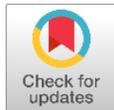




Artículo de investigación

Nanopartículas de óxido de zinc y óxido de plata para uso de protección solar de piel

Zinc oxide and silver oxide nanoparticles for skin sunscreen use



Rodrigo Antonio Rojas Labastida , Jazmín Viridiana Pacheco Julián , Guillermo Amaya Parra , Socorro Jiménez Valera 

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño, Carretera Transpeninsular Ensenada - Tijuana 3917, Zona Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México

Autor de correspondencia Guillermo Amaya Parra Universidad Autónoma de Baja California; Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño, Carretera Transpeninsular Ensenada - Tijuana 3917, Zona Playitas, 22860 Ensenada, Baja California, México. E-mail: amaya@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0001-5375-1092.

Recibido 15 de Agosto del 2023

Aceptado: 27 de Febrero del 2024

Publicado: 2 de Abril del 2024

Resumen. - El presente artículo, se enfoca en el uso de nanopartículas para el desarrollo de un protector solar para el cuidado de la piel, que contiene nanopartículas de óxido de zinc y nanopartículas de óxido de plata, estas nanopartículas contienen efectos antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios y cicatrizantes, empleando ZnO el cual se propone a ser sintetizado a través del método hidrotermal y las nanopartículas de Ag₂O por agitación constante, a través de las caracterizaciones como XRD, Uv-vis, Raman y medición de pH, se buscará obtener datos acerca de nuestras nanopartículas y el producto final que es un protector solar para el cuidado de la piel; las caracterizaciones aportaran datos como la fase cristalina, el grado de absorbancia, y la estructura química de las nanopartículas. De acuerdo a literatura consultada, el uso de nanopartículas de óxido de zinc decoradas con nanopartículas de óxido de plata para uso tópico, tiene propiedades para generar los efectos anteriormente mencionados (antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios y cicatrizantes). Actualmente diversos protectores solares emplean óxido de zinc y algunos otros óxido de plata, es por ello que la presente propuesta busca aplicar ambos materiales a escala nanométrica para la elaboración de una crema que, se tiene previsto, en un futuro se pueda utilizar para personas con problemas de piel, tales como la dermatitis, inclusive se plantea el poder usarlo para los diabéticos.

Palabras clave: Protector solar; NPs de ZnO; NPs Ag₂O; XRD; Uv-Vis.

Abstract. - This article is about the use of nanoparticles for the development of sunscreen for skin care based on zinc oxide nanoparticles and silver oxide nanoparticles, with antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and healing effects, using ZnO which is proposed to be synthesized through the hydrothermal method and Ag₂O nanoparticles by constant agitation, through characterizations such as XRD, Uv-vis, Raman and pH measurement, we will seek to obtain data about our nanoparticles and the final product which is a sunscreen for skin care; The characterizations will provide data such as the crystalline phase, the degree of absorbance, and the chemical structure of the nanoparticles. According to the literature, zinc oxide nanoparticles decorated with silver oxide nanoparticles for topical use have properties that generate the effects above (antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and healing). Currently, several sunscreens use zinc oxide and some others silver oxide, which is why the present proposal seeks to apply both materials at a nanometric scale for the elaboration of a cream that, it is expected, in the future can be used for people with skin problems, such as dermatitis, including the possibility of using it for diabetics.

Keywords: Sunscreen; ZnO NPs; Ag₂O NPs; XRD; Uv-Vis.

1. Introducción

La exposición a la luz solar es crucial para que la piel humana transforme la 7-dehidrocolesterol en provitamina D3. La reducción en la producción de vitamina D3 en la piel se debe a varios factores, como la eficiencia de la radiación UVB, la pigmentación de la piel, el uso de protectores solares, la hora del día, la estación del año, la latitud, la altitud y la contaminación del aire. La exposición crónica a la radiación UV puede tener efectos negativos como la supresión del sistema inmunológico, el envejecimiento prematuro de la piel y la formación de tumores cancerosos en la piel [1].

De acuerdo a la American Cancer Society se predice que a lo largo del año 2023 se diagnosticarán aproximadamente 97,610 nuevos casos de melanoma (alrededor de 57,120 en hombres y 39,490 en mujeres) [2]. Esta evidencia nos resalta que existen ciertos factores de riesgo, como la exposición solar y predisposiciones genéticas, en la incidencia de cáncer de piel [3].

Las especies reactivas de oxígeno generadas por los UV pueden causar cambios en el material genético y otros componentes celulares. Por lo tanto, el bronceado, que estimula la síntesis de pigmentos, es el principal mecanismo de defensa contra la exposición crónica y aguda a la radiación UV en la piel madura [4]. Además de evitar la exposición directa al sol, el uso de protectores solares es la mejor alternativa para protegerse de la radiación UV. Se han identificado mecanismos de reparación del ADN dañado por la radiación UV y se han desarrollado métodos para detectar dicho daño [5]. Algunos de los métodos mayormente empleados para detectar estos daños se encuentra la electroforesis

en gel con bromuro de etidio, este método permite visualizar fragmentos de ADN en un gel después de la electroforesis [6]. El bromuro de etidio es un agente intercalante que se une al ADN y emite fluorescencia bajo luz ultravioleta (UV). Las lesiones en el ADN, como los dímeros de pirimidina, afectan la migración del ADN en el gel y pueden ser detectadas mediante cambios en la intensidad de la fluorescencia los protectores solares son productos diseñados para proteger la piel de los efectos nocivos de la radiación UV del sol [7]. La FDA regula los protectores solares para garantizar que cumplan con las normas de inocuidad y eficacia [8]. Los protectores solares de amplio espectro ayudan a proteger contra los rayos UVA y UVB, dos tipos de radiación ultravioleta del sol. La mayoría de este tipo de protectores solares contienen ingredientes en común como son los siguientes [9]:

Octinoxato: Es un filtro solar que se utiliza principalmente para proteger contra los rayos UVB. También es conocido como etilhexil metoxicinamato [10].

Octocrileno: Proporciona protección UVB y es frecuentemente utilizado en combinación con otros filtros solares. Este filtro absorbe principalmente la radiación UVB, la principal responsable del bronceado, pero también de las quemaduras solares y el cáncer de piel [11].

Homosalato: Se utiliza principalmente para proteger contra los rayos UVB. Siendo un filtro solar orgánico que ayuda a estabilizar otros ingredientes en el protector solar. Pertenece a la clase de los salicilatos y tiene una absorción máxima de 306 nm. Está aprobado por la FDA para una concentración máxima del 15% [12].

Los protectores solares de amplio espectro con un valor de factor de protección solar (FPS) de 15 o más reducen el riesgo de cáncer de piel y el envejecimiento prematuro de la piel cuando se usan según las indicaciones con otras medidas de protección solar [13]. Es importante elegir un protector solar que tenga un FPS adecuado para el tipo de piel y la actividad que se va a realizar. Además, se recomienda utilizar protectores solares que ofrezcan protección contra los rayos UVA y UVB [5].

Existen diferentes tipos de protectores solares, como los físicos y los químicos, que funcionan de manera diferente para proteger la piel. Los protectores solares físicos contienen ingredientes como el óxido de zinc y el dióxido de titanio, que actúan como una barrera física para reflejar los rayos UV. Por otro lado, los protectores solares químicos contienen ingredientes que absorben los rayos UV y los convierten en calor [14].

En México, se reportan alrededor de mil casos anuales de cáncer de piel, con factores de riesgo como exposición solar y genética. La prevención incluye medidas como evitar la exposición directa al sol, permanecer en interiores y utilizar protectores solares. El Hospital General de México atiende 12 mil consultas anuales por cáncer de piel, con tratamientos que van desde procedimientos quirúrgicos hasta quimioterapia. Se destaca la importancia de revisar la piel anualmente y evitar la automedicación, enfatizando el uso de protectores solares como medida clave de prevención [15].

Es importante tener en cuenta que algunos estudios han encontrado evidencia de un potencial carcinógeno en algunas marcas

populares de protectores solares que contienen el ingrediente activo octocrileno [16].

La nanotecnología, ha desarrollado aplicaciones en el área de cosmetología, un ejemplo de ello es las nanoemulsiones ya que presentan un gran potencial debido a sus aplicaciones abarcan la administración de antioxidantes, antiinflamatorios no esteroideos, fotosensibilizantes para terapia fotodinámica, antimicrobianos y fotoprotectores. En el ámbito de la fotoprotección tópica, ya se encuentran disponibles fotoprotectores físicos que contienen óxido de titanio y hierro [17].

La nanotecnología se centra en el estudio de las propiedades y aplicaciones de los materiales a una escala de 1 a 100 nanómetros. A nivel nanométrico, los materiales experimentan cambios en sus propiedades y adquieren características especiales. Estos materiales están compuestos por átomos, moléculas y materiales macroscópicos. La diferencia principal entre las nanopartículas y los materiales a granel radica en el incremento relativo del área superficial de las partículas ultrafinas, lo que les confiere una estructura en forma de escalera con átomos enérgicos en su superficie. Esto facilita la unión con otros átomos y proporciona una gran superficie activa debido a su tamaño de partícula reducido [18].

En el ámbito médico, la nanotecnología se utiliza para modificar la superficie de las nanopartículas y aprovechar sus propiedades únicas en la creación de sistemas de liberación de fármacos dirigidos y controlables, así como transportadores fácilmente detectables. Además, se está explorando su aplicación en el tratamiento

de lesiones locales, lo que abre nuevas posibilidades en la medicina regenerativa [19].

Los nanomateriales inorgánicos tienen una amplia gama de aplicaciones en nuestra vida cotidiana debido a sus características como estabilidad, durabilidad, reactividad y utilidad. Específicamente, las nanopartículas de óxido de plata se utilizan en la producción de antimicrobianos, productos de protección solar, instrumentos quirúrgicos y biomédicos. Además, tienen aplicaciones en la desinfección del agua, medicamentos anticancerígenos y terapia. Estas nanopartículas también poseen propiedades bioactivas, como antioxidantes, anti diabéticos, antiinflamatorias, larvicidas e insecticidas [20].

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) son ampliamente utilizadas en productos de consumo, con una producción anual mundial que oscila entre 101 y 1000 toneladas. Estas nanopartículas se utilizan principalmente en cosméticos (70%) y pinturas (30%) [21].

En particular, se encuentran presentes en protectores solares y cosméticos debido a sus propiedades únicas, que incluyen protección contra los rayos UV, efectos antimicrobianos y fotoactividad. La fotoactividad se debe a su energía de banda ancha (3,2 eV) y propiedades electrónicas, lo que promueve la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) bajo la luz UV [22]. Dentro de las síntesis mayormente usadas para la creación de estas nanopartículas se encuentran las siguientes:

Método de reducción química: En este método las sales de plata son reducidas a nanopartículas de dióxido de plata (Ag_2O) en presencia de agentes reductores. Un agente reductor

comúnmente utilizado es el borohidruro de sodio (NaBH_4). Durante el proceso, los iones de plata se reducen a átomos de plata, que se agregan y se organizan para formar nanopartículas. Este método ofrece un control significativo sobre el tamaño de las partículas y puede modularse ajustando las condiciones de reacción, como la concentración de reactivos y la temperatura [23].

Método de precipitación: Implica la formación de nanopartículas de dióxido de plata (Ag_2O) mediante la adición de un agente precipitante a una solución de una sal de plata. La adición del agente precipitante induce la formación de partículas sólidas que se precipitan de la solución. Este método es relativamente sencillo y económico, aunque el control del tamaño de partícula puede ser menos preciso en comparación con otros métodos. Factores como la concentración del agente precipitante y la temperatura pueden influir en la morfología y tamaño de las nanopartículas [24].

Método de hidrólisis: La hidrólisis de sales de zinc en soluciones básicas es un proceso utilizado para la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO). Durante la hidrólisis, los iones de zinc reaccionan con agua en presencia de una base, generando nanopartículas de ZnO. El control del tamaño de partícula y la morfología se puede lograr ajustando las condiciones de hidrólisis, como el pH y la concentración de reactivos [25].

Método sol-gel: En el método sol-gel, se forma un sol coloidal que, mediante procesos de gelificación, conduce a la obtención de partículas de óxido de zinc (ZnO). El sol, que es una dispersión coloidal de partículas sólidas en un líquido, se transforma en un gel, y posteriormente, las partículas se consolidan para

formar estructuras tridimensionales. Este método permite un control preciso del tamaño y la morfología de las partículas mediante la manipulación de parámetros como la temperatura y la concentración de precursores [26]

Algunos de los mayores proveedores de estos tipos de nanopartículas se pueden destacar NanoComposix, Meliorum Technologies, Zinlear IM (BASF) y Z-COTE (BASF), siendo empresas dedicadas a la creación y comercialización de muchos tipos de nanopartículas, dentro de esta producción encontramos tanto de plata como zinc [27].

El propósito del presente artículo es obtener un producto efectivo formulado con nanopartículas de óxido de plata y óxido de zinc, que brinde una protección eficaz contra los daños causados por la radiación ultravioleta, al mismo tiempo que minimice riesgos potenciales asociados a ingredientes tradicionales y optimice las propiedades beneficiosas de las nanopartículas. Estas propiedades son usadas en muchos ámbitos y otros usos diferentes al cuidado de la piel, por ejemplo, las nanopartículas de plata al poseer propiedades antimicrobianas las hacen efectivas contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo bacterias, virus y hongos, pudiendo emplearse en el uso de productos de cuidado médico y aplicaciones biomédicas (vendajes, recubrimientos, textiles, implantes), o también como catalizadores en diversas reacciones químicas, incluyendo la oxidación de compuestos orgánicos, estas características es debido a su capacidad para liberar iones de plata, a su alta área superficial y la presencia de sitios activos hacen que sean relevantes en este tipo de aplicaciones.

Por su parte las nanopartículas de zinc debido a sus propiedades antiinflamatorias y antibacterianas de las hacen útiles en productos cosméticos como cremas y maquillajes, donde pueden contribuir a mejorar la salud de la piel y prevenir infecciones, también, son ampliamente usadas en sectores de la industria electrónica, por ejemplo, encuentran aplicaciones en dispositivos electrónicos, especialmente en pantallas de diodos emisores de luz (LED) debido a sus propiedades semiconductoras y su capacidad para emitir luz [28].

2. Materiales y métodos

2.1 Síntesis de óxido de zinc

Se agregó 0.5 g de acetato de zinc dihidratado ($Zn (Ac)_2 \cdot 2H_2O$) a un vaso de precipitado. Luego, se añadieron 6.75 ml de agua desionizada al vaso y se agita constantemente durante 30 minutos. Después de ese tiempo, se agregaron 6 ml de una disolución acuosa de NaOH (1M) de forma gradual, hasta que el pH alcance 11. Después de otros 30 minutos de agitación, la mezcla se transfirió a un reactor hidrotermal de teflón, asegurándose de que esté bien sellado para evitar fugas. El sistema completo se calentó a 160 °C durante 3 horas utilizando un horno de calentamiento [29, 30].

Una vez transcurrido el tiempo, el producto resultante se lavó tres veces con acetona y agua desionizada para eliminar cualquier residuo de acetato. Después de cada lavado, se recuperó la fase sólida mediante filtración. Posteriormente, el producto se secó a 50 °C durante 24 horas. La pasta obtenida se trituroó con un mortero de ágata y se calcinó a 400 °C durante 2 horas [31].

2.2 Síntesis de óxido de plata

Se disolvieron 10 g de PEG en 500 ml de agua destilada previamente calentada a 50 °C. La solución se agitó durante una hora para asegurar una completa homogeneización del PEG.

A continuación, se preparó una solución de nitrato de plata con 1 g de sal de nitrato de plata, la cual se añadió a la solución de PEG preparada a una velocidad de agitación constante y a una temperatura constante de 50°C. Se mantuvo el pH entre 9,8 y 10 durante todo el proceso de reacción, mientras se agitaba continuamente durante 12 horas. Se agregó lentamente una solución de NaOH de 0,1 M a la mezcla.

Posteriormente, la solución se filtró utilizando papel de filtro para separar las partículas de la solución madre. Las partículas obtenidas se enjuagaron varias veces con agua destilada y luego con etanol. Finalmente, las partículas se secaron a 60°C durante 12 horas [32].

2.3 Elaboración de protector solar

El proceso para la elaboración del protector solar se dividió en diversas fases que se clasificaron como fase oleosa, acuosa y de aditivos para poder diferenciar de una mejor manera la elaboración.

Se realizó una mezcla adicionando 15% de aceite de coco junto con 7% de manteca de karité posteriormente se colocó en baño María a una temperatura no mayor a 60°C. Cuando los componentes de nuestra fase oleosa estén casi derretidos o completamente en un estado líquido, se añadió un 10% de óxido de zinc y un 3% de óxido de plata los cuales fueron previamente elaborados, y se deberá mantener en una

agitación constante hasta que se integre y no queden grumos. Cuando la mezcla estuvo completamente uniforme se retiró del baño María de la solución para proceder a verter la fase acuosa a la oleosa, empleando un 64% de agua destilada se vierte poco a poco mientras se mantiene en una constante agitación la emulsión.

Conforme la temperatura de la mezcla vaya disminuyendo, la textura se asemeja más a la de una crema, dejando la mezcla enfriar a una temperatura ambiente y cuando ya se encuentra emulsionada, se puede medir el pH con tiras medidoras o algún método digital, rondando, teniendo todo elaborado procedemos a incorporar los aditivos, siendo vitamina E en 1% y de 3 a 5 gotas de aceite esencial de manzanilla.

2.4 Caracterización y técnicas de análisis

Con el fin de identificar la fase y la estructura de nuestras ZnO-NPs, así como la absorción en la región ultravioleta-visible (UV-Vis) del espectro electromagnético, se realizaron diversas técnicas de caracterización sobre las nanopartículas, siendo estas; difracción de rayos X (XRD), espectroscopia de Raman y espectroscopia Uv-Vis.

3. Resultados y discusión

3.1 Difracción de rayos X (XRD)

El principio del método de difracción de rayos X (DRX) se centra en la combinación constructiva de rayos X de una sola longitud de onda en una muestra cristalina. Los materiales cristalinos que poseen una estructura de átomos tienen la capacidad de dispersar los rayos X que inciden sobre ellos, generando así un patrón de

interferencia. Este patrón resultante se puede examinar para obtener datos acerca de la disposición atómica o molecular del material, lo que a su vez permite determinar su identidad. El DRX es una técnica eficaz y rápida para la identificación y descripción de materiales, y se utiliza comúnmente en diversos campos de investigación en ciencias físicas y geociencias, así como en la industria. Su preparación de muestra es mínima y, por lo general, la interpretación de los resultados es relativamente sencilla [33].

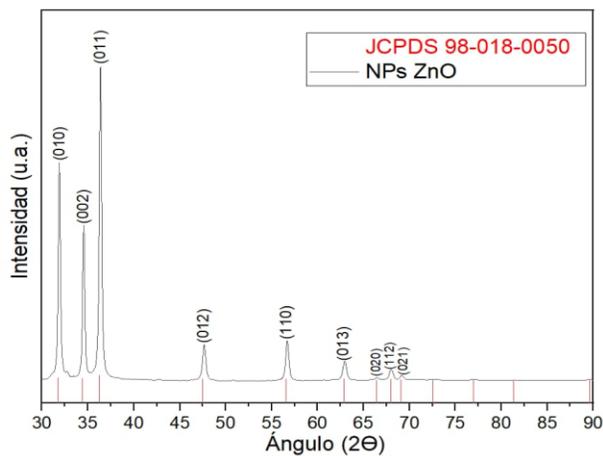


Figura 1. Difractograma de rayos X de las ZnO-NPs.

La figura 1 muestra el espectro de difracción de rayos X de las ZnO-NPs. El análisis por difracción de rayos X a las nanopartículas dio como resultado la identificación de algunos picos correspondientes a la fase Wurtzita del ZnO, mostrando picos bien definidos a $2\theta = 31^\circ, 34^\circ, 36^\circ, 48^\circ, 56^\circ, 63^\circ$ y 68° respectivamente, que eran debido a las difracciones de los planos (100), (002), (101), (102), (110), (103) y (120) típicos de ZnO en la estructura cristalina tipo wurtzita.

3.2 Espectroscopia de Raman

El efecto Raman es una técnica de análisis espectral que se basa en la dispersión inelástica

de fotones por fonones en los materiales. Cuando la luz incide en los materiales, interactúa con las vibraciones de la red, lo que provoca la dispersión de la luz a una frecuencia específica. Esta diferencia de frecuencia entre la luz incidente y la dispersada proporciona información sobre las vibraciones en la estructura del material. Los espectros de vibración Raman se utilizan ampliamente para identificar moléculas a través de sus huellas estructurales. Estos espectros pueden ser influenciados por cambios en la microestructura, impurezas y tensiones residuales, lo que afecta el número de moléculas dispersadas, la frecuencia de las vibraciones y otros efectos.

La técnica de espectroscopía Raman es valiosa para caracterizar defectos y daños en el subsuelo causados por el crecimiento de cristales y el micro/nano mecanizado. Proporciona información clave, como la posición y cambios en la posición de las bandas, el ancho de las bandas y la intensidad de las vibraciones. Es un método eficiente, no destructivo y sencillo para preparar muestras y analizar estos defectos y daños [34].

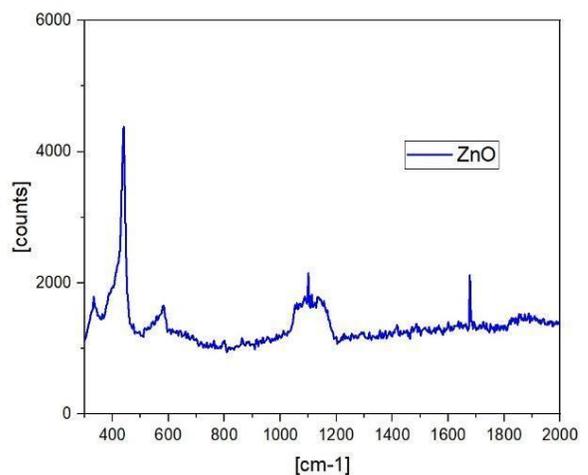


Figura 2. Espectro Raman de las ZnO-NPs.

La figura 2 muestra el espectro de Raman de las ZnO-NPs a temperatura ambiente con un barrido de 0 a 2000 nm. En este espectro se notan los picos más intensos y característicos de la fase wurtzita del ZnO (277, 438, 511 y 644) los cuales coinciden con aquellos reportados por otros autores, haciendo notar que el método de síntesis empleado fue exitoso a la hora de recrear las nanopartículas y la fase deseada.

3.3 Espectroscopia de Uv-Vis

La técnica UV-vis es ampliamente empleada en la caracterización de nanopartículas, permitiendo verificar su formación a través de la medición de la Resonancia de Plasmón Superficial (SPR). Mediante este procedimiento, se obtiene valiosa información sobre el tamaño, estabilidad y posibles agregaciones de las NP.

Por lo general, se emplean longitudes de onda comprendidas entre 200 y 700 nm para analizar nanopartículas de metal y óxido metálico. Por ejemplo, las Ag-NP muestran un pico de absorción característico entre 400 y 450 nm, mientras que las Au-NP lo hacen entre 500 y 550 nm. Por su parte, las ZnO-NP presentan absorciones en el rango de 300 a 400 nm (Torres-Rivero et al., 2021b).

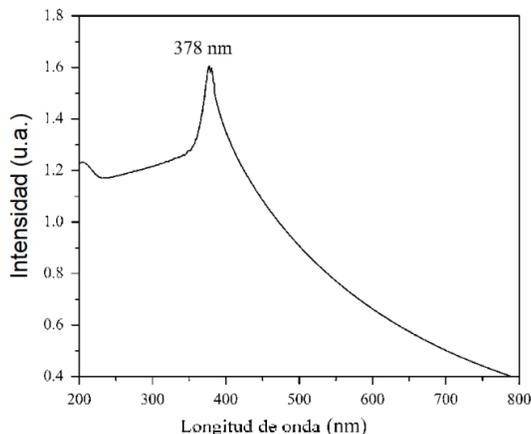


Figura 3. Espectro Uv-Vis de las ZnO-NPs.

En la figura 3 se puede observar el resultado del espectro obtenido por el Uv-Vis dispersos en agua con un barrido de 200 a 800 nm, presentan un pico característico de absorción a 378 nm, el cual es una banda significativa y característica de la absorción del ZnO de estructura tipo wurtzita.

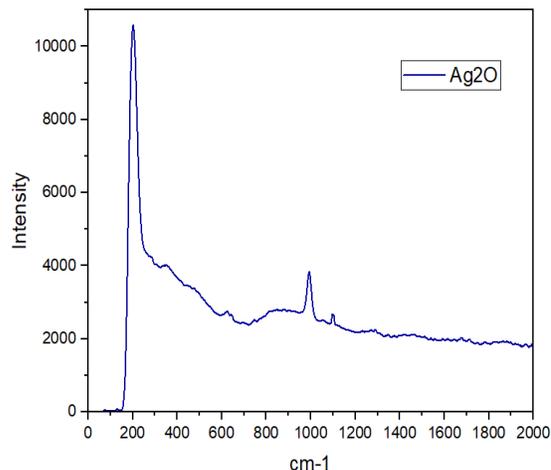


Figura 4. Espectro Raman de las Ag₂O-NPs.

El pico que está $\sim 144 \text{ cm}^{-1}$ es conocido como el pico de "breathing mode" y es típico de las vibraciones de la red cristalina de plata.

El pico a $\sim 1080 \text{ cm}^{-1}$: Este pico es comúnmente asociado con las vibraciones de estiramiento de enlaces Ag-O en compuestos de plata y oxígeno. Es decir que, se presentan los elementos de oxígeno y plata.

4. Discusión

Se encontraron varios artículos científicos que comparan las nanopartículas de óxido de plata y óxido de zinc con otros materiales [35-37].

D. Asmat-Campos, et al., describen la síntesis de nanopartículas de plata y óxido de zinc utilizando métodos biogénicos y su impregnación en textiles para conferirles actividad antiviral. El

tamaño de las nanopartículas de plata fue de 6 ± 3.7 nm, mientras que el tamaño de las nanopartículas de óxido de zinc fue de 50 ± 8.3 nm [38].

K. Punjabi, et al., discutió la síntesis y caracterización de nanopartículas de plata y óxido de zinc utilizando diferentes técnicas, incluyendo difracción de rayos X. Las nanopartículas de plata tenían un tamaño promedio de 40 nm, mientras que las nanopartículas de óxido de zinc tenían un tamaño promedio de 60 nm [39].

Z. Jowkar, et al., comparó el efecto de las nanopartículas de plata, óxido de zinc y dióxido de titanio en la fuerza de adhesión de postes de fibra. El tamaño de las nanopartículas de plata fue de 25 nm, mientras que el tamaño de las nanopartículas de óxido de zinc fue de 125 nm [40].

NCBI describe un estudio que comparó el efecto antibacteriano de las nanopartículas de plata, óxido de zinc y una combinación de ambas en brackets ortodónticos. El tamaño de las nanopartículas de óxido de zinc no se especifica, mientras que el tamaño de las nanopartículas de plata fue de 20, 50 y 80 nm [41].

En general, existen diversos estudios que respaldan y comparan las nanopartículas de óxido de plata y óxido de zinc con otros materiales utilizando diferentes técnicas, incluyendo difracción de rayos X. Cabe destacar que, de acuerdo al método de síntesis empleado, los tamaños de las nanopartículas varían [42].

El uso de óxido de plata en combinación con óxido de zinc como ingredientes en protectores

solares puede generar interés debido a las propiedades protectoras y potencialmente sinérgicas de ambos compuestos [43].

Algunos puntos a considerar en la discusión sobre el uso de óxido de plata con óxido de zinc en protectores solares:

1. Propiedades de protección solar: Tanto el óxido de zinc como el óxido de plata tienen propiedades de protección solar debido a su capacidad para reflejar y dispersar los rayos ultravioletas (UV) que provienen del sol. Sin embargo, la eficacia de cada compuesto en términos de protección UV puede variar según la longitud de onda específica.

2. Amplio espectro: La combinación de óxido de zinc y óxido de plata podría ofrecer una protección de amplio espectro que abarque tanto los rayos UVA como los UVB. Esto sería beneficioso, ya que los rayos UVA y UVB pueden causar daños en la piel y aumentar el riesgo de cáncer de piel.

3. Sinergia potencial: Si los óxidos de zinc y plata tienen propiedades sinérgicas en términos de protección solar, esto podría llevar a una mayor eficacia en comparación con el uso de un solo compuesto.

4. Propiedades de seguridad: Es importante considerar la seguridad de los compuestos utilizados en protectores solares.

El óxido de zinc es ampliamente considerado como seguro y bien tolerado por la mayoría de las personas. Sin embargo, la seguridad del óxido de plata en formulaciones de protector solar podría requerir más investigación y evaluación,

de acuerdo al artículo [37] el uso de óxido de zinc y óxido de plata para uso tópico. En el cual el uso del nanocompuesto Ag-ZnO/ AgO NPs fue efectivo en el tratamiento de heridas, estuvo acompañado de respuestas antiinflamatorias y antioxidantes. Ofreciendo el potencial para el uso tópico del nanocompuesto Ag-ZnO/AgO, como lo demuestran sus prometedoras actividades biológicas en la cicatrización de heridas y tejidos [37].

El protector solar es para uso de piel seca, ya que tiene las siguientes características:

1. **Hidratación intensa:** Contiene ingredientes hidratantes como glicerina y aceites naturales. Estos ingredientes ayudarán a mantener la piel hidratada y prevenir la sequedad.
2. **Textura rica y cremosa:** Es un protector solar con una textura rica y cremosa que puede actuar como una capa de hidratación adicional para tu piel seca.
3. **Ingredientes emolientes:** Contiene ingredientes como la manteca de karité, el aceite de coco, y la vitamina E pueden proporcionar una hidratación adicional y mejorar la barrera cutánea en la piel seca.
4. **Libre de fragancias irritantes:** Si tienes piel seca, es preferible elegir un protector solar libre de fragancias irritantes ya que tiene un aroma suave a coco y manzanilla.
5. **Fórmula suave:** Se evito los productos con ingredientes agresivos que puedan agravar la sequedad, como el alcohol.

5. Conclusión

Las nanopartículas de ZnO y Ag₂O fueron sinterizadas por métodos diferentes, obteniendo el resultado deseado y la fase que se requería para la elaboración del protector solar, obteniendo la fase wurtzita en el ZnO, la cual fue confirmada por diversos métodos de caracterización, observando tanto su banda de absorción para confirmar la presencia del sólido, así como los picos característicos de su estructura tipo wurtzita. El análisis obtenido con XRD sugiere un crecimiento en la orientación preferencial (101) es la del pico más intenso ubicado en $2\theta \approx 36$.

El protocolo empleado para la elaboración del protector solar fue exitoso, obteniendo una pasta uniforme y maleable con una textura agradable al tacto con la piel, se confirmaron la presencia de los activos añadidos a el protector por diversos métodos y se realizaron pruebas de duración en medio acuoso para verificar su durabilidad, siendo un producto en su mayoría escalable y muy fácil de implementar en comparación con otros métodos mucho más industriales. Queda pendiente un estudio a mayor profundidad para una posible aplicación en cuidado de la piel para personas diabéticas, esto debido a las propiedades que la plata posee y lo ampliamente utilizado en este sector de la farmacéutica.

6. Agradecimientos de autoría

Rodrigo Antonio Rojas Labastida: Metodología, Investigación, Escritura - Borrador original, Escritura: revisión y edición. *Jazmín Viridiana Pacheco Julián:* Metodología, Investigación, Escritura - Borrador original. *Guillermo Amaya Parra:* Conceptualización, Supervisión,

Escritura: revisión y edición, Administración de proyecto. Socorro Jiménez Valera: Supervisión, Conceptualización

Referencias

- [1] M. Wacker and M. F. Holick, “Sunlight and Vitamin D: A global perspective for health,” *Dermato-Endocrinology*, vol. 5, no. 1, pp. 51–108, Jan. 2013, doi: 10.4161/derm.24494.
- [2] G. Cazzato, “Histopathological Diagnosis of Malignant Melanoma at the Dawn of 2023: Knowledge Gained and New Challenges,” *Dermatopathology*, vol. 10, no. 1, pp. 91–92, Feb. 2023, doi: 10.3390/dermatopathology10010013.
- [3] K. Wunderlich, M. Suppa, S. Gandini, J. Lipski, J. M. White, and V. Del Marmol, “Risk Factors and Innovations in Risk Assessment for Melanoma, Basal Cell Carcinoma, and Squamous Cell Carcinoma,” *Cancers*, vol. 16, no. 5, p. 1016, Feb. 2024, doi: 10.3390/cancers16051016.
- [4] J. M. Yardman-Frank and D. E. Fisher, “Skin pigmentation and its control: From ultraviolet radiation to stem cells,” *Experimental Dermatology*, vol. 30, no. 4, pp. 560–571, Apr. 2021, doi: 10.1111/exd.14260.
- [5] V. P. Chavda, D. Acharya, V. Hala, S. Daware, and L. K. Vora, “Sunscreens: A comprehensive review with the application of nanotechnology,” *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 86, p. 104720, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jddst.2023.104720.
- [6] N. S., P. S., S. M. M., R. Rao K., P. Chand, and V. Bhat B., “Evaluation of DNA damage using single-cell gel electrophoresis (Comet Assay),” *Journal of Pharmacology and Pharmacotherapeutics*, vol. 2, no. 2, pp. 107–111, Jun. 2011, doi: 10.4103/0976-500X.81903.
- [7] R. Galindo-Murillo and T. E. Cheatham, “Ethidium bromide interactions with DNA: an exploration of a classic DNA–ligand complex with unbiased molecular dynamics simulations,” *Nucleic Acids Research*, vol. 49, no. 7, pp. 3735–3747, Apr. 2021, doi: 10.1093/nar/gkab143.
- [8] H. Westman, “A Hot Topic: Is the FDA’s Approach to Sunscreen Regulation Failing Consumers?,” vol. 46.
- [9] B. Dale Wilson, S. Moon, and F. Armstrong, “Comprehensive review of ultraviolet radiation and the current status on sunscreens,” *J Clin Aesthet Dermatol*, vol. 5, no. 9, pp. 18–23, Sep. 2012.
- [10] J. Cahova *et al.*, “Octinoxate as a potential thyroid hormone disruptor – A combination of in vivo and in vitro data,” *Science of The Total Environment*, vol. 856, p. 159074, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159074.
- [11] A. Medici *et al.*, “Octocrylene: From Sunscreens to the Degradation Pathway during Chlorination Processes: Formation of Byproducts and Their Ecotoxicity Assessment,” *Molecules*, vol. 27, no. 16, p. 5286, Aug. 2022, doi: 10.3390/molecules27165286.
- [12] R. Teti, D. Mourtzis, D. M. D’Addona, and A. Caggiano, “Process monitoring of machining,” *CIRP Annals*, vol. 71, no. 2, pp. 529–552, 2022, doi: 10.1016/j.cirp.2022.05.009.
- [13] S. G. Coelho, D. Rua, S. A. Miller, and A. Agrawal, “Suboptimal UVA attenuation by broad spectrum sunscreens under outdoor solar conditions contributes to lifetime UVA burden,” *Photoderm Photoimm Photomed*, vol. 36, no. 1, pp. 42–52, Jan. 2020, doi: 10.1111/phpp.12503.
- [14] S. Gabros, T. A. Nessel, and P. M. Zito, “Sunscreens and Photoprotection,” in *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Accessed: Apr. 01, 2024. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537164/>

- [15] J. P. Castanedo-Cázares, B. Torres-Álvarez, B. Portales-González, K. Martínez-Rosales, and D. Hernández-Blanco, “[Analysis of the cumulative solar ultraviolet radiation in Mexico],” *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, vol. 54, no. 1, pp. 26–31, 2016.
- [16] S. Santander Ballestín and M. J. Luesma Bartolomé, “Toxicity of Different Chemical Components in Sun Cream Filters and Their Impact on Human Health: A Review,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 2, p. 712, Jan. 2023, doi: 10.3390/app13020712.
- [17] P. Boixeda, F. Feltes, J. L. Santiago, and J. Paoli, “Perspectivas de futuro en láseres, nuevas tecnologías y nanotecnología en dermatología,” *Actas Dermo-Sifiliográficas*, vol. 106, no. 3, pp. 168–179, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.ad.2014.07.002.
- [18] I. Khan, K. Saeed, and I. Khan, “Nanoparticles: Properties, applications and toxicities,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 7, pp. 908–931, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.arabjc.2017.05.011.
- [19] D. Li, Y. Liu, and N. Wu, “Application progress of nanotechnology in regenerative medicine of diabetes mellitus,” *Diabetes Research and Clinical Practice*, vol. 190, p. 109966, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.diabres.2022.109966.
- [20] K. Velsankar, G. Parvathy, K. Sankaranarayanan, S. Mohandoss, and S. Sudhahar, “Green synthesis of silver oxide nanoparticles using Panicum miliaceum grains extract for biological applications,” *Advanced Powder Technology*, vol. 33, no. 7, p. 103645, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.appt.2022.103645.
- [21] P. Sharma, M. R. Hasan, N. K. Mehto, Deepak, A. Bishoyi, and J. Narang, “92 years of zinc oxide: has been studied by the scientific community since the 1930s- An overview,” *Sensors International*, vol. 3, p. 100182, 2022, doi: 10.1016/j.sintl.2022.100182.
- [22] S. Baek, S. H. Joo, N. Kumar, and M. Toborek, “Antibacterial effect and toxicity pathways of industrial and sunscreen ZnO nanoparticles on Escherichia coli,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 3024–3032, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.jece.2017.06.009.
- [23] X.-F. Zhang, Z.-G. Liu, W. Shen, and S. Gurunathan, “Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches,” *IJMS*, vol. 17, no. 9, p. 1534, Sep. 2016, doi: 10.3390/ijms17091534.
- [24] Y.-C. Chiang, W.-L. Hsu, S.-Y. Lin, and R.-S. Juang, “Enhanced CO₂ Adsorption on Activated Carbon Fibers Grafted with Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes,” *Materials*, vol. 10, no. 5, p. 511, May 2017, doi: 10.3390/ma10050511.
- [25] Y. H. I. Mohammed *et al.*, “Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Cymbopogon citratus* Extract and Its Antibacterial Activity,” *ACS Omega*, vol. 8, no. 35, pp. 32027–32042, Sep. 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c03908.
- [26] P. Ilangoan, M. S. Sakvai, and A. Basha Kottur, “An electrically active methacrylate based polymer reinforced with ZnO – Synthesis, characterization and dielectric properties,” *Materials Letters*, vol. 183, pp. 240–243, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.matlet.2016.07.120.
- [27] Y. Khan *et al.*, “Classification, Synthetic, and Characterization Approaches to Nanoparticles, and Their Applications in Various Fields of Nanotechnology: A Review,” *Catalysts*, vol. 12, no. 11, p. 1386, Nov. 2022, doi: 10.3390/catal12111386.
- [28] M. Namakka, Md. R. Rahman, K. A. M. B. Said, M. Abdul Mannan, and A. M. Patwary, “A review of nanoparticle synthesis methods, classifications, applications, and characterization,” *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, vol. 20, p. 100900, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.enmm.2023.100900.
- [29] D. Longano, N. Ditaranto, L. Sabbatini, L. Torsi, and N. Cioffi, “Synthesis and

- Antimicrobial Activity of Copper Nanomaterials,” in *Nano-Antimicrobials*, N. Cioffi and M. Rai, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 85–117. doi: 10.1007/978-3-642-24428-5_3.
- [30] S. Rajan *et al.*, “Synthesis of ZnO nanoparticles by precipitation method: Characterizations and applications in decipherment of latent fingerprints,” *Materials Today: Proceedings*, p. S2214785323033151, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.680.
- [31] A. Manohar *et al.*, “Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles for photocatalysis, antibacterial and cytotoxicity in kidney cancer (A498) cell lines,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 874, p. 159868, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.159868.
- [32] A. Salvati *et al.*, “Quantitative measurement of nanoparticle uptake by flow cytometry illustrated by an interlaboratory comparison of the uptake of labelled polystyrene nanoparticles,” *NanoImpact*, vol. 9, pp. 42–50, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.impact.2017.10.004.
- [33] C. F. Holder and R. E. Schaak, “Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials,” *ACS Nano*, vol. 13, no. 7, pp. 7359–7365, Jul. 2019, doi: 10.1021/acsnano.9b05157.
- [34] Z. Xu *et al.*, “Topic Review: Application of Raman Spectroscopy Characterization in Micro/Nano-Machining,” *Micromachines*, vol. 9, no. 7, p. 361, Jul. 2018, doi: 10.3390/mi9070361.
- [35] E. Zabihi, A. Babaei, D. Shahrampour, Z. Arab-Bafrani, K. S. Mirshahidi, and H. J. Majidi, “Facile and rapid in-situ synthesis of chitosan-ZnO nano-hybrids applicable in medical purposes; a novel combination of biomineralization, ultrasound, and bio-safe morphology-conducting agent,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 131, pp. 107–116, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.224.
- [36] N. S. Reddy, B. B. Panigrahi, C. M. Ho, J. H. Kim, and C. S. Lee, “Artificial neural network modeling on the relative importance of alloying elements and heat treatment temperature to the stability of α and β phase in titanium alloys,” *Computational Materials Science*, vol. 107, pp. 175–183, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.commatsci.2015.05.026.
- [37] F. Borges Rosa De Moura *et al.*, “Antioxidant, anti-inflammatory, and wound healing effects of topical silver-doped zinc oxide and silver oxide nanocomposites,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 617, p. 121620, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.121620.
- [38] D. Asmat-Campos, E. C. Asmat-Aguirre, D. A. Delfín-Narciso, L. A. Juárez-Cortijo, R. R. Nazario-Naveda, and R. Rengifo-Penadillos, “Síntesis verde y caracterización de nanopartículas de plata, mediante la acción reductora del extracto acuoso de arándano (*Vaccinium Corymbosum*),” in *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities,”* Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2019. doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.92.
- [39] K. Punjabi, S. Mehta, R. Chavan, V. Chitalia, D. Deogharkar, and S. Deshpande, “Efficiency of Biosynthesized Silver and Zinc Nanoparticles Against Multi-Drug Resistant Pathogens,” *Front. Microbiol.*, vol. 9, p. 2207, Sep. 2018, doi: 10.3389/fmicb.2018.02207.
- [40] Z. Jowkar, Y. Omid, and F. Shafiei, “The effect of silver nanoparticles, zinc oxide nanoparticles, and titanium dioxide nanoparticles on the push-out bond strength of fiber posts,” *J Clin Exp Dent*, pp. e249–e256, 2020, doi: 10.4317/jced.56126.
- [41] N. K. Zeidan, N. M. Enany, G. G. Mohamed, and E. S. Marzouk, “The antibacterial effect of silver, zinc-oxide and

combination of silver/ zinc oxide nanoparticles coating of orthodontic brackets (an in vitro study),” *BMC Oral Health*, vol. 22, no. 1, p. 230, Dec. 2022, doi: 10.1186/s12903-022-02263-6.

[42] X.-Q. Zhou *et al.*, “Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and

Agriculture,” *Processes*, vol. 11, no. 4, p. 1193, Apr. 2023, doi: 10.3390/pr11041193.

[43] N. Tyagi *et al.*, “Comparative analysis of the relative potential of silver, Zinc-oxide and titanium-dioxide nanoparticles against UVB-induced DNA damage for the prevention of skin carcinogenesis,” *Cancer Letters*, vol. 383, no. 1, pp. 53–61, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.canlet.2016.09.026.

Derechos de Autor (c) 2024 Rodrigo Antonio Rojas Labastida, Jazmín Viridiana Pacheco Julián, Guillermo Amaya Parra, Socorro Jiménez Valera



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)