment, 2006. **372**: p. 87-93.
35. Shahidi, S., et al., *Investigation of metal absorption and antibacterial activity on cotton fabric modified by low temperature plasma*. Cellulose, 2010. **17**: p. 627-634.
36. Chen, C.Y. and C.L. Chiang, *Preparation of cotton fibers with antibacterial silver nanoparticles*. Materials Letters, 2008. **62**: p. 3607-3609.
37. Raghupathi, K.R., R.T. Koodali, and A.C. Manna, *Size-Dependent Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles*. Langmuir, 2011. **27**: p. 4020-4028.
38. Hashemikia, S. and M. Montazer, *Sodium hypophosphite and nano TiO<sub>2</sub> inorganic catalysts along with citric acid on textile producing multi-functional properties*. Applied Catalysis A: General, 2012. **417-418**: p. 200-208.
39. Zhang, W., et al., *Preparation and antibacterial behavior of Fe<sup>3+</sup>-doped nanostructured TiO<sub>2</sub> thin films*. Thin Solid Films, 2008. **516**(15): p. 4690-4694.
40. Guzman, M., J. Dille, and S. Godet, *Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria*. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine, 2012. **8**: p. 37-45.
41. Sondi, I. and B. Salopek-Sondi, *Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria*. Journal Colloid Interface Science, 2004. **275**(1): p. 177-82.
42. Sodagar, A., et al., *Effect of silver nano particles on flexural strength of acrylic resins*. Journal of Prosthodontic Research, 2012. **56**: p. 120-124.
43. Kim, S., et al., *Oxidative stress-dependent toxicity of silver nanoparticles in human hepatoma cells*. Toxicology in Vitro, 2009. **23**(6): p. 1076-1084.
44. Brandt, D., et al., *Argyria secondary to ingestion of homemade silver solution*. J Am Acad Dermatol, 2005. **53**(2): p. 105-107.
45. Dunn, K. and V.E. Jones, *The role of Acticoat<sup>TM</sup> with nanocrystalline silver in the management of burns*. Burns, 2004. **30**(1): p. 1-9.
46. Hadrup, N. and H.R. Lam, *Oral toxicity of silver ions, silver nanoparticles and colloidal silver - A review*. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2014. **68**: p. 1-7.
47. Kruszewski, M., et al., *Oxidative DNA damage corresponds to the long term survival of human cells treated with silver nanoparticles*. Toxicology Letters 2013. **219**: p. 151 - 159.

48. Brar, S.K., et al., *Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge--evidence and impacts*. Waste Manag, 2010. **30**(3): p. 504-20.
49. Rutala, W.A., et al., *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities*, C.f.D.C.a. Prevention, Editor 2008: Unites States of America. p. 158.
50. Wijnhoven, S.W.P., et al., *Nano-silver – a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment*. Nanotoxicology, 2009. **3**(2): p. 109-138.
51. Windler, L., M. Height, and B. Nowack, *Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications*. Environment International, 2013. **53**: p. 62-73.
52. Zanella, R., *Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño*. Mundo Nano, 2012. **5**(1): p. 69-81.
53. Brinker, C.J. and G.W. Scherer, *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. 1990, United Kingdon: Academic Press, Inc.
54. Colonia, R., et al., *Síntesis y caracterización estructural y morfológica de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> asistido con UV para aplicaciones bactericidas*. Tecnia, 2013. **23**(1): p. 17.
55. Atkins, P., et al., *Shriver & Atkins: Química Inorgánica*. 2006, México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
56. Callister, W.D., *The Structure of Crystalline Solids*, in *Materials Science and Engineering an Introduction*. 2007, John Wiley & Sons, Inc. : Unites States of America. p. 975.
57. Rouessac, F. and A. Rouessac, *Infrared Spectroscopy*, in *Chemical Analysis: Modern Instrumentation Method and Tecniques*. 2007, John Wiley & Sons, Ltd.: England. p. 599.
58. Faraldos, M. and C. Goberna, *Técnicas de Análisis y Caracterización de Materiales*. 2 ed. 2012, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
59. Cegarra, J., P. Fuentes, and J. Velledperas, *Maquinaria de Tintura por Fularado*, in *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*. 1981, Cátedra de tintura y estampación de E.T.S.I.I.T: España. p. 241-277.
60. Villasana, F.A.C., *Predicción de propiedades ópticas de películas inhomogéneas por medio de modelos de transferencia radiactiva y su aplicación en pinturas.*, in *Facultad de Ciencias*. 2004, Universidad Nacional Autonoma de México: México.
61. Hollen, N., J. Saddler, and A.L. Langford, *Introducción a los textiles*. 2004: Editorial Limusa S.A. De C.V.
62. Morales, A.E., et al., *Structural and vibrational properties of hydrothermally grown ZnO<sub>2</sub> nanoparticles*. Journal of Crystal Growth, 2011. **316**: p. 37–41.
63. Colonia, R., J.L. Solís, and M. Gómez, *Bactericidal, structural and morphological properties of ZnO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized under UV or ultrasound irradiation*. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 2013. **5**(1): p. 015008.

## 8. ANEXOS

### 8.1. ANEXO 1

#### GLOSARIO

**AATCC:** *American Association of Textile Chemists and Colorists.* Asociación americana que desarrolla métodos de prueba, materiales de control de calidad para la industria textil y materiales.

**Actinomicetos:** Género muy heterogéneo de eubacterias Gram-positivas, con tendencia a desarrollar formas filamentosas.

**ADN:** Sigla del ácido desoxirribonucleico, ácido nucleico que contiene la información genética de un ser vivo, está presente en algunos virus, en las células procariotas y en el núcleo de la células eucariotas.

**Agentes:** Causa capaz de producir la modificación visual del color en textiles teñidos o estampados.

**Anfóteros:** Son las moléculas que pueden reaccionar como ácido o como base.

**Apoptosis:** Modalidad específica de muerte celular, implicada en el control del desarrollo y el crecimiento.

**ARN:** Ácido ribonucleico. Macromolécula formada por ribosa, ácido fosfórico y bases nitrogenadas. Se trata de una cadena única de estructura helicoidal que puede hallarse en tres estados o formas.

**ARNm:** ARN mensajero. Es el transportador de la información contenida en el ADN.

**ATCC:** *American Type Culture Collection.* Organización en el campo de la biotecnología, se centra en la adquisición, autenticación, producción, conservación, desarrollo y distribución de microorganismos de referencia estándar.

**Cambio de color:** Modificación de la intensidad del color, del matiz o de la pureza o una combinación de estos efectos.

**Cepa:** Grupo de organismos emparentados, como las bacterias, los hongos o los virus, cuya ascendencia común es conocida.

**CIE:** Del término en francés *Commission Internationale de L'Eclairage*. Es la comisión internacional de la iluminación y la autoridad internacional en luz, iluminación, color y espacios de color.

**Coloide:** Moléculas o partículas polimoleculares dispersas en un medio con tamaños del orden de 1nm a 1 $\mu$ m al menos en una dirección.

**De:** *Denier*. Unidad de medida del Sistema Inglés de la densidad lineal de masa de fibras. Es la masa en gramos por cada 9.000 metros de fibra.

**Dominios cristalinos:** Arreglo cristalino de un sólido en el que los átomos se encuentran ordenados en posiciones fijas. Para materiales nanoestructurados los dominios son del orden de decenas de nanómetros.

**Escala de grises:** Escala que consta de pares de muestras estándar de gris, donde los pares representan diferencias progresivas en color y contraste correspondientes a grados numéricos de estabilidad del color.

**Fibra:** Cuerpo flexible, macroscópicamente homogéneo, y que tiene una elevada relación (longitud/ancho) y una sección transversal pequeña.

**Gel particulado:** Sistema coloidal tridimensional interconectado donde la fase continua es sólida y la dispersa es líquida

**Genotoxicidad:** Capacidad relativa de un agente de ocasionar daño en el material genético, originando efectos biológicos adversos

**Gram-negativas:** Dícese de la bacteria que no se tiñe con la coloración de Gram. Sus paredes, que son muy finas, contienen lipopolisacáridos. Pertenecen a este grupo la salmonella, sscherichia, neisseria, brucelas, espirilos y vibriones, entre otros.

**Gram-positivas:** Dícese de la bacteria que se tiñe con la coloración de Gram. Sus paredes son gruesas y contienen ácido murámico y un aminoazúcar. Pertenecen a este grupo los estreptococos, neumococos, estafilococos y clostridios, entre otras.

**Halo:** Zona alrededor de un disco de antibiótico en un antibiograma en el que no se produce crecimiento bacteriano en una placa de agar inoculada con el germen. Es una medida de la potencia del antibiótico frente al germen.

**Homeostasis:** Conjunto de fenómenos de autorregulación, que conducen al mantenimiento de la constancia en la composición y propiedades del medio interno de un organismo.

**Infecciones nosocomiales:** Infecciones adquiridas en ambientes hospitalarios, que pueden desarrollarse en pacientes o en el personal que labora en el hospital.

**Inhibir:** Suspender transitoriamente una función o actividad del organismo mediante la acción de un estímulo adecuado.

**Inmunidad médica:** Estado de resistencia aumentada frente a un agente infeccioso.

**Inoculación:** Introducción voluntaria o accidental de virus, bacterias o de cualquier otra sustancia susceptible de producir una enfermedad. Introducción de una sustancia infectiva en un medio de cultivo.

**Inoculo:** Sustancia que se introduce por inoculación.

**Lisis:** Deterioro de una célula debido a una lesión en su membrana plasmática (exterior). Esta puede ser por medios químicos o físicos o por infección con una cepa de un virus que puede lisar las células.

**Mutagénesis:** Capacidad de un agente biológico, químico o físico para inducir cambios heredables (mutaciones).

**Ne:** *Number English*. Sistema de numeración utilizado mayormente para de hilos de algodón. Es la relación de 840 yardas por libra de fibra.

**Nm:** *Number Metric*. Sistema de numeración utilizado mayormente para de hilos de lana. Es la relación de 256 yardas por libra de fibra.

**No tejido:** Tejido laminar conformado por un conjunto de fibras orientadas de forma lineal o al azar y están unidas por fricción, cohesión o por adhesión

**Sembrar:** Acto de colocar el material bacteriológico en el medio de cultivo para promover su crecimiento y desarrollo, y subsiguiente multiplicación.

**Simbiosis:** Asociación de individuos animales o vegetales de diferentes especies, sobre todo si los simbiosistas sacan provecho de la vida en común.

**Suspensión:** Líquido que contiene partículas finas de un sólido dispersas.

**Suspensión coloidal:** Suspensión de partículas cuyo tamaño está dentro del intervalo coloidal.

**Sustrato:** Material textil pudiendo ser fibra, hilo o tela.

**Tecnología verdes:** Tecnología limpia, aplicación de ciencia ambiental para conservar el ambiente natural, recursos y frenar impactos negativos de la involucración de humanos.

**Tejido:** Tela constituida por el entrelazamiento en la máquina de tejer, de un conjunto de hilos de urdimbre e hilos de trama normalmente a ángulo recto el uno en relación al otro.

**Tejido compuesto:** Tejido textil formado por varios tipos de fibras.

**Testigo monofibra:** Denominado también testigo blanco, que es un tejido de ligamento tafetán, con masa media por unidad de superficie, no contienen fibras químicamente alteradas, ni aprestos, ni colorantes, no blanqueadores ópticos.

**Testigo multifibra:** Tejido que se compone de hilos de diversas clases de fibras. Los hilos de cada una de las fibras forman bandas de tejido de 1.5 cm de ancho como mínimo.

**Testigo multifibra DW:** Tipo de multifibra, se compone de las fibras de acetato, algodón blanqueado, poliamida, poliéster, acrílica y lana.

**Tex:** Sistema de numeración universal de los títulos de hilado. Es la masa en gramos por cada 1000 metros de fibra.

**Tinción Gram:** Método de tinción, utilizado para teñir paredes bacterianas, permite diferenciar las bacterias Gram-positivas y las Gram-negativas. Se basa en las diferencias que existen en la composición molecular de las paredes de ambos grupos de bacterias.

**Transcripción:** Es el proceso de obtención de un ARN mensajero (ARNm) a partir del ADN correspondiente a un gen.

**Transferencia de color:** Absorción no deseada del colorante por un sustrato debido a la exposición a un medio líquido con colorante o al contacto directo con un material teñido, desde el cual se transfiere al colorante por sublimación o acción mecánica.

**Unidades Formadoras de Colonia (ufc):** Se denomina a una célula viva y aislada que se encuentra en un sustrato y en condiciones ambientales adecuadas produce una colonia en un breve lapso de tiempo.



## 8.2. ANEXO II

### NORMAS TÉCNICAS

#### SOLIDECES

ISO 105-C06:2006 Solidez del color al lavado doméstico y comercial

ISO 105-X12:2006 Solidez del color al frote

ISO 105-E04:2006 Solidez del color al sudor

[http://www.indecopi.gob.pe/0/home\\_biblioteca\\_virtual.aspx](http://www.indecopi.gob.pe/0/home_biblioteca_virtual.aspx)

AATCC Método de prueba 8:2013. Solidez del color al frote: Método de frictómetro

AATCC Procedimiento de evaluación 1:2012. Escala de grises para cambio de color.

AATCC Procedimiento de evaluación 2:2012. Escala de grises para transferencia de color.

<http://www.aatcc.org/testing/methods/index.htm>

#### PRUEBAS FÍSICAS

NTP 231.141:1985(2010) Definiciones de los términos genéricos y tejidos básicos

[http://www.indecopi.gob.pe/0/home\\_biblioteca\\_virtual.aspx](http://www.indecopi.gob.pe/0/home_biblioteca_virtual.aspx)

ASTM D3775 (2012) Método de prueba para el conteo de hilos del tejido

ASTM D3776-09a(2013) Masa por unidad de área (peso) de la tela

ASTM D5034-09(2013) Resistencia a la rotura y elongación de Telas (Ensayo Grab)

ASTM D1059-01(2010) Determinación del título de hilo

<http://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html>

#### MICROBIOLÓGIA

AATCC Método de prueba 30:2012. Actividad antifúngica, la evaluación de las materias textiles: el moho y la resistencia a la pudrición de los textiles.

AATCC Método de prueba 100:2012. Evaluación del acabado antibacteriano en materiales textiles.

AATCC Método de prueba 147:2011. Evaluación de la actividad antibacteriana de materiales textiles: Método rayas longitudinales paralelas.

AATCC Método de prueba 174:2011. Evaluación de la actividad antimicrobiana de alfombras.

<http://www.aatcc.org/testing/methods/index.htm>

### 8.3. ANEXO III

#### NANOPARTÍCULAS DE ZnO<sub>2</sub> Y ZnO SINTETIZADAS BAJO RADIACIÓN UV

##### ZnO<sub>2</sub> y ZnO nanoparticles synthesized under UV radiation

Luz E. Román, Vanessa C. Martinez, José L. Solís, Mónica M. Gómez

Facultad de Ciencias, Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima 25  
luzesmerome@gmail.com

El peróxido de zinc y el óxido de zinc son materiales ampliamente usados en la industria y para aplicaciones tecnológicas [1-2]. Es así que partículas de peróxido de zinc vienen siendo utilizadas en la industria cosmética y farmacéutica, debido a sus propiedades bactericidas [3].

En este trabajo, las nanopartículas de peróxido de zinc (ZnO<sub>2</sub>) fueron sintetizadas bajo radiación UV por medio de la técnica de sol-gel. Para la síntesis se empleó una solución acuosa 0.1M de acetato de zinc dihidratado (Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) y pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%. El ZnO<sub>2</sub> se obtiene en forma de un sol que luego es centrifugado y secado a 80°C.

Las nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> obtenidas fueron caracterizadas estructuralmente mediante la técnica de difracción de rayos-X. Para determinar la dependencia de la estructura cristalina con la temperatura, se procedió a realizar tratamientos térmicos a las nanopartículas y se encontró que a partir de 160°C el ZnO<sub>2</sub> se transforma en ZnO, y para una temperatura de 180°C se tiene solo ZnO en el sistema.

1. Bai, H. and X. Liu (2010). "Green hydrothermal synthesis and photoluminescence property of ZnO<sub>2</sub> nanoparticles." *Mater. Lett.* **64**: 341-343.
2. Uekawa, N., et al. (2001). "Synthesis of ZnO Nanoparticles by Decomposition of Zinc Peroxide." *Chem. Lett.* 606-607.
3. Colonia, R. et al. (2013). "Síntesis de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> empleando ultrasonido: Caracterización Estructural y Morfológica para aplicaciones bactericidas. *Rev. Soc. Quim. Perú.* 79 (2).

Palabras clave: peróxido de zinc, óxido de zinc, radiación UV, nanopartículas

**8.4. ANEXO IV**

**ARTÍCULO REVISTA MUNDO TEXTIL**



# **OBTENCION DE TEXTILES BACTERICIDAS**

## *Resumen*

*Nanopartículas de un óxido semiconductor han sido adheridas a un tejido plano para que este adquiera propiedades bactericidas. El trabajo íntegramente ha sido desarrollado de manera conjunta en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), gracias a la financiación recibida por la empresa L'Oreal-Perú, al Instituto General de Investigación de la UNI y al Concejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación del Perú (CONCYTEC).*

Actualmente a nivel mundial los textiles polifuncionales han cobrado gran atención a nivel mundial [1-3]. Se conoce con este nombre a aquellas telas que han sido modificadas mediante la adición de compuestos o sustancias a la fibra para que presenten propiedades mejoradas y que permitan emplear estos textiles en aplicaciones de mayor exigencia y complejidad. En términos generales los textiles polifuncionales deben cumplir las demandas del consumidor en términos de comodidad, fácil lavado, biocompatibilidad, durabilidad e higiene, además que también deben ofrecer, según su desarrollo tecnológico, protección contra ataques mecánicos, térmicos, químicos y biológicos. Así los grandes retos para estos textiles son:

- Poseer gran estabilidad mecánica, química, térmica y fotoquímica.
- Presentar propiedades repelentes contra el agua, el aceite y la suciedad.
- Cambiar las propiedades de absorción y emisión de la luz de la región UV a la IR.
- Desarrollar conductividad eléctrica para efectos de protección antiestática y electromagnética.
- Inmovilizar o modificar estructuralmente especies activas con efectos biológicos, terapéuticos y de bienestar.

Las fibras textiles en contacto con la piel, poseen un ambiente adecuado para la incubación de microorganismos tales como bacterias, hongos o virus además, la humedad y la temperatura cálida que adquieren durante su uso, favorece a la rápida reproducción de microorganismos.

La funcionalización de los textiles se puede alcanzar modificando la fibra en su integridad o su superficie. Los métodos más empleados son [4]:

- La incorporación en las fibras sintéticas de aditivos funcionales orgánicos o inorgánicos antes de la fusión de las fibras poliméricas.

- Adición química de aditivos mediante el injerto de determinadas sustancias; este método tiene muy buenas propiedades de fijación pero se restringe a algunos tipos de fibras reactivas.
- El recubrimiento posterior con aditivos funcionales. Este método es muy versátil y empleado con sustancias de diferente naturaleza. La cantidad de las sustancias funcionales es pequeña lo que facilita su medio de aplicación.

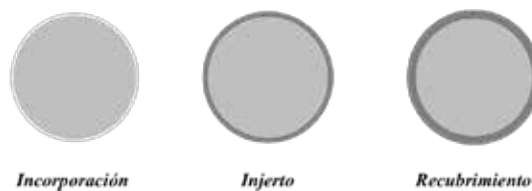


Figura 1. Esquema de los cortes transversales de fibras mostrando las variantes más importantes de la funcionalización de los textiles.

Específicamente, un textil antimicrobiano o bactericida es de gran interés porque este puede brindar grandes beneficios en ambientes de gran riesgo de contaminación o contagio, tal como lo son los ambientes hospitalarios. Un textil bactericida, básicamente, da los siguientes beneficios:

- Previene la reproducción de microorganismos
- Controlan olores, dando una sensación de frescura
- Protección contra la decoloración y la degradación del textil
- Aumenta la limpieza entre las lavadas
- Específicamente en los últimos años este proceso de funcionalización se ha desarrollado empleando nanopartículas de óxidos semiconductores tales como el óxido de titanio (muy empleado en pastas dentífricas) [2], el óxido de zinc (muy empleado en cremas dermatológicas) [5,6] y el óxido de cobre [7].

Esto no nos debe sorprender porque actualmente ya es amplio el conocimiento de que la nanotecnología ha revolucionado la ciencia en las dos últimas décadas [8,9]. Dado que las propiedades de los materiales a escala volumétrica no son las mismas que cuando estos se encuentran solo confinados a espacios del orden de nanómetros [10]. Para que tengamos una idea ilustrativa de la escala de la que hablamos podemos mencionar que el diámetro de un cabello mide aproximadamente cien mil nanómetros (100 000 nm).

Las Facultades de Ciencias y de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería, en cooperación con la Facultad de Ciencias y Filosofía de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, vienen desarrollando un trabajo de investigación que tiene como objetivo explorar las potencialidades bactericidas de las nanopartículas de peróxido de zinc ( $ZnO_2$ ) impregnadas en un tejido plano [11].

El  $ZnO_2$  es un polvo semiconductor, sin olor, de color blanco, casi insoluble en agua y soluble en ácido. Este material es un tipo de peróxido muy estable a temperatura ambiente y presión atmosférica, pero cuando llega a 150° C empieza a descomponerse y generar oxígeno [12,13]. Además el  $ZnO_2$ , en polvo, es ampliamente utilizado en la industria del caucho, procesamiento plástico, como oxidante para explosivos y mezclas pirotécnicas, en la industria cosmética y farmacéutica como un aditivo antiséptico en el tratamiento de las enfermedades de la piel [14]. También el  $ZnO_2$  se usa en procesos de fotocatalisis y como precursor para la preparación de ZnO [15].

Resultados de los estudios de las propiedades estructurales y morfológicas, y las evaluaciones microbiológicas preliminares del  $ZnO_2$ , sintetizado en la UNI, han sido publicados este año en la revista *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* [16].

Recientemente en los últimos estudios microbiológicos que hemos desarrollado para el

$ZnO_2$  se ha usado como parámetro la Cantidad Mínima Inhibitoria (MIC del término en inglés Minimum Inhibitory Concentration), que es el indicador más utilizado durante décadas, en terapias antimicrobianas en general. La MIC determina la concentración más baja del compuesto en ug/mL (para nuestro caso el  $ZnO_2$ ), que inhibe el crecimiento visible de microorganismos luego de una incubación entre 18 a 24 horas del cultivo. Es entonces posible proyectar que, si el textil se funcionaliza empleando suspensiones con concentraciones de  $ZnO_2$  por encima de la MIC para determinada cepa de un microorganismo, el textil será capaz de inhibir el desarrollo de esa bacteria

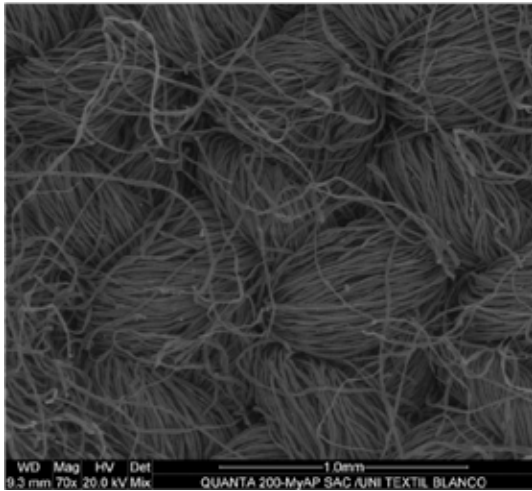
En este trabajo se han determinado los siguientes valores de la MIC para las siguientes cepas:

El textil empleado durante nuestra investigación para la funcionalización ha sido un tejido plano.

Cepas	MIC (ug/mL)
Escherichia coli ATCC 21523	6400000
Candida albicans ATCC90029	3200000
Pseudomona aeruginosa ATCC10145	1600000
Staphylococcus aureus ATCC25923	3200000

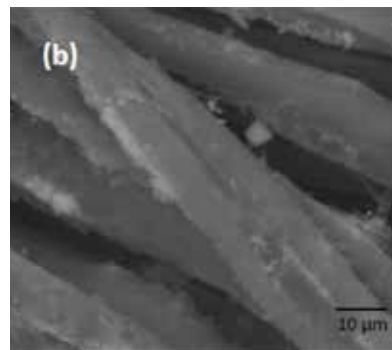
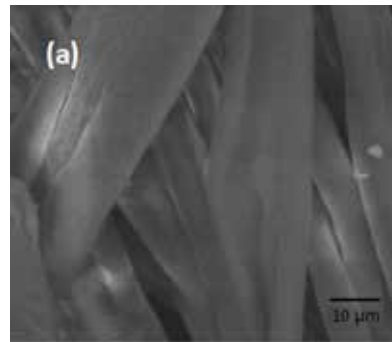
Debemos mencionar que se denomina tejido plano a aquel que se caracteriza porque los hilos se encuentran entrelazados perpendicularmente, este tipo de tejido tienen una diversidad de aplicaciones, una de ellas es su uso en los ambientes hospitalarios, en uniformes del personal, ropa de pacientes y sábanas. La característica sobresaliente de este tipo de tejido es la rigidez a la elongación. La imagen de la figura 2 muestra una micrografía del textil que empleamos para las pruebas de funcionalización.

Figura 2. Imagen de microscopía electrónica del tejido plano empleado en el proceso de



distancia correspondiente a 10 micrómetros (100 micrómetros es aproximadamente el diámetro de un cabello).

Figura 3. Micrografías de dos muestras de tejido plano antes de la funcionalización con



funcionalización con nanopartículas.

Brevemente podemos describir que la síntesis de las nanopartículas de peróxido de zinc procede por una vía húmeda [17], empleando como reactivos de partida el acetato de zinc y el peróxido de hidrogeno. Por medio de técnicas de caracterización estructural y morfológica se ha determinado el tamaño y la forma detallada de estas nanopartículas, como veremos más adelante.

Además, la funcionalización del tejido plano se hizo usando un foulard de impregnación, proceso por el cual la tela es sumergida en una suspensión conteniendo las nanopartículas de  $ZnO_2$ , luego es pasada por rodillos que ejercen una determinada presión sobre la tela, que finalmente es secada a  $80^\circ C$  en una estufa.

La figura 3 muestra las imágenes correspondientes a una muestra de tejido plano antes de la funcionalización (a) y después de la funcionalización (b). Claramente se puede observar, cómo están presentes las nanopartículas de peróxido de zinc, las cuales se encuentran ubicadas superficialmente aglomeradas en zonas que se reconocen como nubosidades blancas en la tela funcionalizada, cabe indicar que la barra horizontal indica la

nanopartículas de peróxido de zinc (a) y después de la funcionalización (b).

Estas nanopartículas, de alrededor de 10 nm de tamaño se presentan agregadas formando estructuras esféricas de un tamaño mucho mayor que es aproximadamente 100 nm. La peculiar morfología de estos conglomerados nanoestructurados nos ha llevado a denominarlos tipo "Blackberry" (mora). La figura 4 muestra un detalle de la tela funcionalizada por medio de un proceso de impregnación empleando una suspensión preparada con 40 g de  $ZnO_2$  en un

litro de agua. En estas condiciones se obtiene un textil en el que no se da el desarrollo de cepas como *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*, además se puede apreciar que las nanopartículas se aglomeran presentando la morfología "Blackberry" a la que hacemos referencia.

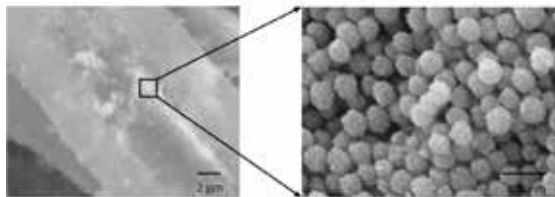


Figura 4. Micrografías de una muestra de tejido plano funcionalizado con nanopartículas. El detalle de la presencia de las nanopartículas muestra la morfología "Black berry" de nanopartículas empleadas.

Los análisis microbiológicos de las telas funcionalizadas se realizaron según el proceso seguido por Ren y colaboradores [18], el cual indica que las telas son ubicadas en placas Petri para ser inoculadas con los microorganismos a las que serán expuestas por 24 horas (figura 5a). Luego las muestras de tela son transferidas a frascos con agua destilada estéril (figura 5b), de donde se tomarán alícuotas de la solución para ser sembradas en placas conteniendo Agar Trypticase de Soya en el que se mantiene por 24 horas a 37°C.

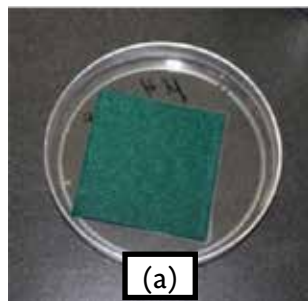


Figura 5. Etapas del proceso de evaluación microbiológica de las telas. (a) Telas impregnadas con la bacteria (b) Solución de lavado

Luego se procede a observar y contar las colonias. La figura 6 muestra los resultados de la siembra de las placas procedentes de dos muestras de tela impregnadas con suspensiones de diferentes concentraciones, y luego sometidas a cepas de *Pseudomonas aeruginosa*. La figura 6a, correspondiente a una concentración de 16 000 µg/mL, muestra la coloración verde que es característica del pigmento que presenta la cepa porque es una tela que no posee propiedad bactericida. Mientras la figura 6b, correspondiente a una concentración de 32 000 µg/mL, es la placa procedente de una tela con propiedades antimicrobiales.

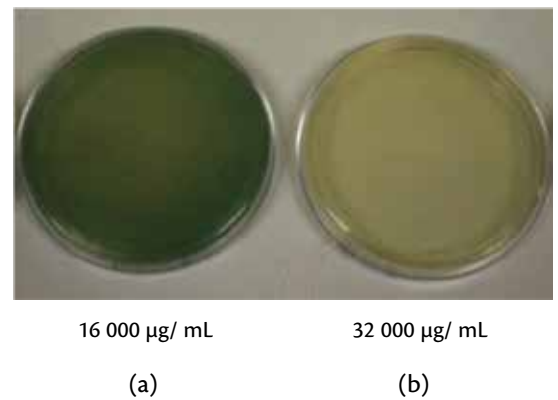


Figura 6. Placas procedentes de las soluciones de lavado de muestras de tela funcionalizadas



con las concentraciones de suspensión de  $ZnO_2$  indicadas (a) se observa crecimiento de las cepas de *Pseudomona aeruginosa*, (b) no se observa crecimiento de las cepas porque la tela posee propiedades bactericidas.

De estos resultados podemos concluir que el  $ZnO_2$  en forma de nanopartículas se comporta como un agente antimicrobiano y antimicótico. Además se han determinado los valores de las MIC para cuatro cepas específicas. Sin embargo, esos valores obtenidos, no son necesariamente los indicadores de las concentraciones de las suspensiones de las nanopartículas a emplear en un proceso de impregnación con foulard, dado que en el  $ZnO_2$  incorporado al textil después de la funcionalización modifica su concentración. Es así que el requerimiento del  $ZnO_2$  en un proceso

de impregnación disminuye hasta en 50 veces la cantidad indicada en la MIC.

El trabajo que actualmente desarrollamos sabemos que es muy importante, ya que estamos contribuyendo en la mejora de los textiles y el mantenimiento de la sanidad en los ambientes hospitalarios, restaurantes u otros lugares que empleen vestimenta de calidad. Por lo pronto es para nosotros una gran satisfacción que este trabajo permita a los estudiantes de pregrado que obtengan sus respectivas tesis de titulación. Además debemos mencionar que esta investigación es multidisciplinario y encontramos una grata experiencia, que sabemos que se convertirá en fortaleza. La figura 7 muestra algunos de los miembros del grupo de trabajo que desarrolla el trabajo de investigación.



Figura 7. Parte de grupo de investigación en el Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil de la UNI (De izquierda a derecha: Ing. Elsa Roca, Ing. Carmen Uribe, Bach. Vanessa Martínez Dra. Mónica Gómez, Bach. Esmeralda Román y Bach. Jessica Álvarez).

## Bibliografía

- [1] I. Perelshtein, G. Applerot, N. Perkas, E. Wehrschetz-Sigl, A. Hasmann, G.M. Guebitz, A. Gedanken, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 1 (2009) 361.
- [2] R. Rahal, M. Le Behec, R. Guyoneaud, T. Pigot, H. Paolacci, S. Lacombe, *Catal. Today* 209 (2013) 134.
- [3] G. Thilagavathi, T. Kannaian, *Indian J. Fibre Text Res.* 33 (2008) 23.
- [4] B. Mahltig, H. Haufe, Böttcher, J. *Mater. Chem.* 15 (2005) 4385.
- [5] B.A. Çakir, L. Budama, Ö. Topel, N. Hoda, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 414 (2012) 132.
- [6] R. Rajendran, C. Balakumar, H.A. Mohammed Ahammed, S. Jayakumar, K. Vaideki, E.M. Rajesh, *International Journal of Engineering, Science and Technology* 2 (2010) 202.
- [7] N.S. Heliopoulos, S.K. Papageorgiou, A. Galeou, E.P. Favvas, F.K. Katsaros, K. Stamatakis, *Surf. Coat. Tech.* 235 (2013) 24.
- [8] J. Ramsden, *Essentials of Nanotechnology in J.R. Ventus (Ed.), 2009.*
- [9] J. Chapman, T. Sullivan, F. Regan, *Nanoparticles in Anti-Microbial Materials The Royal Society of Chemistry, United Kingdom, 2012.*
- [10] C.N.R. Rao, A. Müller, A.K. Cheetham, *The Chemistry of Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, Wiley-VCH, Germany, 2004.*
- [11] G. Editorial, *Grupo de Científicos Peruanos Avanza en el Desarrollo de Textiles Inteligentes, El Comercio. El Comercio, 2013.*
- [12] G. Feng, L. Yang, T. Wang, J. Zhang, T. Lou, *Particuology* 10 (2012) 388.
- [13] T.H. Guo, Y. Liu, Y.C. Zhang, M. Zhang, *Mater. Lett.* 65 (2011) 639.
- [14] B.A. Johnson, F. L. Meleney, *Annals of Surgery* 109 (1939).
- [15] M. Sun, W. Hao, C. Wang, T. Wang, *Chem. Phys. Lett.* 443 (2007) 342.
- [16] R. Colonia, J.L. Solis, M. Gómez, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 5 (2014) 015008.
- [17] R. Colonia, V.C. Martinez, J.L. Solis, M.M. Gómez, *Rev. Soc. Quim. Perú* 79 (2013) 129.
- [18] G. Ren, D. Hu, E.W.C. Cheng, M.A. Vargas-Reus, P. Reip, R.P. Allaker, *Int. J. Antimicrob. Ag.* 33 (2009) 587.

## Agradecimientos:

Los autores agradecemos al Dr. Alec Fischer y la Dra. Gladys Ocharan por los análisis de microscopía electrónica de barrido.

Autores: Carmen Uribe V.,<sup>1</sup> Dora Maurtua T.,<sup>2</sup> Elsa Roca M.,<sup>1</sup> Marco Brañez S.,<sup>1</sup> L. Esmeralda Román,<sup>1</sup> Jessica Alvarez A.,<sup>1</sup> Vanessa Martinez R.,<sup>3</sup> José L. Solis,<sup>3</sup> y Mónica M. Gómez<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Av. Túpac Amaru 210, Lima, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Peruana Cayetano Heredia, Facultad de Ciencias y Filosofía, Av. Honorio Delgado 430, Lima, Perú.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Av. Túpac Amaru 210, Lima, Perú.