

Uso de Nanopartículas de ZnO en Tejidos de Algodón para Mejorar sus Propiedades de Protección Ultravioleta

Gabriel F. Salas

Carrera de Ingeniería Química

Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
gabriel.salas@epn.edu.ec

Víctor H. Guerrero

Laboratorio de Nuevos Materiales,
Departamento de Materiales

Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
victor.guerrero@epn.edu.ec

Nelly M. Rosas

Laboratorio de Materiales
Cerámicos, Departamento de
Materiales

Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
nelly.rosas@epn.edu.ec

Abstract—Las nanopartículas de ZnO son capaces de potenciar las capacidades físicas de los textiles convencionales, en diversas áreas como las protecciones UV y antimicrobiana. Se sintetizaron nanopartículas de ZnO por el método de Pechini variando el tiempo y la temperatura de calcinación. Estas nanopartículas fueron caracterizadas a través de difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) habiéndose obtenido 100% de ZnO en forma de zincita y con un diámetro efectivo mínimo de aproximadamente 23 nm, con una calcinación a 700°C durante 3 h. Estas nanopartículas se adhirieron a tejidos de algodón utilizando el método pad-dry-cure y otro con isopropanol. La adherencia del material nanoparticulado en las telas se evaluó mediante análisis elemental (EDS) y FTIR. La lona Gaby prelavada impregnada por el método de isopropanol mostró la mejor adherencia. Las propiedades de protección UV de los tejidos adheridos en general resultaron ser muy buenas de acuerdo a los valores de transmisión obtenidos. La evaluación de la resistencia al lavado de las telas impregnadas mostró una disminución drástica de la concentración de nanopartículas. Las telas impregnadas arrojaron un resultado negativo en la evaluación de sus propiedades antimicrobianas. No se tuvo una clara inhibición de los microorganismos de prueba utilizados.

Keywords—nanopartículas; ZnO; caracterización; adherencia; textiles; algodón; lavado; permanencia; protección

I. INTRODUCCIÓN

La investigación y el uso de nanomateriales han atraído mucho interés debido a su pequeño tamaño (1-100 nm) y a las nuevas estructuras que exhiben propiedades biológicas, físicas, químicas, significativamente mejoradas y en comparación con sus precursores moleculares [1]. Las nanopartículas presentan una actividad mucho mayor que las partículas de mayor tamaño debido principalmente a su mayor área superficial, que a su vez les confieren propiedades físicas y químicas únicas [2]. Las nanoestructuras son capaces de potenciar las propiedades físicas de los textiles convencionales, en áreas tales como las propiedades anti-microbianas, repelencia al agua, la resistencia al ensuciamiento, anti-estática,

propiedades de anti-infrarrojo y retardante de llama, capacidad de teñido, la solidez del color y resistencia de los materiales textiles [3].

El ZnO por su parte ha sido ampliamente utilizado como catalizador, sensor de gas, material farmacéutico, recubrimiento antirreflejo, electrodo transparente para células solares, varistor, protector UV, entre otros. Adicionalmente, las nanopartículas de ZnO se incluyen en productos de cuidado personal tales como pasta de dientes, productos de belleza, protectores solares y textiles y asimismo por sus propiedades antisépticas, se usa para los tratamientos de la piel [4]. Además, el ZnO se utiliza actualmente como agente antimicrobiano en formulaciones a micro y a nanoescala. Numerosos informes indican una alta actividad para las partículas de menor tamaño que aquellas más grandes, debido a la alta relación área superficial a volumen, la cual proporciona una gran área superficial para la interacción con las paredes celulares de las bacterias [5].

A nivel de la industria textil, la degradación de los productos textiles constituye uno de los mayores retos con los que se debe lidiar. Las formulaciones químicas textiles por lo general suelen ser susceptibles a sufrir, entre otras cosas, una degradación microbiana, que puede alterar sus propiedades y producir efectos indeseados, como mal olor, ranciedad o decoloración y muy probablemente, el deterioro de las fibras y los tejidos.

Hay una creciente tendencia hacia el uso de tejidos antibacterianos en la forma de ropa o paños médicos, en prendas de protección y en colchas; con el objetivo de que permitan minimizar por ejemplo la posibilidad de infecciones intrahospitalarias. Recientemente, el aumento de la preocupación pública sobre la higiene ha estado conduciendo muchas investigaciones para la modificación antimicrobiana de textiles. Sin embargo, el uso de muchos agentes antimicrobianos se ha evitado debido a sus posibles efectos nocivos o tóxicos. La aplicación de nanopartículas inorgánicas y sus nanocompuestos podría avizorarse como una buena alternativa y en consecuencia, pueden abrir una nueva

oportunidad para la modificación anti-microbiana y multifuncional de los textiles [6].

Las nanopartículas de ZnO ofrecen efectivas propiedades fotocatalíticas una vez que son iluminadas por la luz por lo que son empleadas para impartir propiedades de auto-limpieza y anti-bacteriana a los textiles. Los rendimientos funcionales en textiles requeridos por los consumidores incluyen actividad antibacteriana, protección UV, auto-limpieza y liberación de manchas [7].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Síntesis de Nanopartículas de ZnO

Se sintetizaron las nanopartículas de ZnO mediante el método de Pechini. Para ello se utilizaron: acetato de zinc dihidratado como precursor, ácido cítrico como agente quelante, los cuales dieron paso a la formación del quelato metálico; y etilenglicol como solvente, en una relación molar metal/ácido cítrico/etilenglicol igual a 1/4/16. Para ajustar el pH se utilizó hidróxido de amonio [8]. Las variables del proceso fueron los tiempos y las temperaturas del proceso de calcinación del producto obtenido de la síntesis. Se trabajó a las temperaturas de 600, 700 y 800 °C y para tiempos de 3 y 6 horas para cada caso, de acuerdo con las condiciones sugeridas en [4], [9] y [10].

B. Caracterización Física y Química de las Nanopartículas Sintetizadas

Para caracterizar las nanopartículas obtenidas de las diferentes pruebas de síntesis, se realizaron: ensayos de difracción de rayos X (DRX) para caracterizar la estructura tridimensional e identificar la composición química, microscopía electrónica de barrido (MEB) para caracterizar la morfología, y dispersión dinámica de luz (DLS) para determinar el tamaño de partícula. Adicionalmente se realizaron análisis de espectroscopía FTIR para determinar la analogía del espectro de ZnO comercial con respecto al de las nanopartículas sintetizadas.

C. Evaluación de la Adhesión de las Nanopartículas a Tejidos de Algodón

Para la adhesión de las nanopartículas se utilizaron 4 tipos diferentes de tejidos 100% algodón que diferían en el gramaje y en el tipo de ligamento: lienzos “Michelle” crudo y “Primavera” y lona “Gaby” crudo y prelavada. Una parte de las telas fue sometida a un proceso de adhesión por el primer método, otra parte al segundo método de adhesión, y un tercer grupo se utilizó como grupo control, es decir no se sometió a ninguna adhesión de nanopartículas. Asimismo, dentro de las telas impregnadas, una parte de las mismas se sometió a un proceso de lavado, mientras otras permanecieron sin ser sometidas a este proceso.

Se evaluaron dos métodos de adhesión. El primer método denominado pad-dry-cure, de acuerdo a [11]. Este método consiste en sumergir un pedazo de tejido durante 5 o 10 min en una solución que contenía 2% de óxido de zinc y 1% de aglutinante acrílico. Posteriormente, el tejido con la solución de nanopartículas se pasó a través de una calandra acolchada y se

curó por 3 minutos a 140°C. Para remover las nanopartículas que no se adhirieron adecuadamente se sumergió el tejido por 5 minutos en una solución de 2 g/L de laurisulfato de sodio. Para evaluar luego la adhesión de las nanopartículas, el tejido se enjuagó 10 veces para eliminar completamente toda la solución de jabón y se secó al ambiente por 24 horas.

Para el segundo método de adhesión se tomó como referencia la metodología sugerida por [12]. Las muestras de tejido se sumergieron durante 10 minutos en una dispersión del 5% en peso de nanopartículas de óxido de zinc en isopropanol, con agitación magnética constante. Para evaluar posteriormente la adherencia y eliminar el exceso de dispersión se escurrió el tejido y se secó en una estufa a 130°C durante 15 minutos. Los tejidos tratados se lavaron con un jabón neutro y la etapa de secado se llevó a cabo sobre una superficie plana horizontal.

Para evaluar la adherencia de las nanopartículas cualitativamente se realizó una constatación visual a través de análisis por MEB para determinar la presencia de las nanopartículas adheridas al tejido de algodón [12]. Como una referencia semi-cuantitativa se empleó la opción de microanálisis elemental EDS, que permitió determinar la cantidad relativa de Zn a lo largo de una grilla de tamaño definido. Además se reforzó el análisis cuantitativo a través de la evaluación de las propiedades de protección UV y antimicrobianas que presentaren los tejidos, considerando que se puede evidenciar la mayor o menor presencia de las nanopartículas a través de los efectos que éstas brinden. Finalmente se realizaron análisis FTIR a las telas impregnadas y no impregnadas para determinar la presencia de ZnO en las mismas.

Para evaluar la durabilidad de la adhesión se realizaron pruebas de durabilidad al lavado con el tejido obtenido. Para esto se lavó el tejido con una solución de jabón neutro a 40°C durante 30 minutos, manteniendo una relación de licor de 1:50. A continuación se enjuagó, y secó sobre una superficie plana horizontal. Posteriormente, se repitieron los análisis realizados para la evaluación de la adherencia descritos anteriormente.

D. Evaluación de las Propiedades de Protección UV y Antimicrobianas y de los Tejidos Adheridos

La evaluación de las propiedades de protección UV de los tejidos con nanopartículas se realizó mediante espectroscopía de absorción utilizando un espectrofotómetro UV-VIS Genesys 10s UV-Vis. Se compararon los perfiles UV de tejidos no tratados con los espectros de los tejidos con nanopartículas. La eficacia de apantallamiento de la radiación se evaluó mediante la medición de la absorción UV, la transmisión y la reflexión. Los datos de transmisión se utilizaron para calcular la UPF (factor de protección ultravioleta) y el porcentaje de transmisión UV [12].

La evaluación de las propiedades antimicrobianas se realizó mediante la comparación del crecimiento de microorganismos entre el tejido original (tejido de control) y el tejido tratado con las nanopartículas y su objetivo fue determinar la actividad bacteriostática de los materiales textiles a ser evaluados. Se validó la técnica utilizada y se analizó la totalidad de la población de telas disponible, realizándose las pruebas respectivas con sus paralelas. Se

utilizó un método de difusión en agar y como inóculo caldos de cultivo de los microorganismos de prueba *Staphylococcus epidermidis* y *Klebsiella pneumoniae*.

El agar se dispuso sobre cajas petri estériles y se sembraron los microorganismos sobre la superficie de las placas de agar. Los tejidos tratados con las nanopartículas y los tejidos de control se presionaron en el centro del cultivo, para adherir los microorganismos al tejido. Finalmente, las placas se incubaron a 37°C durante 24 horas. La formación de una zona claramente delimitada que interrumpe el crecimiento microbiano creada alrededor de la muestra indica la actividad antibacteriana de dicha muestra [11]. Además se comprobó la estabilidad de las propiedades antimicrobianas de los tejidos realizando el mismo procedimiento de evaluación de estas propiedades después de las diferentes pruebas de lavado.

III. RESULTADOS

A. Síntesis y Caracterización de las Nanopartículas de ZnO

De acuerdo a los análisis de DRX llevados a cabo en el LEMAT de la ESPOL, se obtuvo 100% de ZnO en la forma de Zincita. Los análisis de MEB por su parte constataron la presencia de los elementos Zn y O, lo que permitió afirmar que están presentes, probablemente en la forma de ZnO.

El análisis de DLS arrojó como resultado un menor diámetro efectivo de 22,8nm para las condiciones de síntesis de 700°C durante 3 horas de calcinación.

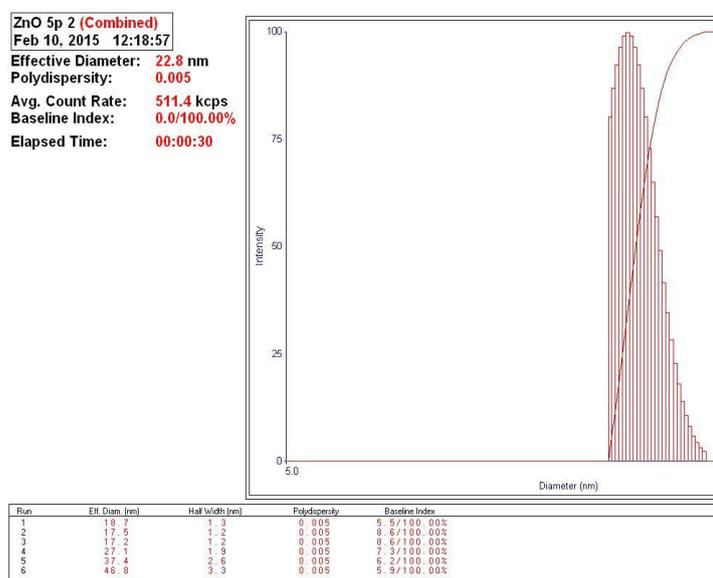


Fig. 1. Intensidad vs. diámetro de partícula para la síntesis a las condiciones de 700°C y 3 horas de calcinación

Para los análisis de FTIR se obtuvieron como resultado los respectivos espectros para cada síntesis, se normalizaron las curvas, se suavizó y corrigió la línea base. Finalmente se compararon los espectros obtenidos con respecto al espectro de ZnO comercial para establecer la correlación de

coincidencia entre los picos que permitiera verificar la existencia efectiva de ZnO.

Para todas las síntesis se obtuvo un coeficiente de correlación mayor a 0,97, siendo el mayor coeficiente de correlación obtenido el de la síntesis de condiciones 600°C y 3 horas, que tuvo un valor de 0,99, cuya gráfica comparativa con el ZnO comercial se muestra a continuación. Estos valores obtenidos se consideran como aceptables y se comprueba que para todas las síntesis realizadas se obtuvo efectivamente ZnO.

Las condiciones de operación que correspondieron a los mejores resultados en cuanto a tamaño de las nanopartículas fueron 700°C y 3 horas. En cuanto a la composición más pura de ZnO las condiciones de 600°C y 3 horas de calcinación fueron las que presentaron los mejores resultados. Sin embargo se considera más imperante el tamaño de partícula obtenido, por lo cual se consideró trabajar para sintetizar la totalidad de las nanopartículas necesarias para la impregnación posterior con las condiciones correspondientes a 700°C y 3 horas.

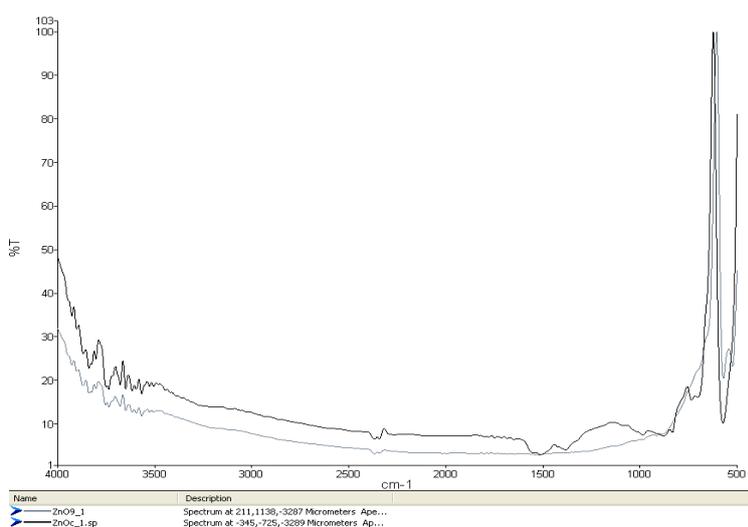


Fig. 2. Análisis FTIR comparativo de una muestra de ZnO correspondiente a las condiciones de calcinación de 600°C durante 3 horas, con respecto a una muestra de ZnO comercial

B. Evaluación de los Métodos de Adhesión de las Nanopartículas de ZnO

De acuerdo a la opción EDS de análisis elemental de Zn dentro del análisis de MEB, la tela del tipo Lona Gaby prelavada obtuvo el mayor porcentaje de Zn (84,1%), y aún después de ser sometida al proceso de lavado alcanzó igualmente el mayor valor de porcentaje de Zn para las telas lavadas (71,7%).

Comparando entre los mismos tipos de tela impregnados por métodos diferentes, el método de isopropanol presentó los mejores resultados en cuanto a adherencia de las nanopartículas para la mayoría de las telas evaluadas.

Al analizarse el porcentaje de reducción del porcentaje de Zn la tela del tipo Lienzo Primavera impregnada por el método de isopropanol presenta la reducción más drástica en su porcentaje de Zn después del lavado y por ende se dice que esta impregnación se dio de manera muy superficial, reduciéndose en gran manera la cantidad de ZnO impregnado inicialmente.

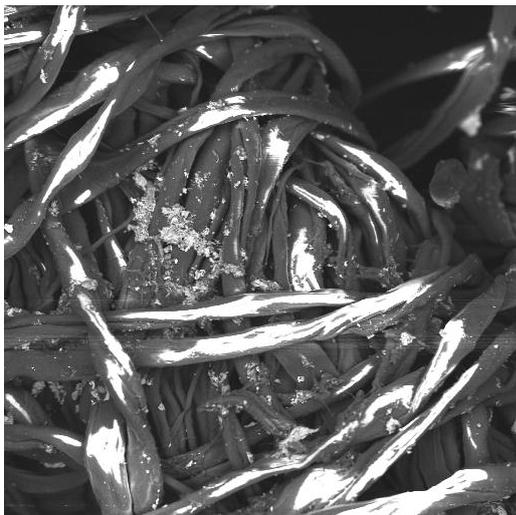


Fig. 3. Micrografía de la muestra 32, correspondiente a una lona Gaby prelavada, con impregnación de nanopartículas de ZnO por el método de isopropanol. Condiciones de la micrografía: 20,0 kV; 500X; WD=200mm.

Para el análisis FTIR realizado a las telas, el espectro obtenido para cada tela impregnada se comparó con el espectro de las telas sin impregnación y al resultado de restar los picos del primer espectro con respecto al segundo se comparó con el espectro de la muestra correspondiente a las nanopartículas sintetizadas de ZnO.

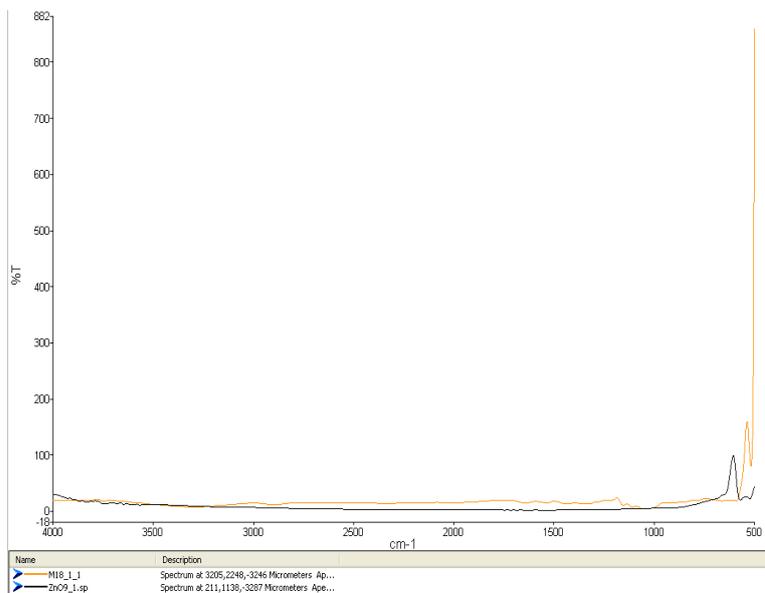


Fig. 4. Comparación de espectros FTIR de la tela 18, correspondiente al tipo lienzo Michelle crudo, restada, con respecto a la muestra 9 de las nanopartículas sintetizadas de ZnO, calcinadas a 700°C y 3h.

El mejor resultado para todas las telas evaluadas lo obtuvo la tela del tipo Lona Gaby prelavada, impregnada por el método de isopropanol que no se sometió al proceso de lavado, con un valor de coeficiente de correlación de 0,89; llegando así a ser considerada esta tela como la de mayor capacidad de adherencia de las nanopartículas.

La impregnación por el método de isopropanol obtuvo valores más altos de coeficientes de correlación y por lo tanto mejores resultados de adherencia respecto al método pad-dry-cure. Aún para el caso de las telas lavadas, la tela que presentó el mayor coeficiente de correlación fue una tela impregnada por el método de isopropanol, con un valor de 0,75.

La tela que presentó el menor valor de coeficiente de correlación de entre las telas lavadas y a su vez para todas las telas ensayadas, con un valor de 0,16 fue impregnada por el método de pad-dry-cure. Lo que da a entender que independientemente de que la adhesión podría o no haber sido efectiva al inicio, al final resultó en ser de carácter superficial al punto de no poder resistir adecuadamente en cuanto a permanencia de las nanos hasta el final del proceso de lavado.

C. Evaluación de las Propiedades de Protección UV

Para la evaluación de las propiedades UV de los tejidos de algodón con nanopartículas de óxido de zinc se realizaron análisis de espectroscopía de absorción utilizando un espectrofotómetro Genesys 10s UV-Vis. Se obtuvieron en éste equipo los respectivos perfiles UV de tejidos no tratados, tanto para la absorción como para la transmisión.

Para todas las gráficas de transmitancia se pudo observar una forma de curva ascendente. La transmisión para todas las telas es menor para las longitudes de onda más bajas correspondientes al inicio del espectro UVB, es decir de 290 a 315nm y va aumentando conforme aumenta la longitud de onda del espectro UVA, es decir de 315 a 400 nm.

TABLA I. T_{UVA} , T_{UVB} , T_{UVR} Y UPF DE VARIAS MUESTRAS ANALIZADAS POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS

Tela	Transmitancia/UPF			
	T_{UVA} media	T_{UVB} media	T_{UVR} media	UPF
14	0,06	0,01	0,07	18,56
16	0,06	0,01	0,07	20,12
46	0,02	0,01	0,03	63,52
47	0,06	0,01	0,07	23,33
48	0,06	0,01	0,07	22,54

En la mayoría de los casos se consiguieron transmisiones T_{UVR} medias inferiores al 6,7% (lo que se considera una buena protección), en muchos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y se encontraron inclusive transmisiones inferiores al 2,5% que se consideran como una excelente protección; siempre de acuerdo a los valores orientativos de transmisión media para cada nivel de protección proporcionados por la norma AS/NZ 4339:1996. Por lo tanto estos tejidos presentarán muy buenas características protectoras ya que bloquean en una mayor proporción la radiación de las

zonas más perjudiciales, sin que tenga mayor importancia el hecho de permitir un paso mayor de la radiación en las zonas correspondientes a longitudes altas.

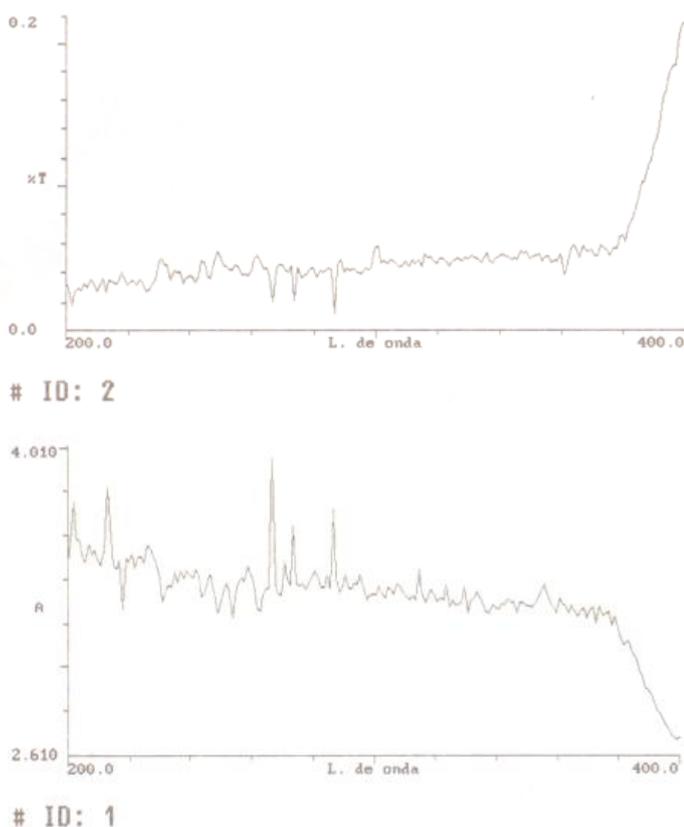


Fig. 5. Espectros de transmitancia y absorbancia para la muestra 16, correspondiente al tipo Lona Gaby prelavada, impregnada por el método de isopropanol y sometida al proceso de lavado.

Según se aprecia en la tabla anterior, el mayor valor de UPF, corresponde al dato de la tela 46 (valor de UPF de 63,52) que corresponde a la tela del tipo Lienzo Michelle crudo, sometida a un proceso de impregnación por el método de pad-dry-cure, y sin ser sometida a un proceso de lavado.

También destacan los valores de UPF de las telas 15, 47 y 48 con valores de UPF de 28, 23,33 y 22,54 respectivamente. Todas estas telas son del tipo Lona Gaby crudo, siendo impregnadas por el método de isopropanol (tela 15) y por el método de pad-dry-cure las telas 47 y 48.

D. Evaluación de las Propiedades Antimicrobianas

Se obtuvo un resultado negativo para todas las telas sometidas a la evaluación de sus propiedades antimicrobianas y para los dos microorganismos de prueba: *Staphylococcus epidermidis* y *Klebsiella pneumoniae*. La actividad antimicrobiana no fue lo suficientemente definida como para reportarla como positiva, y no tuvo un área regular ni significativa que posteriormente la haga posible de ser medida.

En ciertas telas se pudo notar una inhibición rezagada a ciertas zonas de la tela, que sugiere que la impregnación de las nanopartículas en las telas pudiera no haber tenido un carácter

completamente uniforme. Este fenómeno se puede apreciar en la figura 6, al extremo derecho de la tela no se nota un crecimiento apreciable de las colonias de microorganismos, mientras que en la parte izquierda se nota un crecimiento mucho más claro. La fase de impregnación de la tela pudo haberse dado de manera tal que no haya permitido una adecuada dispersión uniforme de las nanopartículas, lo que implica además que el resultado obtenido estará sujeto a cierta dependencia de la zona en donde se haya tomado la muestra de la tela para ser sometida a la evaluación antimicrobiana. También la concentración de las nanopartículas pudo no ser la suficiente para producir un efecto considerable de inhibición del crecimiento microbiano. Se recomienda utilizar mayores concentraciones de nanopartículas de ZnO en las telas, así como también realizar la evaluación de las propiedades antimicrobianas con otros microorganismos de prueba.

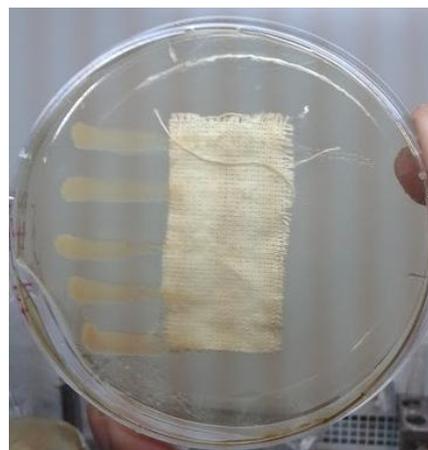


Fig. 6. Tela del tipo Lienzo Michelle Crudo impregnada por el método de isopropanol inoculada con el microorganismo *Klebsiella pneumoniae*.

E. Permanencia de las Nanopartículas en el Tejido

Se pudo determinar que a pesar de que el método del isopropanol brinda mejores resultados de adhesión de nanopartículas en un inicio, las nanopartículas adheridas por el método de pad-dry-cure tienen una mejor adherencia, resistiendo en cuanto a permanencia después de ser sometidas a un proceso de lavado; es decir, a pesar de estar presentes en una relación menor, tienen una mayor estabilidad en cuanto a permanencia y así, duran más después de ser sometidas a dicho proceso de lavado.

También se pudo establecer que para cada método de impregnación, el mayor o menor grado de funcionalidad en el sentido de brindar una mejor adherencia y más prolongada referida a la permanencia, resistiendo al lavado, difiere o está determinado fuertemente por el tipo de tela. Y a su vez, cada tela bien podría tener cierta preferencia por un método de impregnación u otro, dependiendo de la compatibilidad de su estructura micro y macromolecular, para favorecer dicho método en cuanto a adherencia y posteriormente también a la resistencia al lavado.

De manera general y tal como sucedió en [13], se puede notar de acuerdo a los resultados que las nanopartículas disminuyeron drásticamente su concentración en las telas

después del proceso de lavado. Esto se explica concluyendo que las nanopartículas no experimentaron una unión covalente a los tejidos.

IV. CONCLUSIONES

Las nanopartículas sintetizadas a las diferentes condiciones de calcinación analizadas a través de DRX y de MEB confirmaron la presencia de ZnO al 100% en la forma de Zincita y se obtuvo un diámetro efectivo por el análisis DLS mínimo de aproximadamente 23 nm obtenido a las condiciones de calcinación de 700°C y 3 horas, siendo elegidas como las mejores condiciones de síntesis. Además, la comparación del espectro FTIR de las muestras de ZnO sintetizadas con respecto a una muestra comercial arrojó valores de coeficientes de correlación mayores a 0,97 confirmando nuevamente la efectiva síntesis de ZnO.

De acuerdo al análisis comparativo FTIR la tela Lona Gaby crudo tiene la mayor capacidad de impregnación de las nanopartículas y también de acuerdo a la opción EDS del análisis MEB, presentando el más alto porcentaje de Zn de 84,1%, inclusive después de ser lavada, con un valor de 71,7%. Entretanto, el método de isopropanol reportó los mejores resultados de impregnación de acuerdo también a los resultados de la opción EDS del análisis MEB de porcentaje de Zn presente en las telas y también de acuerdo a la información obtenida del análisis FTIR

El mayor valor de UPF obtenido de 63,52 asociado a una transmitancia T_{UVR} media de 0,03% correspondió a la tela del tipo Lienzo Michelle Crudo impregnada por el método de pad-dry-cure y que no fue sometida a un proceso de lavado. Los resultados obtenidos de la protección UV sugieren que el método de isopropanol brindó una mejor adhesión de las nanopartículas para la tela del tipo Lona Gaby prelavada.

Los tejidos ensayados presentaron en general buenas características de protección UV ya que bloquearon en una mayor proporción la radiación de las zonas más perjudiciales del espectro UV, consiguiéndose en la mayoría de los casos transmisiones T_{UVR} medias inferiores al 6,7%, lo cual se considera como una buena protección. Mientras que la evaluación global de la adherencia de las nanopartículas de ZnO en los tejidos de algodón indica que el método de isopropanol brinda los mejores resultados, sin embargo las nanopartículas no se unieron covalentemente por lo cual disminuyeron drásticamente su concentración después del lavado.

El ZnO no inhibió cepas de los microorganismos de prueba *Staphylococcus epidermidis* y *Klebsiella pneumoniae*, las cuales podrían tener resistencia, entendida como la no inhibición al ZnO como tal, por una parte; ó tolerancia por otra, referida a que se necesite la presencia de cantidades mucho más altas de ZnO para llegar a inhibir el crecimiento microbiano. Se recomienda utilizar mayores concentraciones de nanopartículas de ZnO y utilizar otros microorganismos de prueba para la evaluación de las propiedades antimicrobianas.

Agradecimientos

Se expresa un agradecimiento especial al equipo humano del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Central del Ecuador, encabezado por el Dr. Ramiro Salazar, quienes hicieron posible la realización de las pruebas microbiológicas de las telas. Así mismo se agradece de manera especial al personal del Centro Textil Politécnico y al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela Politécnica Nacional, quienes hicieron posible la impregnación de las telas y la medición de sus propiedades UV, respectivamente.

Bibliografía

- [1] A. Manna, "Synthesis, Characterization, and Antimicrobial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles", in *Nano-Antimicrobials: Progress and Prospects*, Vermillion, U.S.A.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012, pp. 151-180.
- [2] M. Issa, M. Shehata, S. Fawzi, A. Abdelraouf, M. Selmane, I. Genois, y F. Babonneau, "Nano-structured zinc oxide-cotton fibers: synthesis, characterization and applications", *Mater Electron*, vol. 24, pp. 3970-3975, 2013.
- [3] A. Yadav, V. Prasad, A. Kathe, S. Raj, C. Sundaramoorthy y N. Vigneshwaran, "Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles", *Bull. Materi. Sci.*, vol. 29, pp. 641-645, 2006.
- [4] C. Peverari, A. Pires, R. Gonçalves y O. Serra, "Synthesis, structural and morphological characterization of CeO₂ - ZnO nanosized powder systems from Pechini's method", *Eclética Química*, vol. 30, pp. 59-64, 2005.
- [5] R. Meghana, S. Ponnusamy y C. Muthamizchelvan. "Preliminary investigations on the antibacterial activity of zinc oxide nanostructures", in *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*, Tamil Nadu, India: Springer Science+Business, 2013, pp. 1-11.
- [6] R. Dastjerdi y M. Montazer, "A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on antimicrobial properties", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 79, pp. 5-18, 2010.
- [7] A. Sivakumar, R. Murugan, K. Sundaresan, y S. Periyasamy, "UV protection and self-cleaning finish for cotton fabric using metal oxide nanoparticles", *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 38, pp. 285-292, 2012.
- [8] V. Guerrero, J. Rivas, N. Rosas, y C. Valdivieso, "Obtención de nanopartículas de óxidos de cinc y circonio por el método de Pechini", Abril 2014 [VIII Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE 2013, Sangolquí, Ecuador, 2013].
- [9] B. Barros, R. Barbosa, N. Dos Santos, T. Barros y M. Souza. "Synthesis and X-ray diffraction characterization of nanocrystalline ZnO obtained by Pechini method". *Inorganic Materials*, vol. 42, pp. 1348-1351, 2006.
- [10] Y. Kwon, K. Kim, C. Lim y K. Shim K, "Characterization of ZnO nanopowders synthesized by the polymerized complex method via an organochemical route", *Journal of Ceramic Processing Research*, vol. 3, pp. 146-149, 2002.
- [11] R. Rajendran, C. Balakumar, A. Mohammed, S. Jayakumar, K. Vaideki, y E. Rajesh, "Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles", *International Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 2, pp. 202-208, 2010.
- [12] A. Becheri, M. Dürr, P. Lo Nostro y P. Baglioni. "Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers", *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 10, pp. 679-689, 2008.
- [13] W. Sricharussin, P. Threepopnatkul y N. Neamjan, "Effect of various shapes of zinc oxide nanoparticles on cotton fabric for UV-blocking and anti-bacterial properties", *Fibers and Polymers*, vol. 12, pp. 1037-1041, 2011.
- [14] AS/NZS 4399:1996. Sun protective clothing - Evaluation and classification.