

FUNCIONALIZACIÓN DE TEXTILES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN  
ESPACIADOR PARA FIJAR  $\text{TiO}_2$

VICTOR ALFONSO ALVAREZ NIÑO  
BELKYS JOHANA POLO CAMBRONELL



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CATÁLISIS  
BUCARAMANGA

2012

FUNCIONALIZACION DE TEXTILES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN  
ESPACIADOR PARA FIJAR  $\text{TiO}_2$

VICTOR ALFONSO ALVAREZ NIÑO  
BELKYS JOHANA POLO CAMBRONELL

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Químico

Director  
Prof. SONIA AZUCENA GIRALDO DUARTE

Asesor  
Dr. CAMILO CASTRO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CATÁLISIS  
BUCARAMANGA

2012

## DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mí Dios, gracias por brindarme el entendimiento.

A mí madre Míriam Niño Cortes, mí tía Beatríz Niño Cortes y mí hermano Ely Dannier Valbuena Niño, por sus consejos y apoyo durante todos estos años de vida.

Al doctor Jorge Humberto Martínez Téllez, por la confianza brindada y su apoyo incondicional durante el inicio de mí carrera.

A Clara Milena Ortiz Peña por siempre estar sonriendo en los momentos especiales y ofreciéndome su compañía.

A todos mis amigos por esos momentos inolvidables de apoyo y distracción brindados.

VICTOR ALFONSO ALVAREZ NIÑO

## DEDICATORIA

*“No tengas miedo. Yo te he liberado; te he llamado por tu nombre y tú me perteneces.*

*Aunque tengas graves problemas, yo siempre estaré contigo; cruzarás ríos y no te ahogarás, caminarás en el fuego y no te quemarás, porque yo soy tu Dios y te pondré a salvo. Yo soy el Dios santo de Israel”.*

*Isaías 43: 1-4*

*Al dueño de estas palabras que han sido para mí como refrigerio cuando más lo he necesitado.*

*A mis amados padres Milton Polo Gómez y Kettys Cambronell Paba que con su amor, comprensión e incondicional apoyo me han impulsado a creer en mí.*

*A mis hermanas Mónica, Claudia y Jennifer son mis amigas, mis cómplices. Gracias por sus palabras y su amor incondicional.*

*A mis peques Adriana, Sofía, Valentina, Francisco y Lucciana siempre han estado en mi corazón y hacen parte del éxito de esta meta.*

*A Juan Carlos Torrens Claro, este es el primero de los triunfos que compartiremos, porque tú eres para mí como yo soy para ti.*

*A todos mis familiares, amigos, profesores y compañeros, los llevo en el corazón y no olvido sus consejos y buenos momentos vividos.*

*A los que ya partieron, nunca los olvidaré.*

*BELKYS POLO CAMBRONELL*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La universidad Industrial de Santander y a la escuela de Ingeniería Química por los conocimientos transmitidos.

A los profesores Sonia Giraldo y Aristóbulo Centeno<sup>†</sup>, por la oportunidad que nos brindaron de pertenecer al CICAT, por sus enseñanzas, consejos y aportes necesarios para la realización de esta investigación.

A todos los miembros del CICAT por su acompañamiento en el desarrollo de este trabajo de investigación en especial al Doc. Camilo Andrés Castro López, quien con mucha diligencia y amabilidad resolvió muchas de nuestras dudas e hizo grandes aportes a nuestro conocimiento y al estudiante de maestría Edwing Velazco Roza, por acompañarnos en los últimos momentos.

A Dios por su sabiduría, a nuestros familiares, amigos, compañeros y todas aquellas personas que de alguna u otra forma hicieron parte de este proceso, hacemos extensivos nuestros más sinceros agradecimientos.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Materiales y Reactivos.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Modificación de textiles con un espaciador. ....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Funcionalización de los textiles.....	23
2.2.2 Recubrimientos.....	24
<b>2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS TEXTILES.....</b>	<b>24</b>
2.3.1 Microscopía electrónica de barrido y Espectroscopía de energía dispersa de rayos X (SEM) y (EDS). ....	24
2.3.2 Espectroscopía Infrarrojo con Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR).....	24
<b>2.4 EVALUACIÓN FOTOCATALÍTICA.....</b>	<b>25</b>
2.4.1 Cultivo <i>E. coli</i> ATCC 11229.....	25
2.4.2 Prueba de autodesinfección fotocatalítica de <i>E. coli</i> en los textiles .....	25
2.4.3 Estabilidad de los textiles.....	26
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS TEXTILES TRATADOS .....</b>	<b>27</b>
3.1.1 Microscopía de barrido electrónico (SEM) .....	27
(Espectroscopía de energía dispersa de rayos X ) EDS.....	29
3.1.2 Espectroscopía infrarrojo con Reflectancia Total Atenuada (FTIR- ATR).....	30
<b>3.2 Evaluación Fotocatalítica. ....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 Estabilidad de los textiles.....</b>	<b>35</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig 1:</b> Esquema de los procesos redox que se presentan en la interfaz semiconductor-electrolito. ....	18
<b>Figura 2:</b> ilustración del recubrimiento de $\text{TiO}_2$ de acuerdo a a) un recubrimiento ideal y b) recubrimientos (slurry) por fuerzas tipo Dipolo-Dipolo. ....	20
<b>Figura 3:</b> Esquema de la interacción de los espaciadores con la celulosa de los textiles de algodón.....	21
<b>Figura 4:</b> formula química del ácido succínico. ....	21
<b>Figura 6:</b> Imagenes obtenida por SEM de: a) textil de poliéster:algodón 0:100 virgen, b) textil de poliéster:algodón 0:100 recubrimiento por inmersión en $\text{TiO}_2$ (Slurry), c) textil poliéster:algodón 65:35 tratado con el espaciador, d) textil poliéster:algodón 50:50 tratado con ácido succínico, e) textil poliéster:algodón 0:100 tratado con ácido succínico.....	27
<b>Figura 7:</b> Espectro FTIR- ATR de los textiles de algodón a) tratado con espaciador, b) sin ningún tratamiento y c) recubrimiento por inmersión en $\text{TiO}_2$ (Slurry). ....	30
<b>Figura 8.</b> Desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes ( $C/C_0$ ) vs. tiempo de irradiación) de E. coli de textiles poliéster:algodón 65:35 en sus tres usos tratado con ácido succínico y recubrimiento por inmersión en $\text{TiO}_2$ a) con recubrimiento por inmersión en $\text{TiO}_2$ (Slurry) b). ....	32
<b>Figura 9:</b> muestra curva de desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes ( $C/C_0$ ) vs. tiempo de irradiación) de E. coli de textiles poliéster:algodón 50:50 tratado con ácido succínico a) y textiles poliéster:algodón 50:50 con recubrimiento por inmersión en $\text{TiO}_2$ (Slurry) b). ....	33
<b>Figura 10:</b> muestra la curva de desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes ( $C/C_0$ ) vs. tiempo de irradiación) de E. coli de textiles poliéster:algodón 0:100 tratado con ácido Succínico a) y textiles poliéster:algodón 0:100 con recubrimiento por inmersión en $\text{TiO}_2$ (Slurry) b). ....	34
<b>Figura 10: evaluación fotocatalítica después del lavado extremo, 18h.....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes en peso de los elementos encontrados en la muestra caracterizada mediante la técnica SEM-EDS.....	29
Tabla 2: Tiempos de desinfección efectivos a 24 horas (TDE <sub>24</sub> ). .....	43

## **ANEXOS**

ANEXO A. Tiempos de desinfección efectivos (TDE24) para los textiles tratados con ácido succínico +TiO <sub>2</sub> y TiO <sub>2</sub> slurry.....	43
--	----

## RESUMEN

**TITULO:** FUNCIONALIZACION DE TEXTILES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN ESPACIADOR PARA FIJAR  $\text{TiO}_2$ .\*

**AUTORES:** VICTOR ALFONSO ALVAREZ NIÑO, BELKYS POLO CAMBRONELL.\*\*

**PALABRAS CLAVES:**  $\text{TiO}_2$ , textiles, *E. coli*, Espaciador, Acido Succínico, Fotocatálisis heterogénea, estabilidad, auto-desinfectante.

En el presente trabajo de investigación se realizó recubrimientos de textiles poliéster:algodón (65:35, 50:50 y 0:100) con  $\text{TiO}_2$  Degussa (P-25) pre-tratados con un espaciador (un ácido carboxílico), para llevar a cabo la inactivación de *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC 11229 a una concentración alrededor de ( $10^6$ - $10^8$ ) UFC/mL, verificando las propiedades de auto-desinfección conferidas a los textiles.

El espaciador usado fue el ácido Succínico por su resistencia a los radicales o especies oxidantes generadas por la foto-actividad de  $\text{TiO}_2$  durante la auto-desinfección en largos periodos de tiempo y su estabilidad térmica.

Los resultados de este pre-tratamiento dejan como evidencia que es una técnica adecuada para la obtención de materiales modificados, facilitando la adhesión del  $\text{TiO}_2$  sobre su superficie mediante la funcionalización de los textiles; mostrando un mejor desempeño en cuanto la estabilidad del recubrimiento presente en el textil a través de sus usos, una mejor distribución sobre el área superficial del textil e incrementando la foto-actividad bajo radiación de luz solar simulada. Dando como resultado que la foto-actividad está directamente relacionada con la cantidad de algodón presente en el tejido. Ya que a mayor cantidad de celulosa, mayor grupos (-OH) disponibles para interactuar con los grupos carboxílicos libres del espaciador. Como pruebas de caracterización se realizaron SEM y FTIR-ATR a los textiles para observar la superficie del recubrimiento y la presencia de grupos funcionales Ester en los textiles.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ing. Físico-Químicas. Escuela de Ing. Química.  
Prof. Sonia A. Giraldo. Dr. Camilo Castro.

## ABSTRACT

**TITLE:** FABRIC FUNCTIONALIZATION BY USING AN SPACER TO FIX TIO<sub>2</sub>.\*

**AUTORS:** VICTOR ALFONSO ALVAREZ NIÑO, BELKYS POLO CAMBRONELL. \*\*

**Key Words:** TiO<sub>2</sub>, fabrics, *E. coli*, Spacer, Succinic acid, Heterogeneous photocatalysis, Stability, Self-disinfection.

In the present research was conducted coatings polyester fabric: cotton (65:35, 50:50 and 0:100) with TiO<sub>2</sub> Degussa (P-25) pre-treated with an spacer (carboxylic acid), to conduct the inactivation of *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC 11229 at a concentration around (10<sup>6</sup>-10<sup>8</sup>) CFU / mL, verifying the self-disinfecting properties conferred to the textile.

The spacer Succinic acid was used for resistance to radicals or oxidizing species generated by the photo-activity of TiO<sub>2</sub> during the self-disinfection in a long period of time and thermal stability.

The results of this pre-treatment evidence that it is a suitable technique for obtaining modified materials, facilitating the adhesion of TiO<sub>2</sub> on its surface by functionalization of textiles, showing better performance in terms of the stability of the coating present on the fabric through their uses, better distribution on the fabric surface area and increasing the photo-activity under simulated sunlight radiation. Resulting photo-activity that is directly related to the amount present in the cotton fabric. Since a the greater amount of cellulose, most groups (-OH) available to interact with free carboxylic groups of the spacer As characterization tests were performed SEM and FTIR-ATR to the fabrics to observe the coating surface and ester functional groups present on fabrics.

---

\*Grade proyect

\*\*Facultad de Ing. Físico-Químicas. Escuela de Ing. Química.  
Prof. Sonia A. Giraldo. Dr. Camilo Castro.

## INTRODUCCIÓN

La fotocatalisis heterogénea (FH) ha demostrado ser una de las estrategias más inofensivas con el medio ambiente y efectivas para complementar los actuales procesos de desinfección basados en la cloración. Por lo tanto la fotocatalisis ambiental, incluyendo la purificación del aire, desinfección del agua, aplicación antibacteriana y de auto-limpieza, han logrado mucha atención en los últimos años. La fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  se presenta como una alternativa promisoría, esta consiste en irradiar el semiconductor con luz UV para generar especies reactivas oxidantes (ROS) como los radicales hidroxilo, superóxido y peróxido, ( $\text{HO}_2^{\bullet}$ ,  $\text{HO}^{\bullet}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) capaces de mineralizar moléculas orgánicas e inactivar microorganismos. Con este fin el  $\text{TiO}_2$  se ha inmovilizado sobre diferentes superficies como son: Vidrio, PET, fibra de Vidrio, textiles, y otros. [1,2,4].

Un textil autodesinfectante es aquel que tiene la capacidad de inactivar diferentes microorganismos patógenos que se adhieran a su superficie. Estos textiles son el resultado de fijar física o químicamente  $\text{TiO}_2$  en la superficie de diferentes tejidos como el algodón, poliéster o nylon entre otros, y su funcionamiento es sencillo: en presencia de luz UV una cantidad de electrones ( $e^-$ ) de la banda de valencia del semiconductor adherido al textil, pasaran a la banda de conducción; simultáneamente, en presencia de aire o agua se formaran mediante reacciones de óxido-reducción, especies altamente oxidantes capaces de provocar daños a la membrana celular y, en consecuencia, inactivar los microorganismos que han sido inoculados en el textil.

En estudios recientes se ha encontrado que el  $\text{TiO}_2$  inmovilizado por métodos físicos presentan una alta actividad fotocatalítica, pero los textiles pierden un gran

porcentaje de fotocatalizador en su manipulación, impidiendo que sean textiles estables y tengan efectos a largo plazo de durabilidad. [4-5].

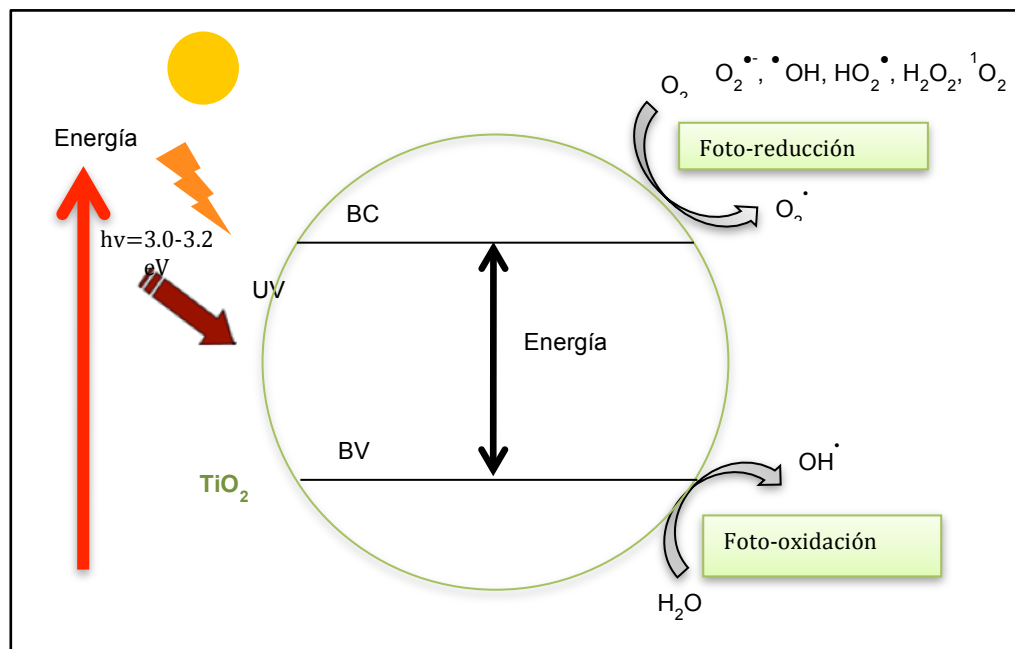
De acuerdo con lo anterior, y con el fin de contribuir en el desarrollo de nuevos materiales autodesinfectantes, el objetivo principal de este trabajo es la funcionalización de textiles con diferentes relaciones de poliéster:algodón usando un espaciador para fijar el  $\text{TiO}_2$ , y evaluar la estabilidad del textil realizando la autodesinfección de *E. coli* bajo radiación solar simulada a  $250 \text{ W/m}^2$ . Como pruebas de caracterización se realizaron SEM y FTIR-ATR a los textiles para observar la superficie del recubrimiento y la presencia de grupos funcionales Ester en los textiles. Se comprobó que el incremento en la fotoactividad y la estabilidad de los textiles tratados con espaciador están directamente relacionadas con la cantidad de algodón presente en el tejido.

## 1. MARCO TEÓRICO

La modificación de textiles se realiza por medio del aprovechamiento del potencial de la fotocatalisis para prevenir la proliferación de microorganismos por contacto o ingestión, diversos estudios sobre la inmovilización del  $\text{TiO}_2$  en fibras de algodón y poliéster han conducido al desarrollo de textiles autodesinfectantes [3,7,8].

El  $\text{TiO}_2$  tiene una banda prohibida (band gap) que se encuentra entre 3,02-3,23 eV (según si su estructura cristalina es rutilo o anatasa, respectivamente), por tal motivo el  $\text{TiO}_2$  solo puede aprovechar del 3- 5% de la intensidad de luz solar, que corresponde a la zona ultravioleta cercana (UV-A), cuyas longitudes de onda ( $\lambda$ ) son menores a los 400 nm [17,18].

**Figura 1:** Esquema de los procesos redox que se presentan en la interfaz semiconductor–electrolito.

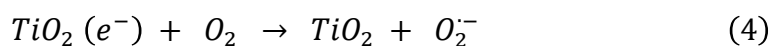
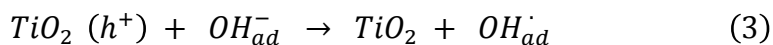


Fuente: CEDEÑO[16].

El principio básico de la FH con  $\text{TiO}_2$  ocurre cuando un fotón con una energía  $h\nu$  que iguala o supera la energía de la banda prohibida ( $E_g$ ) del  $\text{TiO}_2$  incide sobre éste (Fig.1), es aquí donde se promueve un electrón ( $e^-$ ), de la banda de valencia (BV) a la banda de conducción (BC), quedando en la primera estados vacíos o huecos (Ec. 1) [19]. En esta situación, se produce una absorción de estos fotones y la formación, de pares electrón-hueco ( $e^-/h^+$ ).

El par ( $e^-/h^+$ ) portador de carga puede provocar reacciones químicas redox que se presentan en la superficie del sólido excitado o en la región interfacial entre el sólido excitado y la solución, los huecos fotogenerados dan lugar a las reacciones de foto-oxidación, mientras que los electrones de la banda de conducción dan lugar a las reacciones de foto-reducción (Fig. 2) [20-21].

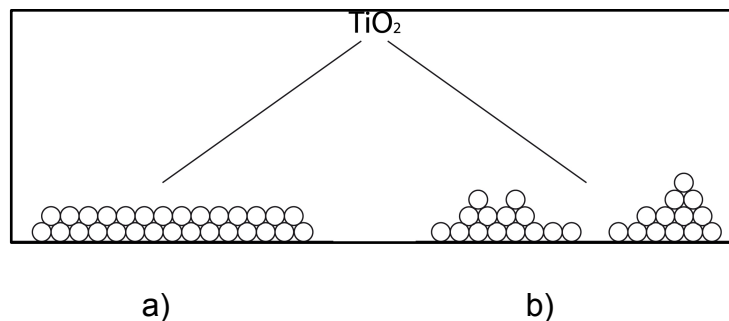
Los huecos fotogenerados al reaccionar con el agua (Ec. 2) o con iones hidroxilo  $\text{OH}^-$  (Ec. 3), producen los radicales  $\text{OH}^\bullet$ , muy reactivos sobre la superficie del semiconductor que posteriormente reaccionan con los compuestos orgánicos presentes en el agua. Por otro lado, los electrones ( $e^-$ ) pueden generar radicales  $\text{OH}^\bullet$  al reaccionar con oxígeno molecular para generar el radical superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) que también puede actuar en la oxidación de materia orgánica y de bacterias (Ec. 4) [22- 23].



Los productos de las reacciones redox (radical hidroxilo, peróxido de hidrógeno, superóxido) (ROS) pueden provocar graves daños sobre diversos microorganismos [24-25]. Las ROS son capaces de romper o dañar células, funciones virales o estructuras de las mismas provocando así la inactivación de numerosos microorganismos. [24-25].

En estudios recientes se ha encontrado que el  $\text{TiO}_2$  inmovilizado por métodos físicos donde las partículas solidas se adhieren al textil por fuerzas de tipo dipolo-dipolo presentan una alta actividad fotocatalítica, pero los textiles pierden un gran porcentaje de fotocatalizador en cada uso, impidiendo que sean un sistema estable compuesto y tengan efectos a largo plazo de durabilidad. [4-5].

**Figura 2:** ilustración del recubrimiento de  $\text{TiO}_2$  de acuerdo a a) un recubrimiento ideal y b) recubrimientos (slurry) por fuerzas tipo Dipolo-Dipolo.



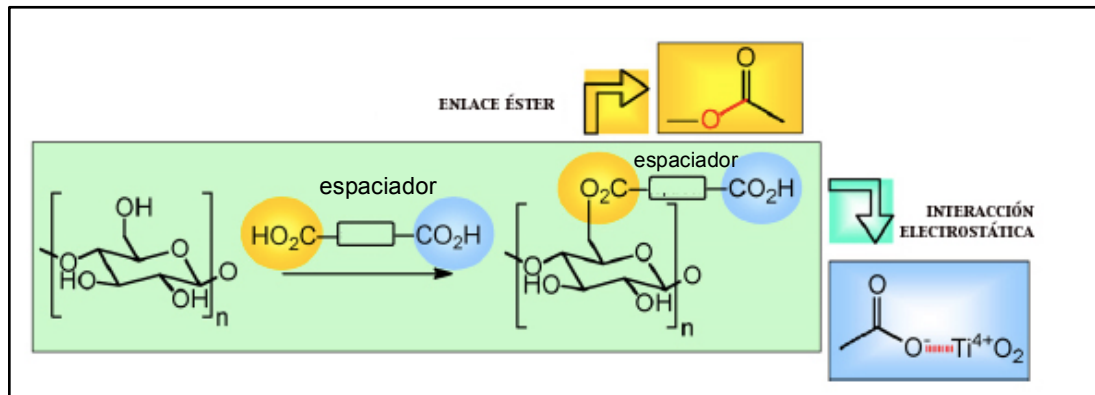
Fuente: L. Lim, [4].

Existen diferentes técnicas de inmovilización para mejorar la estabilidad de los recubrimientos entre las cuales está el uso del complejo  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  por método Sol-Gel. Mejía reportó que este método mejoró la estabilidad y actividad fotocatalítica confirmando dependencia del tiempo de inmersión del sustrato, es decir largos tiempos de inmersión y apariencia del textil poco uniforme [6].

La estabilidad se considera la capacidad que adquieren los textiles para mantener sus propiedades de autodesinfección mediante la evaluación fotocatalítica a través de sus usos.

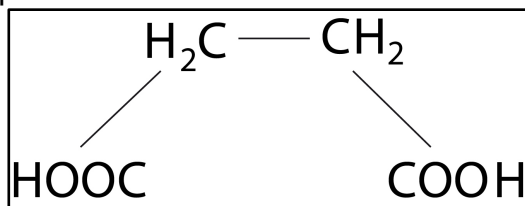
El método de espaciadores surge como una alternativa para el mejoramiento de la estabilidad de los textiles. El mecanismo de reacción de este método consiste en que se introduce un espaciador en la estructura del textil formando un enlace éster covalente (Figura 3). debido a la esterificación de un grupo carboxílico del espaciador (Figura 4) con un grupo hidroxilo de la celulosa presente en el textil (Fig 5). En presencia de un catalizador ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) que aumente la intensidad de la banda de carbonilo del éster al realizar el tratamiento con altas temperaturas  $> 170^\circ\text{C}$  [14-15-26].

**Figura 3:** Esquema de la interacción de los espaciadores con la celulosa de los textiles de algodón.



Fuente: YURANOVA, T [26].

**Figura 4:** fórmula química del ácido succínico.

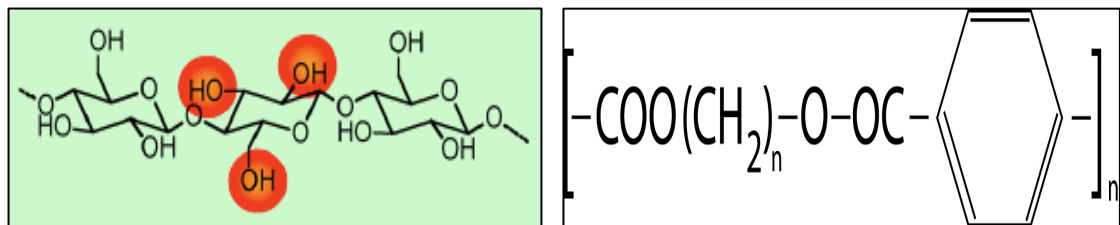


Fuente: YURANOVA, T [26].

La acción del espaciador consiste en que este debe tener al menos dos grupos carboxílicos libres para con el primer grupo ser capaz de unirse al algodón y con el segundo unirse al  $\text{TiO}_2$ , Estudios demuestran estas fuertes interacciones del  $\text{TiO}_2$  con grupos carboxílicos. [10,12].

Meilert propone una funcionalización del textil de algodón con ácidos carboxílicos para decolorar parcial o totalmente las manchas de vino, café y maquillaje. Encontró que el ácido carboxílico que mas presentaba uniones con los grupos hidroxilos de la celulosa es el ácido succínico y la unidad repetitiva del poliéster :

**Figura 5:** a) Estructura de la celulosa y b) unidad repetitiva del poliéster.



a)

b)

Fuente: YURANOVA, T [26].

El ácido Succínico es un ácido orgánico saturado. Como espaciador es resistente a los radicales o especies oxidantes generados por la foto-actividad de  $\text{TiO}_2$  durante la auto-desinfección por largos periodos de tiempo. Además, presenta buena estabilidad térmica, que es necesaria debido a que se utilizan temperaturas de hasta  $200\text{ }^\circ\text{C}$  durante la unión del espaciador al textil [13,26].

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En esta sección se presenta la metodología usada para la modificación de textiles mediante funcionalización con espaciador e impregnación superficial de  $\text{TiO}_2$ , así como las pruebas de caracterización y la evaluación fotocatalítica realizadas para analizar las propiedades autodesinfectantes de los textiles modificados.

### 2.1 Materiales y Reactivos

Los textiles escogidos fueron diferentes proporciones de poliéster:algodón (65:35, 50:50 y 0:100). Fabricato Tejicondor, (distribuidor Raturbay, Bucaramanga). Como espaciador en la funcionalización de los textiles se usó ácido succínico *PS* ( $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ , Panreac Síntesis) y como catalizador en la reacción de esterificación (Figura 3)  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (fosfato diácico de potasio, Merck). Para el recubrimiento de los textiles (*slurry*) la suspensión se llevó a cabo con  $\text{TiO}_2$  comercial (Degussa P-25). Para el cultivo de la *E. coli* se empleó como medio nutritivo Luria Bertani (LB): (LB: 1g de triptona (Oxoid); 0,5g de extracto de levadura (Oxoid) y 1 g de NaCl (Carlo Erba); En la siembra y conteo de las unidades formadoras de colonia sobrevivientes (UFC) se empleó Agar Recuento, (AR; Merck). Todos los experimentos se realizaron con agua destilada.

### 2.2 Modificación de textiles con un espaciador.

#### 2.2.1 Funcionalización de los textiles

Las muestras de textiles vírgenes (como sale de fabrica) de  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  fueron sumergidas en una solución acuosa de ácido succínico 0,06g/L en presencia de 0,04g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  por 1h en agitación (440 rpm). Después fueron secados por 3 min a  $90^\circ\text{C}$ , y tratados con alta temperatura por 2 min a  $190^\circ\text{C}$ .

### **2.2.2 Recubrimientos**

Las muestras de textiles funcionalizadas se llevaron a una suspensión acuosa de TiO<sub>2</sub> 5 g/L, a 75°C por 30 min en constante agitación. Después de los 30 min de inmersión los textiles fueron secados a 100°C por 15 min y se les realizó un baño ultrasónico por 4 min (35 Hz) para desprender las particular débilmente adheridas. Se secaron nuevamente las telas a 60°C por 60 min.

Como muestra de control se realizó la inmersión de textiles vírgenes en suspensión de TiO<sub>2</sub> 5 g/L (*Slurry*) a temperatura ambiente por 30 min

## **2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS TEXTILES.**

### **2.3.1 Microscopía electrónica de barrido y Espectroscopía de energía dispersa de rayos X (SEM) y (EDS).**

Para evaluar la superficie de los textiles, se empleó un microscopio de barrido electrónico FEI Quanta™ FEG modelo 650, compuesto por tres detectores que se clasifican en imágenes de electrones secundarios, electrones retrodispersados y analizador de EDS. Este equipo operado a bajo vacío cuenta con una resolución de 3.0 nm a 30 kV y 10 nm a 3 kV y con una capacidad de magnificar imágenes de 6 a 1'000.000 x cuadrados.

### **2.3.2 Espectroscopía Infrarrojo con Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR)**

Esta técnica se realizó con el fin de observar la aparición de enlaces éster y grupos carboxilos, confirmando así la funcionalización del textil. Para ello, las muestras fueron irradiadas con un haz de luz (láser de Ne-He) con una longitud de onda entre los 6000 y 500 cm<sup>-1</sup>; con el fin de que el textil no sufriera ningún daño se utilizó una celda ATR (*Attenuated Total Reflectance*) equipada con un cristal ZnSe que funciona bien para la mayoría de sustancias orgánica e inorgánicas. El equipo usado para realizar la espectroscopía fue un Bruker modelo Tensor 27 FTIR complementado con Platinum ATR Bruker y el tratamiento de los

datos se realizó con el programa Bruker OPUS (*Optical User Software*) *Data Collection*.

## 2.4 EVALUACIÓN FOTOCATALÍTICA

### 2.4.1 Cultivo *E. coli* ATCC 11229

La cepa bacteriana usada como microorganismo modelo fue *E. coli* ATCC 11229. Una perla CRYOBANK™ que contiene la colonia bacteriana se inoculó en 6 ml de medio nutritivo Luria Bertani diluidos en 100 mL de agua destilada) y se incubaron durante 8 h a 35°C con agitación constante, en condiciones aeróbicas. El caldo de cultivo resultante se adicionó a 25 mL de LB fresco y se dejó en incubación durante 15 h a las mismas condiciones de agitación y temperatura hasta alcanzar la fase estacionaria de crecimiento del microorganismo. Seguidamente, una alícuota del cultivo resultante se centrifugó a 3100 rpm durante 15 min; se recuperó el *pellet* de biomasa el cual se lavó dos veces con solución salina previamente esterilizada y se suspendió en solución salina. La concentración final del microorganismo fue  $10^6$ - $10^8$  Unidades formadoras de Colonias/mL (UFC/mL).

### 2.4.2 Prueba de autodesinfección fotocatalítica de *E. coli* en los textiles

Muestras del textil modificado de 3X3 cm<sup>2</sup> fueron contaminados con el microorganismo en una concentración alrededor de  $10^6$ - $10^8$  UFC y fueron irradiadas a 250W/m<sup>2</sup> en una cámara de radiación solar simulada Suntest (CPS + ATLAS), que está equipada con una lámpara de Xenón que emite radiaciones entre 300 y 800 nm, de la cual un 7% corresponde a irradiación UV-A (300-400 nm), y con control de temperatura. Periódicamente, muestras de textil fueron retiradas de la cámara, para analizar la efectividad de la radiación sobre los microorganismos.

Como muestras de control, se realizaron ensayos de inactivación de *E. coli* en los textiles sin pretratamiento, sin TiO<sub>2</sub> y en oscuridad.

Finalmente para realizar el conteo de las bacterias sobrevivientes, los microorganismos fueron removidos de los textiles previamente retirados de la luz UV y tratados mediante diluciones seriadas. Finalmente, los microorganismos se sembraron en AR y conteo en placa por microgota.

Por otra parte, se determinó el tiempo de desinfección efectivo TDE<sub>24</sub> que corresponde al tiempo mínimo al que deben irradiarse los textiles contaminados con *E. coli*, para que después de un periodo de 24 h en oscuridad no se evidencie el recrecimiento de la bacteria.

### **2.4.3 Estabilidad de los textiles**

Con el fin de comprobar la estabilidad de los textiles funcionalizados, se tomó una muestra de textil modificado ya evaluada fotocatalíticamente tres veces, se le realizó un lavado extremo que consiste en simular las condiciones de un lavado en maquina industrial, con un aspa plástica y constante agitación por un tiempo de 18 h. Terminado el lavado se evaluó el textil como se describe en la sección 2.4.2. para analizar su estabilidad después de los usos y del lavado.

Un uso corresponde a la primera evaluación (Sección 2.4.2), después se somete a un enjuague y enseguida a un baño sonificado y por ultimo se seca la muestra de textil por 1h a 60°C y se vuelve a evaluar su capacidad fotobactericida.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

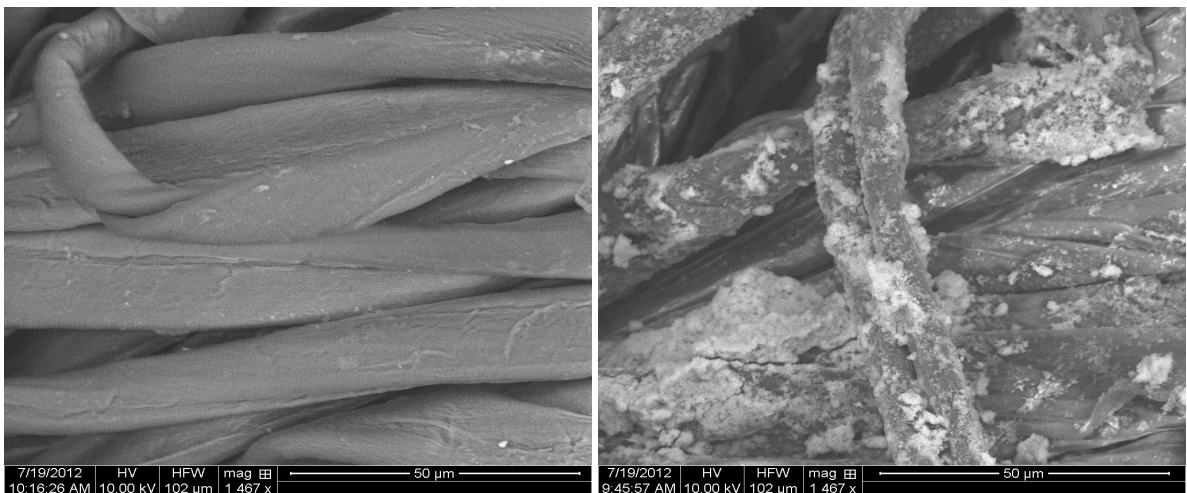
En esta sección se presenta los resultados obtenidos en las pruebas experimentales. Los caracterizaciones de SEM, EDS y FTIR-ATR; La inactivación de *E Coli.* sobre textiles con diferentes proporciones de poliéster:algodón modificados con ácido succínico para fijar  $\text{TiO}_2$  y prueba de estabilidad a los textiles para comprobar su actividad autodesinfectante.

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS TEXTILES TRATADOS

##### 3.1.1 Microscopia de barrido electrónico (SEM)

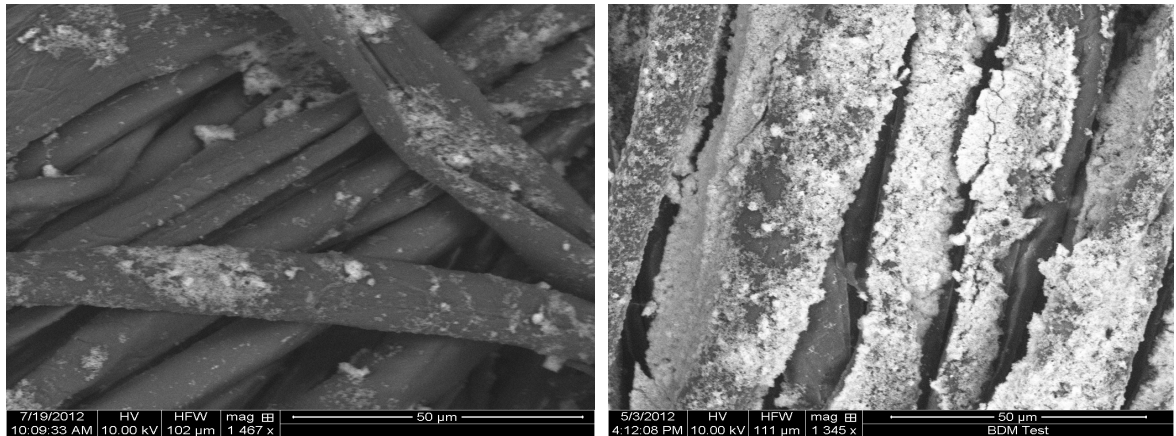
En la figura 6) se presenta el análisis de SEM que muestra la distribución del recubrimiento sobre la superficie de los textiles.

**Figura 6:** Imagenes obtenida por SEM de: a) textil de poliéster:algodón 0:100 virgen, b) textil de poliéster:algodón 0:100 recubrimiento por inmersión en  $\text{TiO}_2$  (Slurry), c) textil poliéster:algodón 65:35 tratado con el espaciador, d) textil poliéster:algodón 50:50 tratado con ácido succínico, e) textil poliéster:algodón 0:100 tratado con ácido succínico.



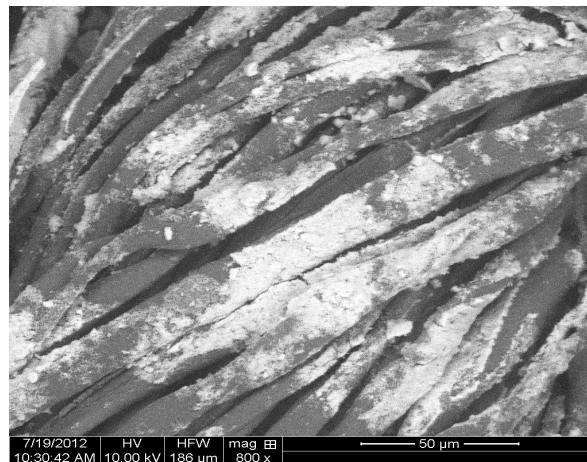
a)

b)



c)

d)



e)

Fuente: autores

La Fig. 6 a) muestra la imagen del textil virgen, el cual presenta una superficie uniforme y evidentemente limpia. La Fig. 6 b) muestra una distribución poco uniforme con aglomeraciones de  $\text{TiO}_2$ , debido a las interacciones tipo dipolo-dipolo, que consiste en la atracción electrostática entre las moléculas del semiconductor, 6c) como era de esperarse la cantidad de  $\text{TiO}_2$  presente en el textil es pequeña, debido a que el espaciador se une a la celulosa presente en el algodón. 6d) presenta una superficie más uniforme y se evidencian menos aglomeraciones, en este textil la cantidad de celulosa del algodón es superior. Se

infiere que la cantidad de celulosa presente en el algodón influye directamente con la cantidad de  $TiO_2$  que se une por efecto del espaciador. 6e) se observa el fotocatalizador con una distribución uniforme sobre la superficie del textil, sin presencia de aglomeraciones. También debido a la cantidad de algodón presente.

**(Espectroscopía de energía dispersa de rayos X ) EDS.**

En la Tabla 1 se presenta el análisis EDS

**Tabla 1.** Porcentajes en peso de los elementos encontrados en la muestra caracterizada mediante la técnica SEM-EDS

MUESTRA	%peso C	%peso O	%peso Ti	TOTAL
a	47,21	52,79	-	100
b	24,4	41,83	33,77	100
c	31,05	44,10	24,85	100
d	18,79	36,40	44,81	100
e	20,02	41,15	38,83	100

Fuente: autores

La muestra a) corresponde al textil poliéster:algodón 0:100 sin recubrimiento, muestra b) poliéster:algodón 0:100 por inmersión en  $TiO_2$  (*Slurry*), c) poliéster:algodón 65:35 tratada con el ácido succínico, d) poliéster:algodón 50:50 tratada con ácido succínico y e) poliéster:algodón 0:100 tratada con ácido succínico.

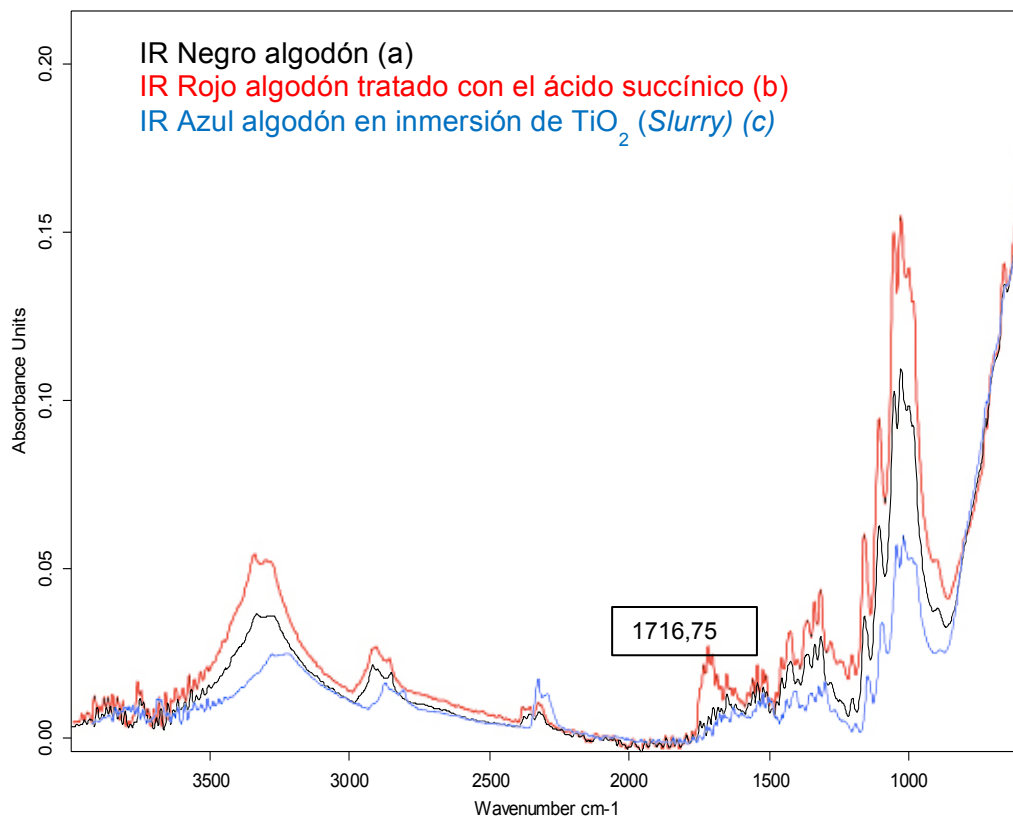
Con esta prueba se confirma la presencia de Ti en las muestras de textil y la proporción en la que se encuentra.

Esta prueba muestra también la presencia de C y O; que depende de la naturaleza del textil (poliéster:algodón).

### 3.1.2 Espectroscopia infrarrojo con Reflectancia Total Atenuada (FTIR- ATR).

En la Fig. 7 se presenta el espectro FTIR-ATR característico de las muestras de textiles de algodón tratadas con el ácido succínico.

**Figura 7:** Espectro FTIR- ATR de los textiles de algodón a) tratado con espaciador, b) sin ningún tratamiento y c) recubrimiento por inmersión en  $\text{TiO}_2$  (Slurry).



Fuente: autores

En la Fig 7 se presenta el espectro FTIR-ATR característico de las muestras de textiles de algodón donde se confirma la funcionalización, por la formación de enlaces éster entre los grupos hidroxilos de la celulosa y los espaciadores.

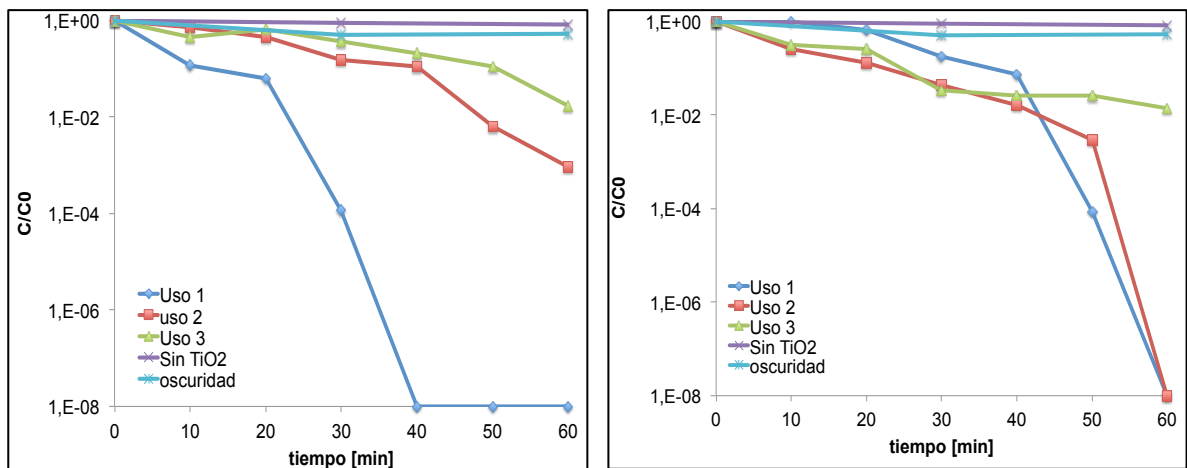
El espectro a) para el textil de algodón, se observan las vibraciones típicas de las celulosa: -OH  $3332,01\text{ cm}^{-1}$  y  $1000\text{ cm}^{-1}$  debido a los niveles de vibración de los oligosacáridos presentes en el algodón. El espectro IR para el textil b) muestra un ancho de banda de  $1716,75\text{ cm}^{-1}$  de la función carbonilo (-C=O) del éster formado entre el ácido succínico y el algodón después del tratamiento, confirmando la funcionalización del textil. El espectro c) en  $3332,01\text{ cm}^{-1}$  se encuentran los -OH característicos del tejido con una menor absorbancia por lo que podemos inferir que las cargas propias del textil se están neutralizando por las cargas del semiconductor que se adhiere.

Para los espectros b) y c) se presenta la banda característica del  $\text{TiO}_2$  a  $634\text{cm}^{-1}$ , esto permite confirmar que en los textiles de poliéster:algodón 0:100 y 50:50 se logra el soporte del  $\text{TiO}_2$ .

### **3.2 Evaluación Fotocatalítica.**

En las Fig. 8, 9 y 10 se presenta los resultados de desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes ( $C/C_0$ ) vs. tiempo de irradiación) de *E Coli* en los textiles con diferentes relaciones de poliéster:algodón, funcionalizados y recubiertos con  $\text{TiO}_2$ , recubiertos por inmersión (*Slurry*) y sus respectivas muestras de control con una radiación simulada a  $250\text{ W/m}^2$ .

**Figura 8.** Desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes ( $C/C_0$ ) vs. tiempo de irradiación) de *E. coli* de textiles poliéster:algodón 65:35 en sus tres usos tratado con ácido succínico y recubrimiento por inmersión en  $TiO_2$  a) con recubrimiento por inmersión en  $TiO_2$  (*Slurry*) b).



a)

b)

Fuente: autores

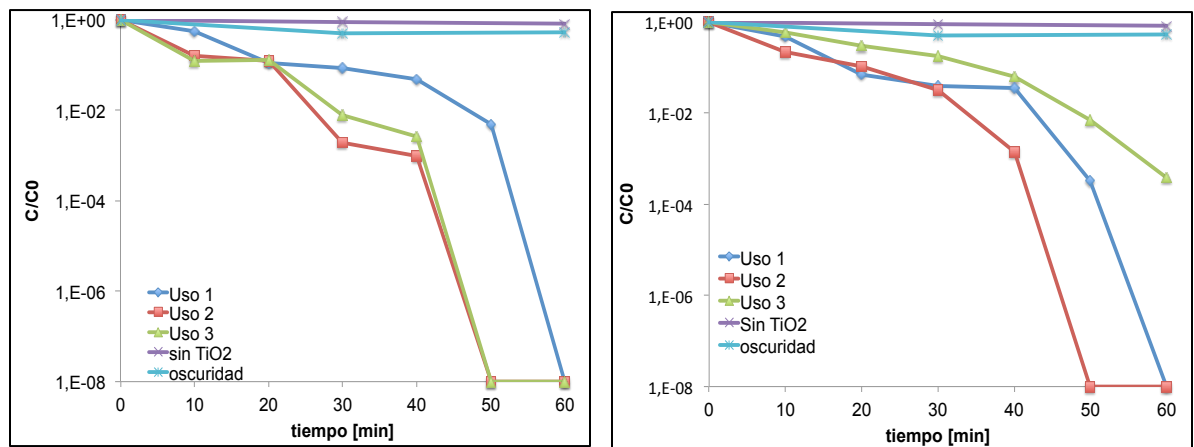
Fig 8. a) muestra los resultados de la evaluación fotocatalítica de textiles de poliéster:algodón 65:35 tratados con ácido succínico, se observa que en el primer uso el textil logra desactivar los microorganismos a 40 min, las cinéticas entre curvas es muy distinta una de la otra, ya en el segundo y tercer uso se observa que el textil no logra la desactivación bacteriana durante los 60 min de irradiación solar simulada.

Se infiere que a pesar de la funcionalización del textil, la cantidad de  $TiO_2$  adherido no es suficiente para generar un textil estable que tenga efectos a largo plazo de durabilidad debido al bajo porcentaje de celulosa presente en el tejido, verificado previamente en nuestro laboratorio.

La actividad y la cinética del primer uso se debe a la cantidad de  $TiO_2$  adherida físicamente.

En la Fig. 8 b) el textil poliéster:algodón 65:35 con inmersión en  $\text{TiO}_2$  (*Slurry*), se observa la desactivación de *E. coli* en el primer y segundo uso a 60 minutos debido a la formación de aglomerados que aumentan la cantidad de fotocatalizador adherida, no quiere decir que haya mayor área superficial, sino, como se demostró en estudios previos desarrollados por Mejía [6]; a mayor cantidad de recubrimiento hay mayor pérdida de masa, por lo que al segundo uso aun había suficiente fotocatalizador para realizar la desactivación del microorganismo. Y es evidente en el tercer uso la pérdida de fotoactividad.

**Figura 9:** muestra curva de desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes ( $C/C_0$ ) vs. tiempo de irradiación) de *E. coli* de textiles poliéster:algodón 50:50 tratado con ácido succínico a) y textiles poliéster:algodón 50:50 con recubrimiento por inmersión en  $\text{TiO}_2$  (*Slurry*) b).



**a)**

**b)**

Fuente: autores

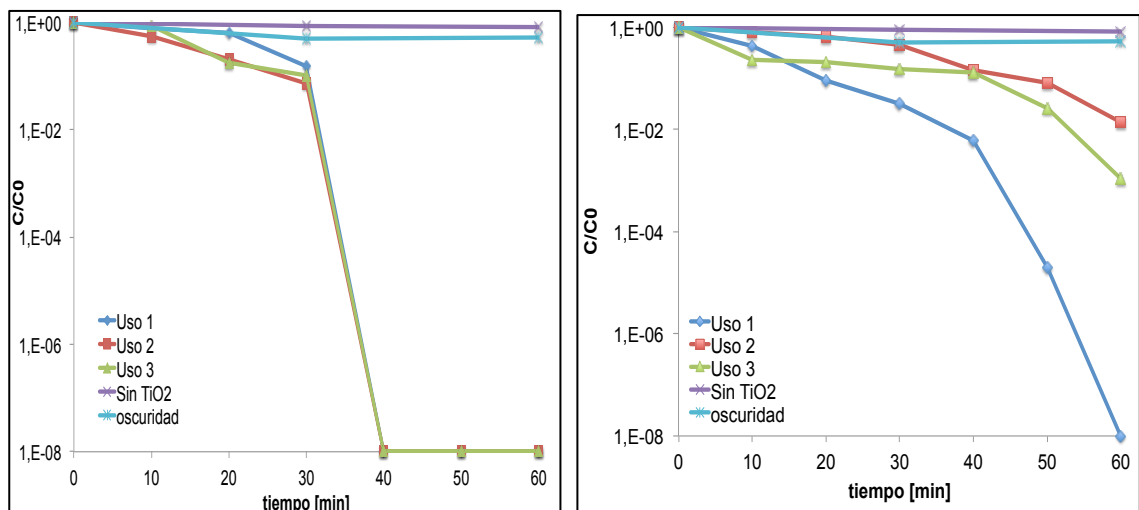
En la figura 9 a) se observa inactivación de los microorganismos a los 60 min para los usos 1. En los usos 2 y 3 uso se presenta desactivación a los 60 min, con igual cinética. Esta baja diferencia puede ser debida a que al haber una mayor cantidad de celulosa en el textil habrán más radicales ( $-\text{OH}$ ) libres que se unirán al espaciador. De esta forma, es posible que se genere una mejor distribución del

TiO<sub>2</sub> que se enlaza para dar como resultado una mejor fotoactividad y estabilidad al textil, como se refleja en la Fig. 5 d.

En la figura 9 b) con inmersión de TiO<sub>2</sub> (*Slurry*), se observa la desactivación de *E. coli* en el primer uso a 60 min y segundo uso a 50 min y con cinéticas parecidas. En el tercer uso no se observa inactivación a los 60 min.

Se considera que no hubo una mejora en la propiedad autodesinfectante del textil debido a que las cinéticas iguales lo demuestran.

**Figura 10:** muestra la curva de desinfección (fracción de bacterias sobrevivientes (C/C<sub>0</sub>) vs. tiempo de irradiación) de *E. coli* de textiles poliéster:algodón 0:100 tratado con ácido Succínico a) y textiles poliéster:algodón 0:100 con recubrimiento por inmersión en TiO<sub>2</sub> (*Slurry*) b).



a)

b)

Fuente: autores

La Fig 10 a) muestra los resultados de la evaluación fotocatalítica de textiles de poliéster:algodón 0:100 tratados con el espaciador, se observa inactivación del microorganismo a los 40 min hasta en el tercer uso, demostrando la mejor fotoactividad y estabilidad del textil obtenida en la experimentación, esto es debido a la mejor distribución del TiO<sub>2</sub> unido al espaciador por sus grupos carboxílicos

libres [-COOH] que a su vez se enlaza en mayor relación a los radicales -OH de la celulosa del textil que en este caso es de (~98%).

En la Fig 10 b) con inmersión *Slurry*, por su parte se observa muerte a los 60 min en el primer uso, después de esto pierde estabilidad y fotoactividad, se cree que es debido a que las interacciones electrostáticas fuertes se dan entre TiO<sub>2</sub> y los grupos carboxílicos [-COOH] y no con los radicales -OH de la celulosa.

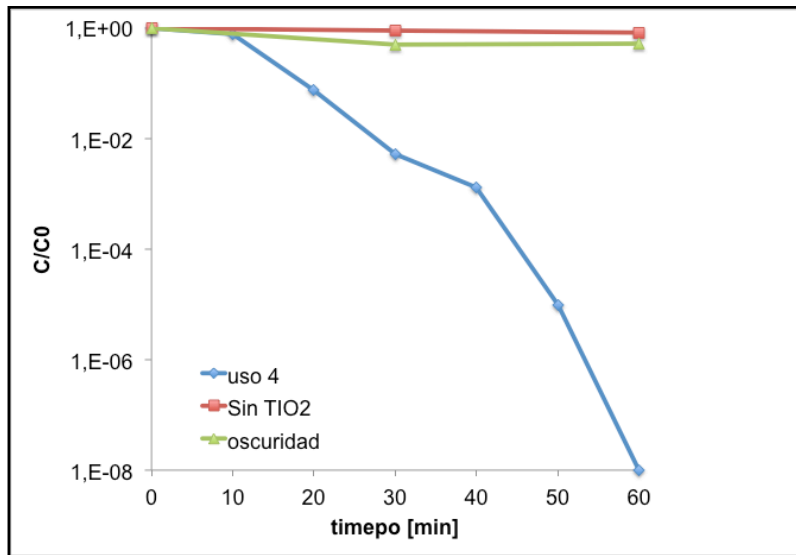
Las curvas de control (oscuridad y sin TiO<sub>2</sub>), demuestran que la actividad presente en cada uno de los textiles se debe únicamente a la acción del fotocatalizador TiO<sub>2</sub> activado por la radiación solar simulada. Y se atribuye la inactivación de *E. coli* a la formación de especies oxidantes como el radical hidroxilo (OH<sup>•</sup>) que se forman en la reacción de desinfección.

Al funcionalizar el textil es evidente que se mejora la inmovilización del TiO<sub>2</sub> y la distribución del recubrimiento, a diferencia de los textiles llevados a inmersión de TiO<sub>2</sub> (*slurry*), mejorando así sus propiedades fotoactivas.

### **3.3 Estabilidad de los textiles.**

En la Fig 10 se muestra la evaluación fotocatalítica después del lavado extremo por 18 h. Esta prueba se realizó a los textiles poliéster:algodón 50:50 tratada con el espaciador para corroborar la estabilidad del textil conferida por este tratamiento.

**Figura 10: evaluación fotocatalítica después del lavado extremo, 18h.**



Fuente: autores

En la Fig. 10 se observa muerte del microorganismo a los 60 min. puesto que el textil fue llevado a condiciones extremas de lavado, 18 h. Asumiendo que este lavado equivale a 18 usos. El textil se evaluó previamente tres veces, por consiguiente, el textil tiene 21 usos.

Se puede inferir que a pesar de no tener la máxima cantidad de algodón, la celulosa presente en este textil es suficiente para la formación de enlaces ester que generen un textil estable a los usos y al lavado manteniendo su actividad fotocatalítica (propiedad de autodesinfección).

## CONCLUSIONES

La funcionalización de textiles mediante la utilización de ácido succínico para fijar  $\text{TiO}_2$  produjo recubrimientos con una mejor distribución sobre el área superficial del textil mejorando la fotoactividad bajo radiación de luz solar simulada a  $250 \text{ W/m}^2$  en la desinfección de *E. coli* y proporcionando mayor estabilidad al textil.

El incremento en la fotoactividad y la estabilidad de los textiles tratados con espaciador están directamente relacionadas con la cantidad de algodón presente en el tejido. Esto se atribuye a que a mayor cantidad de celulosa, mayor grupos ( $-\text{OH}$ ) disponibles para interactuar con los grupos carboxílicos libres del espaciador.

## RECOMENDACIONES

Realizar la modificación del  $\text{TiO}_2$  con plata (Ag) o cobre (Cu) con el objetivo de ampliar la absorción de luz hacia el rango visible del espectro mejorando su fotoactividad, y por ende mostrando un mejor desempeño en la desinfección de *E. coli*, adicionalmente esta fotoactividad se verá favorecida por la acción bacteriostática de la Ag capaz de inhibir el crecimiento bacteriano incluso en ausencia de luz UV y visible.

Por otra parte, es necesario realizar otras pruebas de estabilidad a los textiles con diferentes proporciones de poliéster:algodón usados en este proyecto para determinar su vida útil.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. N. Chong, B. Jin, W.K. Chow, C. Saint, Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review, *Water Res.*, 44 (2010) 2997-3027.
- [2] O. Seven, B. Dindar, S. Aydemir, D. Metin, M. A. Ozinel, S. Icli, Solar photocatalytic disinfection of a group of bacteria and fungi aqueous suspensions with TiO<sub>2</sub>, ZnO and Sahara desert dust, *J. Photochem. Photobiol. A*, 165 (2004) 103-107.
- [3] Darka Mihailovic, Zoran aponjic, Marija Radoicic, Tamara Radetic, Petar Jovancic, Jovan Nedeljkovic, Maja Radetic, Functionalization of polyester fabrics with alginates and TiO<sub>2</sub> nanoparticles, *Carbohydrate Polymers*, 79 (2010) 526-532.
- [4] L.L.P. Lim, R.J. Lynch , S.-I. In. Comparison of simple and economical photocatalyst immobilisation procedures. *Applied Catalysis A: General* 365 (2009) 214–221
- [5] K. Venkata Subba Rao, Machiraju Subrahmanyamb, Pierre Boule, Immobilized TiO<sub>2</sub> photocatalyst during long-term use: decrease of its activity, *Appl. Catal. B*, 49 (2004) 239-249.
- [6] M.I. Mejía, J.M. Marín, G. Restrepo, L.A. Rios, C. Pulgarín y J.Kiwi. Preparation, testing and performance of a TiO<sub>2</sub>/polyester photocatalyst for the degradation of gaseous methanol *Appl. Catal. B: Environmental* 94,166 (2010).
- [7] C. Castro, R. Sanjines, C. Pulgarin, P. Osorio, S.A. Giraldo, J. Kiwi. Structure–reactivity relations for DC-magnetron sputtered Cu-layers during

*E. coli* inactivation in the dark and under light.

[8] T. Yuranova, A.G Rincon, C Pulgarin, D. Laub, N. Xantopoulos, H-J Mathieu, J. Kiwi. Performance and characterization of Ag-cotton and Ag/TiO<sub>2</sub> loaded textiles during the abatement of *E. coli*. *Journal of photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 216 (2010) 295-302

[9] K.T. Meilert , D. Laubb, J. Kiwi. Photocatalytic self-cleaning of modified cotton textiles by TiO<sub>2</sub> clusters attached by chemical spacers. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 237 (2005) 101–108.

[10] F. Campus, P. Bonhote, M. Grätzel, S. Heinen, L. Walder, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 56 (1999) 281–297.

[11] M. Dhananjeyan, J. Kiwi, K. Thampi, *Chem. Commun.* (2000) 1443–1444.

[12] M. Dhananjeyan, E. Mielczarski, K. Thampi, Ph. Buffat, M. Bensimon, A. Kulik, J. Mielczarski, J. Kiwi, *J. Phys. Chem. B.* 105 (2001) 12046–12055.

[13] S.R. Karmarkar, *Chemical Technology in the Pretreatment Processes of Textiles*, Elsevier, Amsterdam, 1999.

[14] Charles Q. Yang,\* Dongzhong Chen,† Jinping Guan, and Qingliang He. *Department of Textiles, Merchandising and Interiors, The University of Georgia; Athens, Georgia 30602.*

[15] Zhiping Mao, Charles Q. Yang. IR spectroscopy study of cyclic anhydride as intermediate for ester crosslinking of cotton cellulose by polycarboxylic acids. V. Comparison of 1,2,4-butanetricarboxylic acid and 1,2,3-propanetricarboxylic acid. *Journal of Applied Polymer Science* Volume 81, Issue 9, pages 2142–2150, 29

August 2001.

[16] CEDEÑO, Verónica. Estudio de degradación de Lignina asistida por fotoconductores  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{BiMoO}_6$  y  $\text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$  impurificados con Nitrógeno en presencia de energía UV y visible. Michoacán. 2011. Tesis de grado (Maestra en ciencias en Ingeniería Ambiental). Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. Facultad de Ingeniería Química.

[17] Michael K. Seery, Reenamole George, Patrick Floris, Suresh C. Pillai. Silver doped titanium dioxide nanomaterials for enhanced visible light photocatalysis. En : Journal of Photochemistry and Photobiology. No.189 (2007). 258–263 p.

[18] CASTRO, Camilo. Development of photocatalysts for disinfecting water photocatalytic helium. Codopado doped and titanium dioxide.. Bucaramanga. 2011. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander.

[19] REYES, Sonia. Evaluación del efecto de las variables de síntesis de  $\text{TiO}_2$  en fase líquida sobre su fotoactividad. Bucaramanga, 2009. Tesis de Grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Disponible en línea en el catálogo de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/>>.

[20] GARCÍA RIPOLL, Ana. Aumento de biodegradabilidad y eliminación de plaguicidas en efluentes acuosos mediante métodos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar). Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. ISBN 978-84-691-6259-0.

[21] CLEMENTE, Jaime Pey. Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. Valencia. 2008. [Tesis de grado]. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera.

[22] CASTRO, Camilo. Transition metal modifications on TiO<sub>2</sub>: Development of materials for the photocatalytic disinfection of water. Bucaramanga. 2010. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Químicas.

[23] GÓMEZ, Diana y MORENO, Liliana. Influencia de la plata como dopante del TiO<sub>2</sub> en procesos fotocatalíticos. Bucaramanga, 2010. Tesis de Grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Disponible en línea en el catálogo de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander: < <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/>>.

[24] M.A. Fox y M.T. Dulay. "Heterogeneous Photocatalysis". Chemical Reviews. Vol 93. 1993. Pp 341-357.

[25] M.R. Hoffmann, S. T. Martin, W. Choi and D.W. Bahnemann, "Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis". Chemical Reviews. Vol 95. 1995. Pp 69-96.

[26] T. Yuranova, D. Laub, J. Kiwi. Synthesis, activity and characterization of textiles showing self-cleaning activity under daylight irradiation. Catalysis Today 122 (2007) 109–117.

## ANEXOS

**ANEXO A.** Tiempos de desinfección efectivos (TDE<sub>24</sub>) para los textiles tratados con ácido succínico +TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> slurry.

En la tabla 2 se muestran los tiempos de desinfección efectivos para los textiles con recubrimientos de TiO<sub>2</sub> tratados con espaciador y por inmersión *Slurry* bajo radiación solar simulada de 250 W/m<sup>2</sup>.

Los textiles poliéster:algodón (0:100) y (50:50) tratados con el espaciador presentan mejores tiempos de desinfección efectivo que los textiles tratados con TiO<sub>2</sub> *Slurry*

**Tabla 2:** Tiempos de desinfección efectivos a 24 horas (TDE<sub>24</sub>).

Fotocatalizador	Tipo de textil	TDE <sub>24h</sub> (min)		
		Uso 1	Uso 2	Uso 3
Con espaciador	65:35	40	NA*	NA*
	50:50	50	50	60
	0:100	40	40	40
<i>Slurry</i>	6:35	60	60	NA*
	50:50	50	60	NA*
	0:100	60	NA*	NA*

Fuente: autores

\* No se alcanzó