

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DOCTORADO EN CIENCIA DE MATERIALES



TESIS

Título

Desarrollo de un Absorbedor Plasmónico y su Evaluación como Material
Termosolar

Alumno

Mtro. en C. de M. Eduardo Carlos Martínez Zúñiga

TUTOR ACADÉMICO

Dr. Alfredo Rafael Vilchis Néstor

TUTORES ADJUNTOS

Dr. Marco A. Camacho López

Dr. Oscar F. Olea Mejía

JULIO 2023

Desarrollo de un Absorbedor Plasmónico y su Evaluación como Material Termosolar

ÍNDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN / ANTECEDENTES

1.1 Radiación Solar: fuente de energía

1.2 Celdas Solares

1.3 Nanopartículas metálicas

1.3.1. Síntesis de Nanopartículas de Oro y Plata

1.3.1.1. Síntesis Físicos

1.3.1.2. Métodos Químicos

1.3.1.3. Métodos Biológicos

1.4 Soportes Porosos

1.4.1 Anodizado de Aluminio

1.5 Absorbedores Plasmónicos

2.- HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.- DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

3.1 Biosíntesis de Nanopartículas de Oro

3.2 Síntesis por Ablación Laser de Nanopartículas de Oro y Plata

3.3 Anodizado de Aluminio

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Síntesis y caracterización de nanopartículas de oro y plata

4.2. Obtención y caracterización del soporte de óxido de aluminio

4.3. Desarrollo de caracterización del Absorbedor Plasmónico

4.4. Evaluación del Absorbedor Plasmónico con un haz incidente

5.- CONCLUSIONES

6.- REFERENCIAS

7.- ANEXOS

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

Como parte del avance de la nanotecnología ya se han realizado estudios sobre el empleo de estructuras plasmónicas para aplicaciones de captación de luz solar con fines de obtener energía, tales como: celdas térmosolares, células solares de película delgada, fotoquímica y termoeléctrica solar. Estos tipos de desarrollos están integrados por diferentes combinaciones entre nanopartículas y soportes porosos de metales, lo cual ha permitido desarrollar nuevos materiales nanoestructurados que han demostrado que pueden mejorar la absorción del espectro de radiación solar.

Todas estas aplicaciones explotan las capacidades excepcionales de las estructuras plasmónicas para concentrar la energía electromagnética, atrapándola en capas delgadas y generando electrones "calientes". Para aprovechar de manera óptima la energía solar, dichos dispositivos deben cumplir los requisitos inherentes impuestos por la emisión solar, es decir, ser de banda, ultra ancha e insensible a la polarización y al ángulo de incidencia.

Como parte del estudio de las nanopartículas metálicas, las propiedades ópticas son de gran interés debido a que los plasmones en la superficie transforman la energía del campo electromagnético incidente en energía térmica y debido a que los plasmones están localizados permite que en algunas regiones el campo electromagnético aumente varias órdenes de magnitud, en comparación con el campo incidente, lo que permite que la energía alrededor de la nanopartícula aumente y así concentrar la energía en ciertas zonas de la nanopartícula, dependiendo de la morfología y así obtener un incremento térmico en estas zonas.

Debido a que la energía está localizada en algunas zonas de la nanopartícula, se pueden realizar una gran variedad de morfologías que ayuden a que los plasmones de superficie viajen a lo largo de una estructura definida y con un arreglo estructurado de nanopartículas, se puede pensar que ciertas frecuencias de las ondas electromagnéticas, se vean favorecidas y viajen a través de un arreglo definido, estas dos características nos permiten desarrollar dispositivos que generen vapor a partir de la radiación solar o el aumento en la señal SERS (*surface-enhanced Raman scattering*).

En este trabajo se realizará el estudio de la plasmónica de nanopartículas metálicas con morfologías y tamaños variables depositadas en soportes porosos, usando estos dos métodos, se desarrollará un material nanoestructurado que permitirá evaluar la aplicaciones que dependen de

la respuesta plasmónica, con este diseño nanoestructurado obtendremos un absorbedor plasmónico, el cual será diseñado con nanopartículas de oro y plata, obtenidas por dos diferentes métodos de síntesis que permitan controlar su morfología y tamaño de las mismas. Estas nanopartículas serán depositadas sobre un soporte de óxido de aluminio el cual absorberá la radiación incidente y su evaluación será en tres diferentes rangos del espectro electromagnético, así como, su comportamiento cuando es expuesto a la radiación solar.

Como resultado de este diseño de fácil fabricación, obtendremos un aumento en la temperatura del agua, que será nuestro líquido a calentar, después de ser irradiado por una fuente luz artificial y una fuente natural (Radiación Solar).

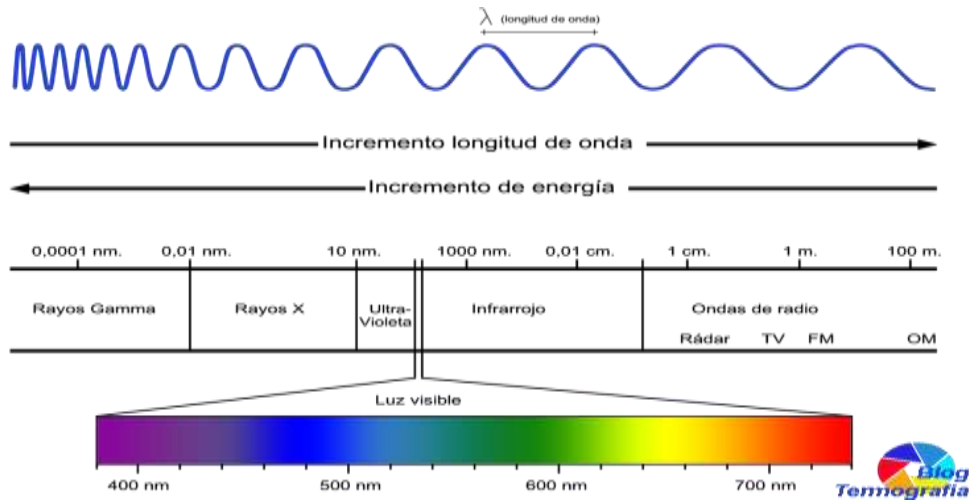


Figura 2. Espectro electromagnético (Blog Termografía)

En la Figura 3 se puede observar la distribución del espectro de radiación Solar y debido a que esta radiación, emitida por el sol se puede desarrollar como un “Cuerpo Negro” podría alcanzar una temperatura de 5250°C aproximadamente, de acuerdo con la ley de Plank.

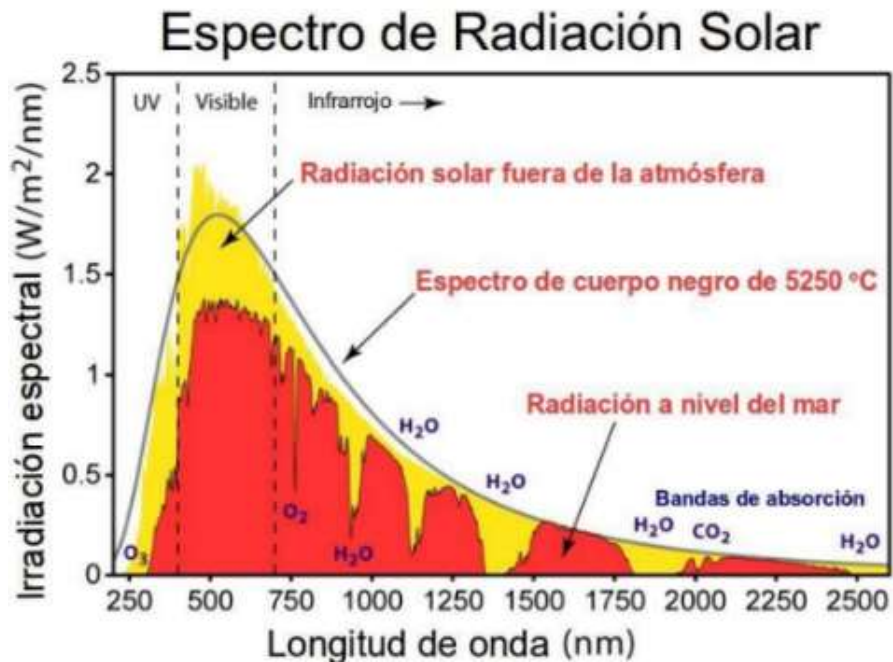


Figura 3. Radiación Solar, curvas espectrales de la intensidad solar antes y después de atravesar la atmósfera; se muestran las bandas de absorción y la curva de radiación de cuerpo negro equivalente a la radiación solar. (Adapted from M. Pagliaro, G. Palmisano, and R. Ciriminna, Flexible Solar Cells, John Wiley, New York (2008))

1.2 Celdas Solares

Para poder aprovechar esta radiación solar y poder convertirla en *Energía Térmica* o *Energía Eléctrica* se necesitan las celdas solares, estos dispositivos se han desarrollado desde la década de los 70's y sus eficiencias han ido en aumento al pasar de los años, (figura 4).

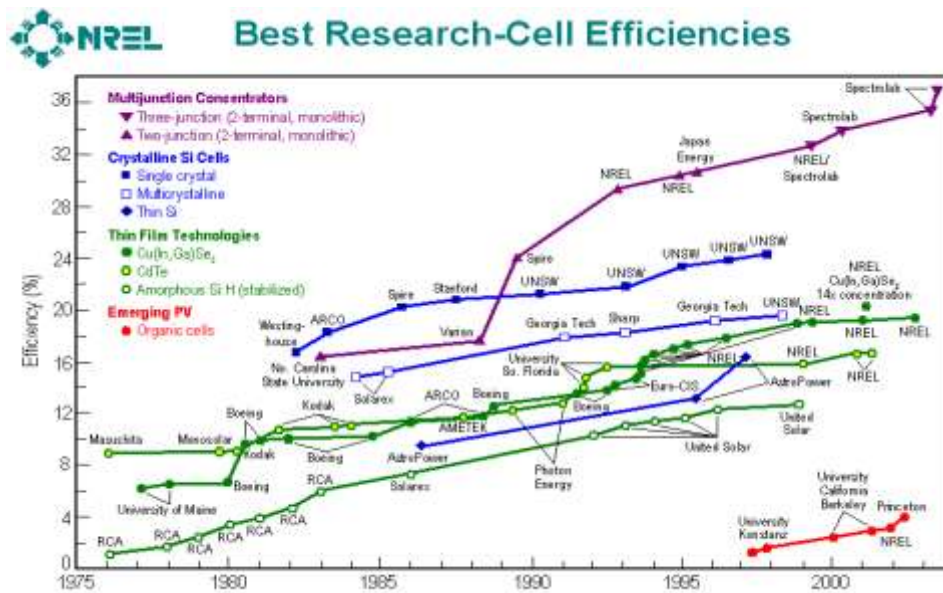


Figura 4. Eficiencias de las Celdas Solares
Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

El desarrollo de este tipo de tecnologías, nos ha permitido obtener energía de una fuente renovable y la más importante es el Sol, por lo que el estudio de cómo aumentar las eficiencias de estos dispositivos se ha incrementado en las últimas décadas y ha permitido mejorar los materiales de fabricación de las celdas solares. Como hemos visto existen dos tipos de celdas solares.

- A) Las fotovoltaicas** que generan electricidad a partir del efecto fotovoltaico, cuando se hace incidir la radiación solar sobre las celdas, los fotones excitan a los electrones del silicio dopado y estos electrones empiezan a moverse entre las capas de silicio-N y la capa de silicio-P, produciéndose la corriente eléctrica.

B) Las termosolares que calientan un fluido y este es transportado para mover algún tipo de turbina y generar electricidad o es calentado para procesos industriales o para consumo en los hogares, en el desarrollo de este trabajo nos enfocaremos en las celdas termosolares.

Las celdas termosolares o calentadores solares están diseñados para absorber la radiación solar y calentar un fluido (agua, aire o aceite), dependiendo de su diseño estos pueden ser fijos o con movimiento para seguir el Sol. Los sistemas solares que utilizan las industrias alcanzan temperaturas altas (mayor a 150°C) y en sistemas residenciales su temperatura es baja (menor a 150°C). En la figura 5, se observan los rendimientos de las diferentes celdas termosolares que existen en el mercado y que discutiremos más adelante.

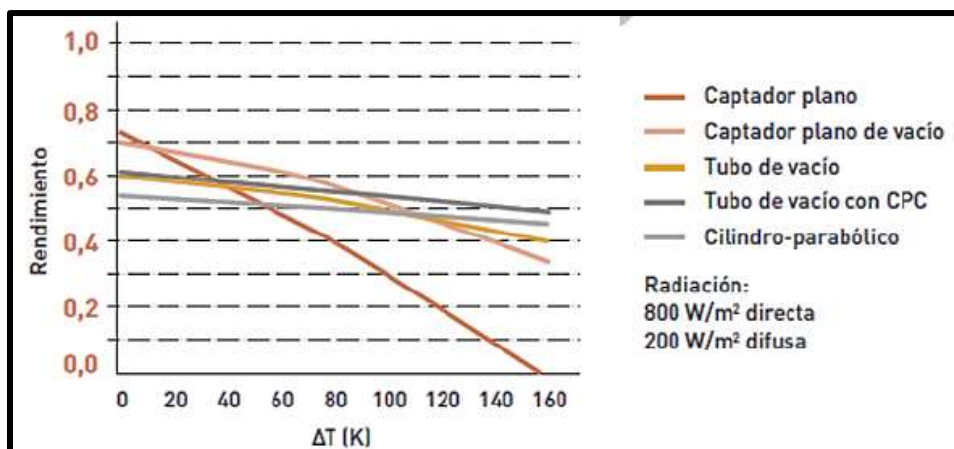


Figura 5. Rendimiento de diferentes tipos de colectores solares (IDEA, Área Tecnológica: Energía Solar Térmica)

Para los sistemas residenciales existen dos tipos de calentadores solares los que son de forma plana y los que utilizan tubos de borosilicato, figura 6. Estos sistemas alcanzan temperaturas de 80°C a lo largo del día y dependen de las condiciones ambientales, su funcionamiento es relativamente sencillo, el agua que circula dentro del calentador solar es calentada por la radiación solar que es absorbida por el tubo de borosilicato o la placa absorbidora de cobre, aluminio o acero inoxidable, dependiendo del diseño. [3]

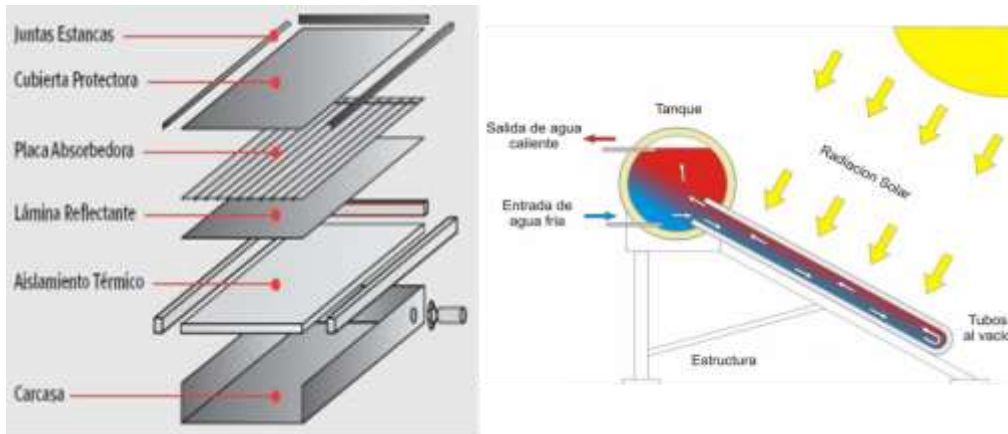


Figura 6. Tipos de Calentadores Solares Residenciales

Otros sistemas termosolares pueden alcanzar temperaturas que van de 150° a 400°C, que son utilizados en las industrias y en la generación de electricidad, para lograr estas temperaturas se necesitan los colectores o los concentradores solares ya sean lineales o de cilindros parabólicos y reflectores, ver figura 7. [4]



Figura 7. Tipos de Sistemas Termosolares para la generación de Electricidad.

(<https://sites.google.com/site/proenergiza/energias-renovables/energia-solar/central-termica-solar>)

Algunas desventajas que se tienen con estos procesos de obtención de energía, es que requerem de una gran cantidad de estos concentradores y a su vez una superficie extensa para poder coleccionar suficiente radiación solar y poder generar las temperaturas requeridas para la producción de electricidad, adicional a esto, también se tiene la dependencia a las condiciones climáticas de la zona donde se localice la planta generadora de electricidad.

Uno de los problemas a los que se enfrentan este tipo de sistemas termosolares, es la eficiencia que se tiene para absorber toda la radiación solar que llega al sistema y que esta energía pueda ser absorbida por el fluido, para que este sea calentado a las temperaturas requeridas. Para poder mejorar este proceso se han diseñado varios materiales nanoestructurados, que permitan mejorar la absorción del espectro solar y la eficiencia de estos sistemas.

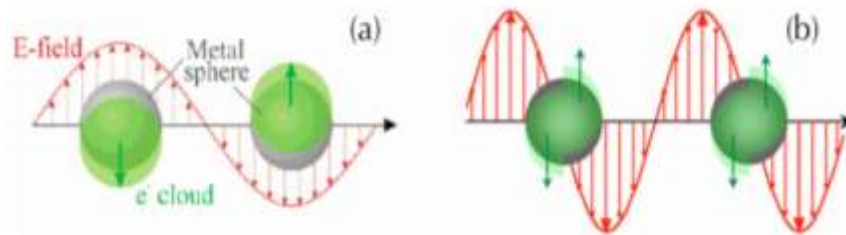
Debido a las diversas morfologías, arreglos nanoestructurados y propiedades ópticas que presentan las nanopartículas de oro, plata y cobre, las hacen buenas candidatas para diseñar sistemas que pueden absorber la radiación solar en diferentes longitudes de onda y así mejorar la eficiencia de estos sistemas. A continuación se abordarán algunas propiedades de las nanopartículas así como sus métodos de obtención para poder obtener geometrías diferentes y con un amplio rango de tamaño entre ellas.

1.3 Nanopartículas Metálicas

El estudio de las propiedades de las nanopartículas ha permitido que cada vez más grupos de investigadores desarrollen nuevos materiales para aplicar estas características que presentan las nanopartículas metálicas y que no se presentan en su forma de bulto. Para poder tener estas propiedades mejoradas, es necesario controlar su forma, tamaño y composición de las nanopartículas, ya que de estas características dependen sus muchas aplicaciones como: catálisis, biosensores, generación de energía, biomateriales, etc. [5]

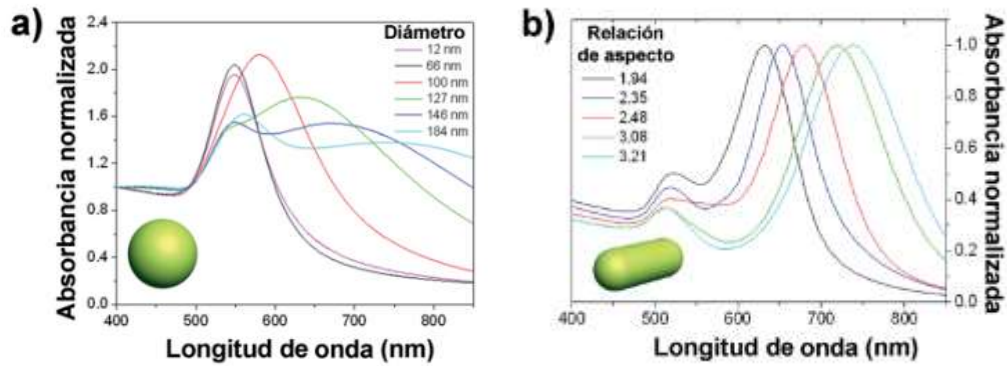
Las nanopartículas de los metales nobles como el oro, plata y cobre han sido muy estudiadas debido a sus múltiples aplicaciones en electrónica, catálisis, productos con características bactericidas, etc. La propiedad óptica que presenta este tipo de nanopartículas ha generado que se diseñen una gran variedad de soportes para la espectroscopía Raman de superficie mejorada (SERS), también pueden ser usados en la fabricación de sensores y una aplicación más común es en productos antimicrobinos.

Debido a sus cuantiosas aplicaciones en campos tecnológicos[6] y a sus propiedades únicas presentes en las nanopartículas metálicas, se ha desarrollado un campo de estudio llamado nanoplasmonica, que en la última década ha permitido estudiar la interacción y propagación de la luz en las nanopartículas, debido a que esta propiedad está directamente relacionada con la oscilación colectiva de los electrones de conducción (plasmón), figura 8, se ha observado que tiene muchas ventajas y una de ellas es la capacidad de enfocar y guiar la luz en escalas inferiores a su longitud de onda y debido a su capacidad de concentrar campos eléctricos intensos en su superficie, estos pueden afectar algunos proceso físicos y químicos que se lleven a cabo en la interface. Esta propiedad está presente cuando los metales tienen escalas nanométricas lo que permite que los electrones estén confinados, una de las características de los plasmones localizados es generar un incremento del campo eléctrico cercano a la interface metálica.[7]



*Figura 8.- Oscilaciones colectivas de la nube electrónica en esferas metálicas:
a) movimiento uniforme
b) movimiento no uniforme
*Cecilia Noguez. Propiedades ópticas de nanopartículas metálicas.

Cuando se forma el plasmón, el campo eléctrico incidente induce la formación del dipolo en la nanopartícula, dando como resultado una fuerza que debe ser compensada y así obtener su equilibrio, de tal forma que solo existe una única frecuencia de resonancia para nanopartículas esféricas. En el caso de las nanopartículas de oro, plata y cobre, esta frecuencia de resonancia cae en la región visible del espectro electromagnético y es por eso que se observan diferentes colores, característicos de este tipo de nanopartículas. Debido a que la forma y tamaño de la nanopartícula influye la respuesta óptica, esta puede ser observada en los espectros de UV-Visible de nanopartículas. En la figuras 9a y 9b, se puede observar la relación de tiene la forma de las nanopartículas de oro y la resonancia del plasmón superficial, obtenidos por UV-Vis.



*Figura 9: Espectros UV-visible de hidrosoles

(a) nanoesferas de oro de diversos tamaños.

(b) nanocilindros de distintas relaciones de aspecto.^[1]

*Andrés Guerrero Martínez, Ramón A. Álvarez Puebla, Luis M. Liz Marzán.
Nanoplasmonica basada en Química Coloidal

Los distintos efectos que presentan las bandas plasmónicas se deben a la interacción de la luz con los electrones superficiales por la absorción y la dispersión que se presenta al incidir un haz de luz, por lo que son bandas plasmónicas de excitación.^[8] El comportamiento de estas bandas plasmónicas depende de su morfología y tamaño, por ejemplo si las nanopartículas son esféricas y muy pequeñas, comparadas con la longitud de onda del haz incidente, solo se produce una resonancia dipolar. Las esferas más grandes presentan pérdidas, debido a un incremento del efecto de dispersión de la luz superficial, estas pérdidas provocan una disminución en la eficiencia de la resonancia, originando un ensanchamiento y desplazamiento de la banda plasmónica hacia energías menores, estos tamaños son capaces de presentar resonancias plasmónicas cuadrupolares, que dan como resultado una segunda banda de excitación a mayores frecuencias ^[9].

En la figura 9 se observa el movimiento de la nube electrónica cuando:

- a) El desplazamiento que tienen las cargas de una nanopartícula esférica, se puede considerar que es homogénea, por lo que se puede describir mediante una distribución dipolar
- b) Cuando la nanopartícula ya no es esférica y tiene una dimensión más grande que la otra, el movimiento de la nube electrónica respecto al núcleo ya no es uniforme, por

lo que la distribución de carga en la superficie, se puede describir mediante momento multipolares.

Otro efecto que se ha estudiado, es el acoplamiento de plasmones localizados de dos nanopartículas metálicas, el cual depende de la morfología, tamaño y la distancia que existe entre ellas. Cuando existe un espacio interpartícula se genera una alta intensificación del campo electromagnético (*hot spots*), que depende del plasmón localizado y de la distribución de carga en la superficie.

Debido a la generación de la resonancia plasmónica superficial localizada los dos efectos están presentes, lo que ocasiona que una parte de la energía del movimiento de los electrones se pierda como calor en la interacción con la red metálica. Otro efecto, es el movimiento de los electrones, en comparación con el núcleo, que genera un dipolo oscilante, el cual emite radiación electromagnética de igual frecuencia a la de oscilación [10]. Debido a estas características las aplicaciones pueden ser muy variadas, por ejemplo, se han utilizado en algunas terapias, en el tratamiento de cáncer[11], otra aplicación importante de la plasmónica es mejorar la sensibilidad en los sensores y mejorar las señales de algunas espectroscopias en unas zonas del espectro, por ejemplo, se ha estudiado el efecto de la cercanía que tienen las nanopartículas metálicas con la fluorescencia y también se ha observado que en la espectroscopia Raman de moléculas, se logra una amplificación de hasta 10^{12} veces, mejorando la detección de moléculas en esas técnicas espectroscopias.

También se ha referenciado que la forma que presentan las nanopartículas, como por ejemplo, triángulos, cuadrados, hexágonos, etc. tienen mayor número de resonancias, lo cual mejora cuando las nanoestructuras presentan vértices definidos en su morfología [12] y si los ángulos internos de los vértices son más agudos, incrementan el número de resonancias, lo cual, mejora la zona de frecuencias de excitación y como resultado se favorece la localización y aumenta el campo electromagnético.[13]. Esta característica de tener picos en su morfología permite que se concentre la energía en estos vértices generando una mayor intensidad en esa zona y que se genere más calor el cual puede ser transferido a un líquido. (Figura 10)

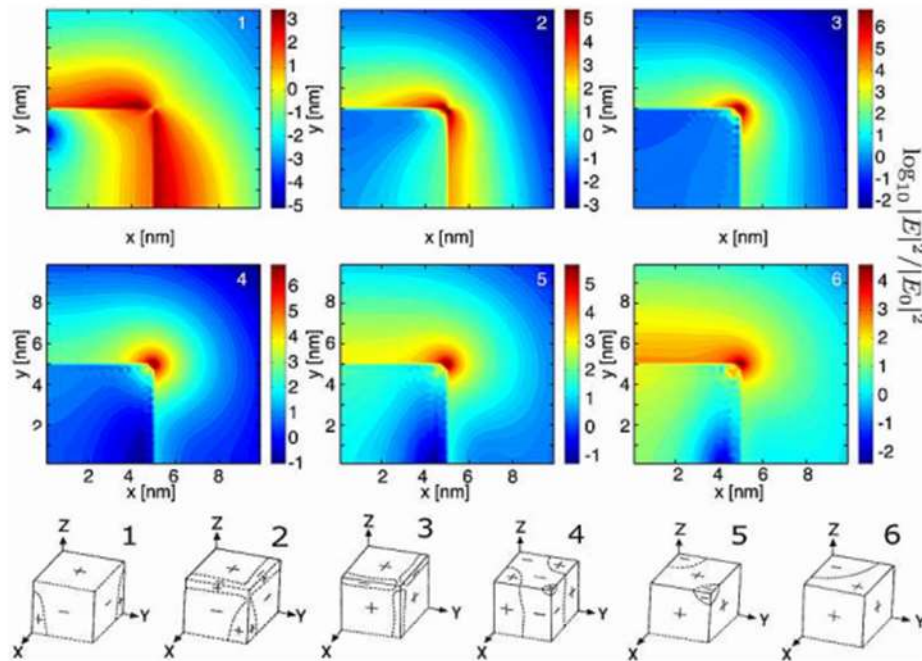


Figura 10: Amplitud del campo electromagnético de nanocubos de plata en aire. Física a la escala nanométrica por Cecilia Noguez.

1.3.1 Métodos de Síntesis de Nanopartículas

Para poder obtener nanopartículas con las características específicas de forma, tamaño y maximizar las características del plasmón superficial es necesario tener métodos de síntesis de nanopartículas que nos permitan modificar la morfología de las mismas y así mejorar las características que se requiera, un aspecto fundamental de la síntesis de nanopartículas es su estabilización, debido a que deben de mantener su tamaño y su forma con respecto al tiempo. Principalmente existen dos métodos generales para la síntesis de nanopartículas que son “Top-down y el Bottom-up”, el Top-down consiste en una molienda del material hasta alcanzar el tamaño manométrico, el Bottom-up consiste en ensamblar átomos o moléculas y se utilizan procesos químicos. Estas técnicas están resumidas en: métodos físicos, síntesis química y métodos biológicos (figura 11).

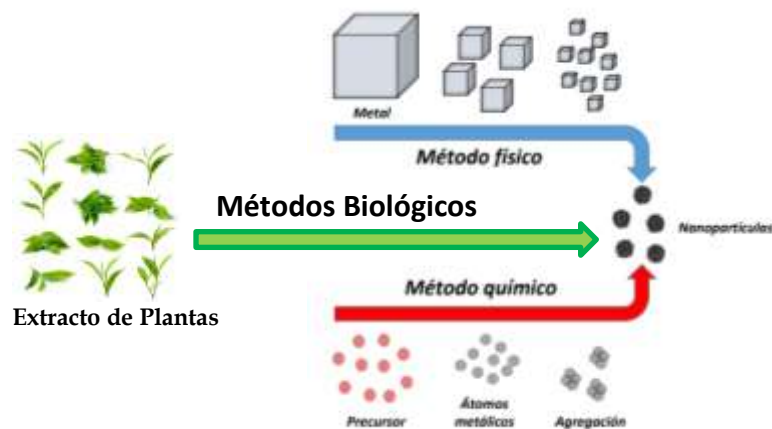


Figura 11: Métodos de obtención de nanopartículas.

1.3.1.1 Métodos Físicos

Este tipo de métodos se inicia de un material macroscópico hasta alcanzar un tamaño nanométrico, entre estos métodos tenemos los sistemas de pulido mecánico, molienda seca o húmeda, deposición física de vapor, las técnicas de ablación láser, etc. [14] Con estos tipos de métodos se obtienen nanopartículas con una gran diferencia de tamaños y si no se tiene cuidado se pueden presentar contaminaciones de algún otro elemento.

1.3.1.2 Métodos Químicos

Este tipo de síntesis incluye reacciones químicas que permiten el control del tamaño y morfología que se requiera de las nanopartículas. En este proceso la etapa inicial es tener los átomos libres en la solución, para que después siga un proceso de nucleación y finalmente se desarrolle la etapa de crecimiento de las nanopartículas. Para cada disolvente existe un grado de solubilidad para cada soluto, es por eso, que la saturación del soluto dará como consecuencia una precipitación y no la formación de nanopartículas.[15] Entre los métodos de este tipo se tienen: el método Sol-Gel [16], Tratamiento Hidrotermal [17, 18], Química Coloidal [19], Reducción Química del Poliol [20], etc.

1.3.1.3 Métodos Biológicos

Este método de obtención de nanopartículas es considerada como “síntesis verde” la cual ha generado un gran interés debido a que en sus procesos se utilizan: bacterias [21,22], hongos[23], plantas o sus extractos[24] y como no se utilizan reactivos tóxicos ha generado una alternativa, no dañina al medio ambiente y ha permitido obtener nanopartículas de formas y tamaños variados, lo que ha aventajado a los métodos químicos y físicos, debido a sus bajos costos y gran variedad de nanopartículas obtenidas. Este método ha resultado ser una buena alternativa para la síntesis de nanopartículas. Actualmente se siguen estudiando diversas plantas y microorganismos para controlar el tamaño y forma de las nanopartículas obtenidas.

En los estudios más recientes se han encontrado métodos que nos permiten tener el control de la morfología requerida, como por ejemplo el uso del extracto de la planta de limoncillo (*Cymbopogon flexuosus*) [25] el cual da como resultado nanopartículas de oro triangulares monocristalinas. Con este tipo de nanoestructuras se puede observar una absorbancia máxima cerca del infrarrojo (NIR) [26].

Muchos investigadores han reportado la biosíntesis de nanopartículas metálicas por extractos de hojas de plantas y sus aplicaciones. Siavash Iravani* *et al.* tiene un estudio de bio-reducción de iones de oro y plata por extracto de hojas de *Pelargonium graveolens* y *Azadirachta indica*, etc. [27], en la figura 12 se resumen las diferentes formas y tamaño de las nanopartículas obtenidas por síntesis biológica.

Planta	Nanopartícula	Tamaño (nm)	Morfología
<i>Aloe vera</i>	plata y oro		triangular y esférica
<i>Acalypha indica</i>	plata	20 - 30	esférica
Hojas de Te Negro	oro y plata	20	esféricas y prismas
<i>Camellia sinensis</i>	oro	40	esférica, triangular, irregular
<i>Carica papaya</i>	plata	60 - 80	esférica
<i>Cymbopogon flexuosus</i>	oro	200 -500	esféricas y triangular
Miel	plata	4	esféricas
<i>Musa paradisiaca</i>	plata		irregular
Té Verde (<i>Camellia sinensis</i>) ^{Ref. 52}	plata	5 - 11	esférica
Nopal (<i>Opuntia sp.</i>) ^{Ref.53}	plata	4 -23	esférica
Manzana (<i>Malus domestica</i>) ^{Ref 54}	plata	100	esférica
Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>) ^{Ref 55}	plata	12 - 50	esférica
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>) ^{Ref 56}	plata	50	esférica
Tocojote (<i>Crataegus gracilior Phipps</i>) ^{Ref 57}	plata	20 - 50	esferoidal
Ajo (<i>Allium sativum</i>) ^{Ref 58}	plata	15	esférica
Guanábana (<i>Annona muricata</i>) ^{Ref 59}	plata	10 – 28	cuasi-esférica

*Figura 12.- Tabla de síntesis biológica.

*Siavash Irvani, Green Chemistry.

Utilizando estos métodos podemos sintetizar una gran variedad de nanopartículas metálicas con morfologías diferentes y resaltar las características que se requiera para ser utilizadas en diferentes procesos médicos, desarrollar nuevos materiales, mejorar las características de polímeros, etc, esto dependerá de la aplicación que se necesite.

Para poder utilizar estas nanopartículas se necesitan algún tipo de soporte donde se van a depositar las nanopartículas, entre ellos podemos mencionar: vidrio, óxidos poroso, celulosa, etc, esto también dependerá del uso que se le dé al material.

1.4 Soportes

Para favorecer la respuesta plasmónica se hace uso de un soporte, donde se depositan las nanopartículas, como: polímeros, alúmina, óxido de silicio, etc. y con un arreglo en su superficie nos permite tener la probabilidad de generar más *hot spots*. Debido a la forma y tamaño de las nanopartículas y la interacción que se tiene con estos soportes se

podrían generar reflexiones múltiples (Figura 13) y desarrollar dispositivos que permitan un aumento en la señal SERS (*surface-enhanced Raman scattering*) y aplicaciones en la generación de energía termosolar.

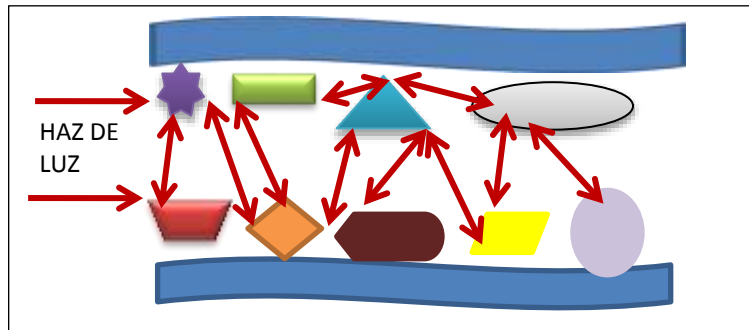


Figura 13. Representación esquemática de reflexiones múltiples

Debido a que el tamaño de poro en los soportes debe ser adecuado para el depósito de las nanopartículas, el método de anodizado de aluminio nos permitiría tener poros de Al_2O_3 y así con este soporte generar sistemas con nanopartículas de morfología diferente y evaluar su desempeño como material termosolar.

1.4.1 Anodizado de Aluminio Comercial.

El aluminio es un material que resiste las condiciones ambientales debido a que se recubre por una película delgada de óxido, cuando entra en contacto con el oxígeno del aire, su espesor de esta película de Al_2O_3 es aproximadamente de 0.01 micras, cuando el aluminio está recién cortado y se somete a tratamientos térmicos puede llegar a tener un espesor de 0.2 ó 0.4 micras. Para mejorar la película delgada de óxido de aluminio, hacerla más gruesa y mejorar sus características, se han desarrollado métodos químicos y electrolíticos que nos permiten tener el control de esta capa de Al_2O_3 que se genera en la superficie del aluminio.

Esta técnica de anodizado nos da la opción de obtener capas que tienen un espesor de 25 – 30 micras aproximadamente, para que el aluminio tenga una mejor protección y con fines decorativos, se somete a un tratamiento que se conoce como anodizado duro, del cual se obtiene espesores de 100 micras.

Con este tipo de tratamiento sobre el aluminio se han llegado a obtener una película de Al_2O_3 con poros ordenados y de tamaño nanométrico, esto ha despertado un gran interés científico y tecnológico, porque se han obtenido poros muy ordenados espacialmente y se ha logrado una alta densidad de poros,[28] una de los usos que se le han dado a este tipo de plantillas nanoporosas, es la obtención de semiconductores para la fabricación de dispositivos electrónicos y electro-ópticos,[29] también se han usado para obtener estructuras unidimensionales como nanohilos y nanotubos.[30] En general la alúmina porosa permite tener un soporte con nanoporos bien definidos y de tamaño controlable.

Se han desarrollado diferentes métodos para lograr modificar el diámetro de poro, [31] uno de ellos, es la influencia de las condiciones de anodizado y otro menos estudiado es el ensanchamiento de poros en electrolitos ácidos, controlando la temperatura del electrolito [32]. Los trabajos recientes se han centrado en como el tiempo de tratamiento en medio ácido determina el tamaño del poro y la distancia entre ellos [33].

El anodizado de aluminio consiste en tener una concentración conocida de algún ácido, base o sal que funciona como electrolito, en el cátodo (polo negativo) se coloca un electrodo de níquel, plomo o una placa de aluminio que puede servir como electrodo, y en el ánodo (polo positivo) se coloca el material, al cual se le desarrollaran los poros, figura 14. Si se colocan adecuadamente se observara un burbujeo, que indica el desprendimiento de hidrógeno en el cátodo, que proviene de la disociación electrolítica del agua y en el ánodo no se observara este burbujeo.

Por otra parte el oxígeno generado de la disociación electrolítica del agua, es reutilizado para oxidar el aluminio en el ánodo; es por eso que es conocida como «Oxidación anódica» o «Anodizado», por lo tanto la buena selección de la concentración del electrolito es de suma importancia en este tipo de procedimientos, ya que permite, obtener una capa de óxido de aluminio de buena calidad, tamaño y densidad de poros.

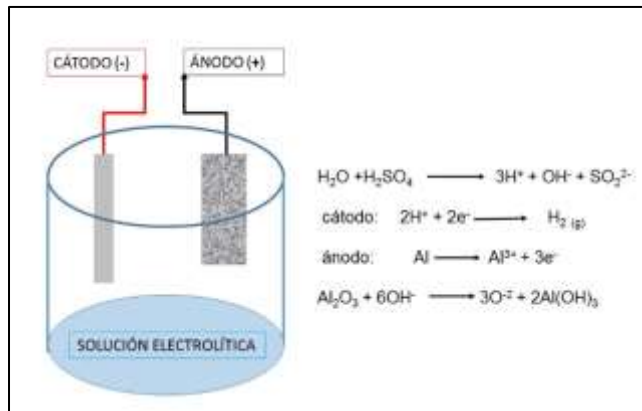


Figura 14. Esquema de Anodizado de Aluminio
 Scientia et Technica Año XIII, No 34, Mayo de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

Estudios recientes han demostrado que existen dos etapas principales para generar la capa de óxido de aluminio:

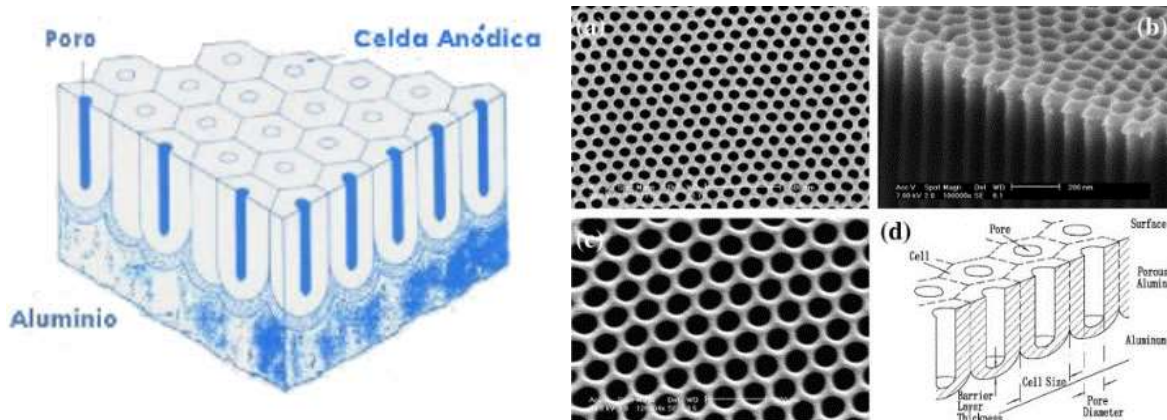
a) La primera etapa es el crecimiento de la película óxido de aluminio, que se genera del exterior al interior, derivado de un proceso electro-químico, donde existe una velocidad de oxidación V_o .

b) La segunda etapa es la disolución de la película de óxido de aluminio, la cual es realizado por fenómeno químico (relacionado con el fenómeno eléctrico), de donde la cual resulta una velocidad de disolución V_d .

Con el tiempo se genera una serie de puntos en la placa de aluminio, lo cual indica la formación de óxido de aluminio, debido a la disociación del electrolito y a la diferencia de potencial generado en el sistema, comenzando la formación de poros en la placa de aluminio.

Este óxido formado por este proceso de la alúmina anhidra, en estado amorfo (Al_2O_3) está realizado por un apilamiento de forma hexagonal yuxtapuesta, la cual será de alúmina amorfa, en el centro del poro, que es poco resistente a los ácidos, mientras que en la circunferencia se generara alúmina cristalina la cual es muy resistente a medios ácidos.

Este óxido de aluminio formado en la superficie puede ser controlado por el electrolito, el voltaje aplicado y la temperatura del sistema, debido a esto, es necesario tener un control de estos tres factores para poder obtener una buena distribución de poros en el aluminio, como los reportados por Lin Zhou, *et al.* [34] y que se muestran en la figura 15.



*Figura 15: Formación de microporos de aluminio
 (a) Vista superior de la formación de los microporos de aluminio
 (b) Vista transversal de la alúmina porosa.
 (c) Alúmina de menor grosor de pared.
 (d) Esquema de la alúmina porosa.

*Lin Zhou, Self-assembly of highly efficient, broadband plasmonic absorbers for solar steam generation

1.5 Absorbedores Plasmónicos

Con el estudio de las nanopartículas y sus propiedades se han abierto varios campos de estudio y se han desarrollado nuevos materiales con propiedades únicas, que pueden ser utilizados en medicina, electrónica, materiales termosolares, industria automotriz, etc. Para el trabajo propuesto haremos uso de nanopartículas de oro o plata, previamente caracterizadas que serán depositadas sobre un soporte de aluminio poroso, que tendrá la función de un Absorbedor Plasmónico el cual será evaluado a diferentes longitudes de onda y en condiciones ambientales.

El estudio de las propiedades plasmónicas que presentan las nanopartículas ha sido de gran importancia en el desarrollo de Absorbedores Plasmónicos y sus aplicaciones en la generación de vapor solar y termofotovoltaica. Estos sistemas nanoestructurados tienen en su superficie nanopartículas de oro, plata o cobre de diferentes morfologías las cuales están

soportadas en polímeros, vidrio y óxidos metálicos, lo que permiten tener una mejor absorción de la luz incidente a varias longitudes de onda mejorando los rendimientos de las celdas termosolares.

Varios investigadores han desarrollado gran variedad de absorbedores plasmónicos con una gran variedad de formas y utilizando diversos soportes, para poder mejorar los procesos de absorción del espectro electromagnético y así mejorar las eficiencias de estos dispositivos.

Tal es el trabajo de Huixuan Gao, *et al.* [35] diseñaron un absorbedor, que consiste en un diseño de cuatro capas de sílice-nitruro de titanio-sílice-nitruro de titanio, obteniendo un espesor ultrafino de 325 nm, en la parte superior se encuentran nanodiscos de TiN, de 40 nm de altura. Otro estudio es el de Keisuke Nakayama, *et al.* [36] donde aumenta las eficiencias de las celdas solares de arseniuro de galio (GaAs), decorándolas con nanopartículas de plata.

Un diseño de absorbedor plasmónico con diversa capas de tamaño nanométrico fue reportado por Yiting Chen, *et al.* [37], el cual fue realizado con un sustrato de vidrio que se cubre con una película de 4 nm de titanio, después se coloca, una capa de oro de unos 80 nm y por último de capa de alúmina de 28 nm de espesor por evaporación con haz de electrones (E-beam).

Estos absorbedores plasmónicos se han desarrollado con varios métodos y utilizando diversos soportes, los cuales suelen ser difíciles de realizar y en algunos casos costosos en su diseño, es por eso que en este trabajo se realizara un absorbedor plasmónico diseñado con nanopartículas de oro o plata obtenidas por métodos de síntesis no tan complejas y amigables con el ambiente y el soporte será diseñado a partir de un aluminio comercial.

El estudio de la plasmónica ha permitido conocer más sobre la interacción que tienen las nanopartículas de metales nobles como el oro y la plata al ser sometidos a una fuente externa de luz, esto debido a que por sus características, estos metales generan un calor altamente eficiente y su efecto de calentamiento se vuelve más intenso, cuando la energía de los fotones incidentes se aproximan a la frecuencia del plasmón de la nanopartícula [38].

Algunas aplicaciones donde se ha utilizado este efecto de calentamiento de las nanopartículas de oro o plata, son: terapias fototérmicas para el tratamiento de cáncer [39-40-41], recolección de energía solar [42], en espectroscopia Raman mejorando la superficie (SERS) [43-44] espectroscopia de absorción infrarroja (SEIRA) [45], entre otras.

Debido a las diferentes aplicaciones que tiene este efecto de calentamiento de las nanopartículas muchos trabajos teóricos y experimentales, han utilizado diferentes modelos para poder predecir la interacción que tiene un haz de luz sobre la nanopartícula y como consecuencia la temperatura que se logra obtener. Mie (Mie, G. Ann. Physik 1908) fue el primer investigador en resolver las ecuaciones de Maxwell [46], para el estudio del efecto de la resonancia plasmónica de superficie que presentan las nanopartículas.

La ecuación se muestra a continuación:

$$\sigma_{\text{ext}} = \frac{9V\epsilon_m^{3/2}}{c} \frac{\omega\epsilon_2(\omega)}{[\epsilon_1(\omega) + 2\epsilon_m]^2 + \epsilon_2(\omega)^2}$$

Dónde:

- V = Volumen de partículas esféricas
- c = Velocidad de la luz
- ω = Frecuencia angular de la radiación excitante
- ϵ_m = Constante dieléctrica del medio circundante (se supone que es independiente de la frecuencia)
- $\epsilon_1(\omega)$ y $\epsilon_2(\omega)$ = Parte real y parte imaginaria de la función dieléctrica del material de la partícula respectivamente ($\epsilon(\omega) = \epsilon_1(\omega) + i\epsilon_2(\omega)$)

Un estudio de investigador Padilla y su equipo [47], explica la teoría de los absorbedores de metamateriales y ondas electromagnéticas, basado en la ecuación de Fresnel [48], la reflectividad en la unión del aire y de un medio con un índice de refracción “n”.

$$n = \sqrt{\mu\epsilon}$$

Donde:

- n = índice de refracción
- μ = Permeabilidad del vacío, $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m
- ϵ = permitividad del material, $\epsilon_0=8.8542 \cdot 10^{-12}$ F/m

Para las ondas polarizadas transversales eléctricas (TE) y magnéticas transversales (TM) queda de la siguiente manera:

$$R_{TE} = \left| \frac{\cos\theta - \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{\mu_r}}{\cos\theta + \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{\mu_r}} \right|^2 \quad R_{TM} = \left| \frac{\epsilon_r \cos\theta - \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{\epsilon_r \cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \right|^2$$

Donde:

- θ = ángulo de incidencia
- n = índice de refracción
- ϵ = Permitividad del medio (metamaterial)
- μ = la permeabilidad del medio (metamaterial)

Si el ángulo de incidencia ($\theta = 0$), la ecuación anterior queda de la siguiente forma:

$$R_{TE} = \left| \frac{1 - \frac{n}{\mu_r}}{1 + \frac{n}{\mu_r}} \right|^2 \quad R_{TM} = \left| \frac{\epsilon_r - n}{\epsilon_r + n} \right|^2$$

Si se diseña un material que no tenga reflectividad para las dos polarizaciones, las dos ecuaciones anteriores deben ser iguales a cero, lo que equivale a $\mu r = \epsilon r$. Esto da como resultado que la impedancia del metamaterial debe ser parecida a la del aire para que se pueda reducir la pérdida por reflexión a cero y lo que nos indica la regla de Kirchhoff, donde la suma de la transmitancia T, la reflectancia R y la absorbancia A debe ser igual a 1 en ausencia de dispersión y difracción [49]. Considerando estas dos condiciones, se puede decir que si la impedancia de un metamaterial es similar con la del espacio libre y el medio es opaco ($T=0$), la luz puede ser absorbida totalmente [50].

Otro estudio fue realizado por Richardson y colaboradores, con el objetivo de estudiar los procesos de generación de calor y fusión en el nivel de nanoescala, con un sistema de nanopartículas de oro en una matriz de hielo [51], por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{\max}(I_0) = \frac{R_{\text{AuNP}}^2}{3k_{\text{ice}}} \text{Re} \left[i\omega \frac{1 - \epsilon_{\text{Au}}(\omega_{\text{laser}})}{8\pi} \left| \frac{3\epsilon_{\text{ice}}}{2\epsilon_{\text{ice}} + \epsilon_{\text{Au}}(\omega)} \right|^2 \right] \frac{8\pi \cdot I_0}{c\sqrt{\epsilon_{\text{ice}}}}$$

Donde:

- R_{AuNP} = radio de la nanopartícula de oro
- K_{ice} = conductividad térmica del hielo
- I_0 = intensidad del láser
- ω_{laser} = frecuencia del láser

Con este experimento se determinó la cantidad de calor que emiten las nanopartículas de oro en una matriz de hielo. Con este trabajo, no solo se pudo medir la respuesta óptica sino también la respuesta térmica (la generación de calor)

Otra forma de calcular el calor generado por las nanopartículas en un sistema donde se calienta agua, es por medio de la fórmula de calor específico que es la cantidad de calor que se necesita para que una cantidad de sustancia aumente su temperatura en un grado Celsius.

$$Q = m \cdot C_c \cdot (T_f - T_i)$$

Q = calor

m = masa Kg

C_c = calor específico

T_i = temperatura inicial

T_f = temperatura final

Calor específico del agua

= 4186 Julios/Kg \cdot $^{\circ}$ K

= 1.0 cal/gramo $^{\circ}$ C

= 4.186 Julios/gramo $^{\circ}$ C

$$Q = 50 \text{ g} \cdot 4.186 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (100 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 15697.5 \text{ J}$$

$$Q = 50 \text{ g} \cdot 1.0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (100 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 3750.0 \text{ cal}$$

2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

Utilizando un soporte de óxido de aluminio y un arreglo nanoestructurado de nanopartículas de Oro o Plata, se desarrollará un Absorbedor Plasmónico, el cual mejorará la respuesta absorbente y será evaluado como un material termosolar.

Objetivo General

Desarrollar un Sistema Fototérmico con nanopartículas de oro o plata con diferentes morfologías, depositadas en un soporte de óxido de aluminio, el cual absorberá la luz incidente y este sistema aumentará la temperatura del agua.

Objetivos Específicos

- Obtener el soporte de óxido de aluminio por el método de anodizado de aluminio.
- Caracterizar por SEM y EDS los soportes de óxido de aluminio.
- Sintetizar y caracterizar por TEM y UV-vis de nanopartículas de oro asistida por extractos de planta como agentes reductores y estabilizadores.
- Sintetizar y caracterizar nanopartículas de oro y de plata, por el método de ablación laser.
- Desarrollar un absorbedor plasmónico basado con nanopartículas de oro y/o plata con diferentes morfologías sobre un soporte de óxido de aluminio
- Caracterizar los Absorbedores Plasmónicos por SEM, EDS y mapeo químico.

3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Para desarrollar el Absorbedor Plasmónico, que se propone en este trabajo, se utilizarán dos tipos de síntesis de nanopartículas la biosíntesis con extractos de plantas y Ablación Laser, debido a que, con estos métodos se puede obtener nanopartículas de oro o plata con una gran variedad de tamaños y diferentes morfologías, lo que nos permitirá controlar estas dos características.

Después de sintetizar las nanopartículas se procederá a obtener el soporte poroso de Aluminio, por el método de Anodizado de Aluminio, este método nos permitirá obtener diferentes tamaños de poros, variando la concentración de Ácido Sulfúrico y la corriente suministrada al sistema. Una vez que se tenga la caracterización por microscopia electrónica de transmisión de las nanopartículas obtenidas y las imágenes de SEM del soporte poroso, se continuará con el proceso de depositar las nanopartículas sobre el soporte poroso de aluminio, después de obtener diversos sistemas con nanopartículas de oro o plata depositadas en la placa de aluminio porosa, esta se colocara bajo una fuente de irradiación, una con luz natural (Radiación Solar) y otra con una fuente de luz artificial de diferentes longitudes de onda.

3.1 Biosíntesis de Nanopartículas de Oro

Para realizar esta síntesis se preparará el extracto de planta seleccionada previamente, dependiendo de la forma y tamaño que se requiera de la nanopartícula, el primer paso consiste en limpiar y moler la hoja de la planta seleccionada y después se depositará en una matraz con agua destilada, se llevará a ebullición y se dejara enfriar a temperatura ambiente, por último se filtrará la solución a vacío y se obtendrá el extracto de que se utilizará en la síntesis. (Figura 16)

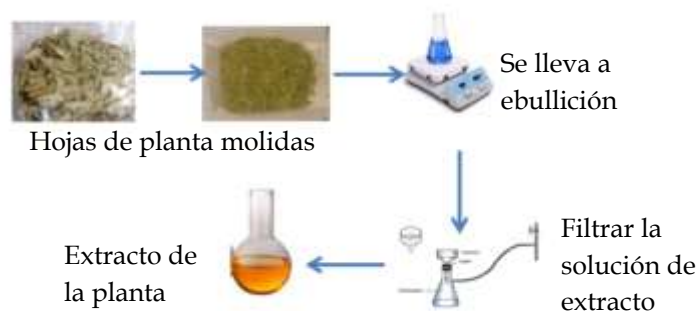


Figura 16. Diagrama de flujo para extracto de té

A continuación se adicionará una solución del metal, se mantendrá a temperatura ambiente y agitación constante. (Figura 17)



Figura 17. Diagrama para síntesis de nanopartículas

En este trabajo se utilizará extracto de *Cymbopogon citratus* (Te Limón) y *Citrus paradisi* (Cascaras de toronja) para la biosíntesis de las nanopartículas de Oro. Se colocará 1.0 gr de *Cymbopogon citratus* en 100 ml de agua hirviendo y se dejará hervir por 5.0 min, se enfriará a temperatura ambiente y esta solución se hará pasar por un papel filtro. En un vaso de precipitado de 150 ml se colocarán 10.0 ml de Té Verde y se adicionan 5.0 ml de Ácido Tetracloroaurico (10^{-3} M) gota a gota, con agitación constante por 2.0 horas.

Para la síntesis de nanopartículas con cascara de toronja, primero se pesarán 10.0 gr de cascara de toronja, previamente limpia y cortada en pequeños trozos y se colocará en una vaso de precipitado de 250 ml con 100 ml de agua destilada y se llevará a ebullición por 10.0 min, se dejará enfriar a temperatura ambiente y se filtrará la solución. Se colocarán 10.0 ml de este filtrado, en un vaso de precipitado con agitación constante y temperatura ambiente y se adicionará el ácido Tetracloroaurico (5.0 ml a una concentración de 10^{-3} M) y se colocará en una parrilla de agitación.

3.2. Síntesis por Ablación Laser de Nanopartículas de Oro y Plata

Esta técnica permite el control de nanopartículas debido a un rápido enfriamiento de los integrantes de la ablación en la periferia que existe entre el plasma y el líquido. Esta técnica genera la formación de nanoclusters en una solución surfactante con la generación de una solución coloidal de nanopartículas. Este método es muy utilizado en la obtención de diferentes tipos de nanopartículas como metales nobles, aleaciones y óxidos

Una característica de este método es la generación de nanopartículas cristalinas definidas en un solo proceso, sin la necesidad de algún tratamiento térmico o algún tipo de separación. (Figura 18). Con este método se obtendrán nanopartículas de oro y plata para posteriormente depositarlas en el soporte de óxido de aluminio.

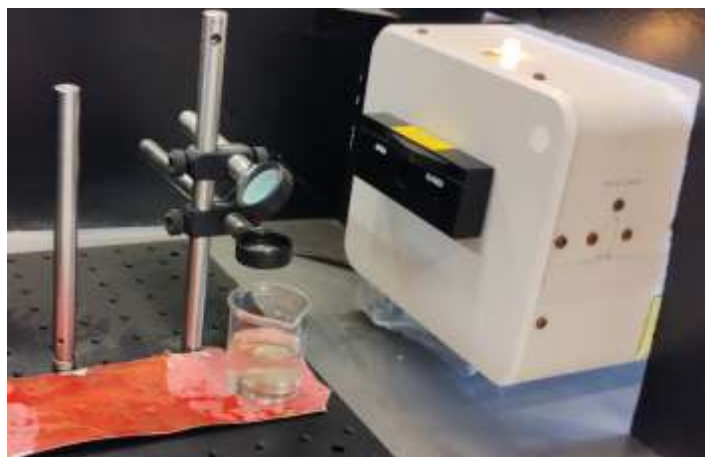


Figura 18. Obtención de nanopartículas por el método de Ablación Laser

El método de ablación laser en medio líquido, es un método el cual nos permite tener una gran variedad de tamaños de nanopartículas, que es una característica que se estará evaluando en este trabajo. Los parámetros establecidos para este método de síntesis serán los siguientes: se utilizará un láser marca Continuum modelo Surelite I, laser de Nd:YAG, la energía del láser fue de 20 mJ/pulso con una duración de pulso de 6.0 nanosegundos, la Fluencia es de 1.14 J/cm². Se utilizará un estándar de oro y de plata con una pureza de 99.99%, de la marca J.K. Lesker y como solvente se utilizará agua destilada (figura 16).

3.3 Anodizado de Aluminio

Para obtener una capa de óxido de Aluminio y utilizarlo como soporte para las nanopartículas, se utilizará el método de Anodizado de Aluminio, el cual consiste en generar una capa superficial delgada microporosa o nanoporosa de Al_2O_3 , donde el tamaño de los poros depende de las variables de tiempo, concentración, temperatura y voltaje que se utilicen en la celda electroquímica, como se muestra en la figura 19.

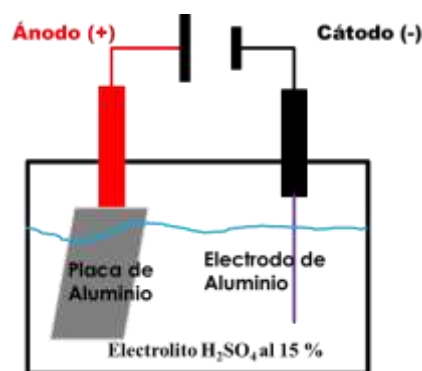


Figura 19. Diagrama de la Celda electroquímica

Para este procedimiento se prepararán muestras de aluminio comercial (figura 20) de 2.0 x 2.5 cm las cuales se limpiarán con una solución de metano/agua (50/50), a temperatura ambiente por un tiempo de 2 - 3 minutos. Después se realizará un pulido mecánico primero con una lija media de 200 granos, después se utilizará una lija fina de 400 granos y por último una lija súper fina de 600 granos, enseguida se limpiarán las placas de aluminio con metanol/agua (50/50).



Figura 20. Placas de Aluminio comercial

Teniendo las placas de aluminio limpias y secas, se colocarán 50 mL de H_2SO_4 al 15%, en un vaso de precipitados de 150 mL a temperatura ambiente, dentro de esta solución se colocarán las placas de aluminio sujetadas con las pinzas de la fuente de poder, como se observa en la figura 21. Después se colocará el vaso de precipitados en un baño de hielo.



Figura 21. Baño de hielo con Ácido Sulfúrico (15%) y láminas de aluminio

A continuación, se hará pasar una corriente de 15 volts por un tiempo de 2.0 horas, (Figura 22), transcurrido ese tiempo se limpiarán las placas con agua destilada.



Figura 22. Anodizado de Aluminio

Con esta metodología propuesta en este trabajo podemos obtener nanopartículas de oro y plata, con diferentes morfologías y tamaños, y teniendo el soporte de óxido de aluminio poroso, podríamos favorecer la respuesta plasmónica y así incrementar la temperatura en un líquido y mejorar la eficiencia en el proceso de transformación de la radiación solar en calor.

A continuación se presenta un esquema de los pasos a seguir en la realización del proyecto, figura 23.

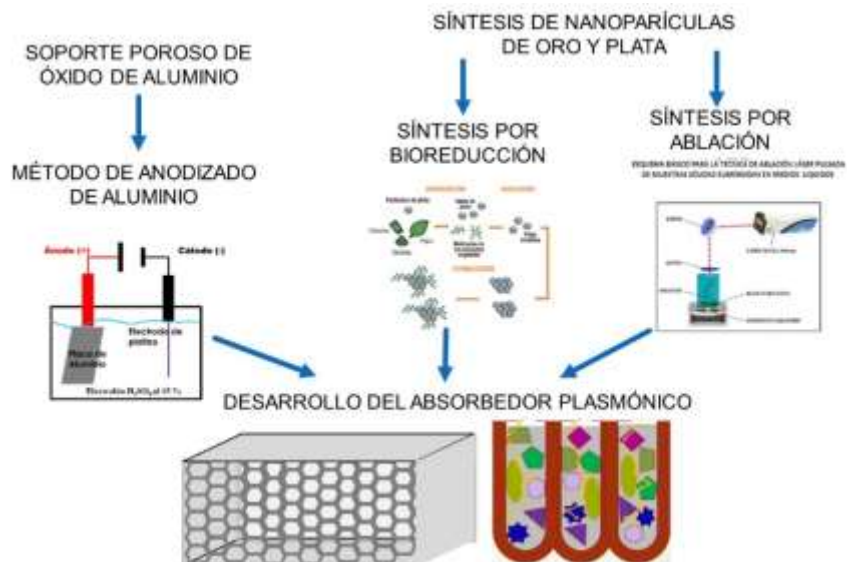


Figura 23. Esquema propuesto para la obtención del Absorbedor Plasmonico

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Síntesis y caracterización de Nanopartículas de Oro y Plata

Al realizar la síntesis de nanopartículas de oro por bioreducción con *Cymbopogon citratus* se obtuvo una solución de color violeta claro, a esta solución de nanopartículas se le realizó espectroscopía UV-Vis, (equipo Thermo INSIGHT), en el espectro se observó una banda ancha que se encuentra entre los 500 a 650 nm con un máximo de absorción en 536 nm, como se muestra en la figura 24. Este pico máximo en la región visible es característico de las nanopartículas de oro debido a la formación del plasmón superficial localizado.

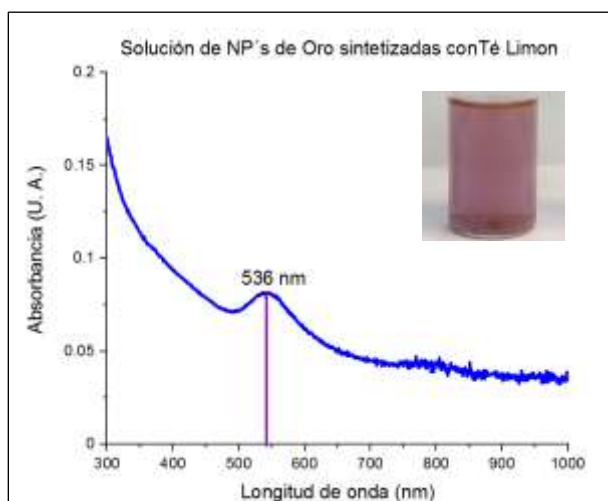


Figura 24. UV-vis de nanopartículas de oro

Con la caracterización por Microscopía Electrónica de Transmisión, se observó una morfología triangular y hexagonal (figura 25A y 25B) y con el programa “ImageJ” se calcularon las dimensiones de las nanopartículas de oro y con el programa “Origin” se realizaron la histograma de distribución donde se observó una media aproximada de 75.9 nm (figura 26). Con este resultado podemos observar que se tiene una gran variedad de tamaños de nanopartículas.

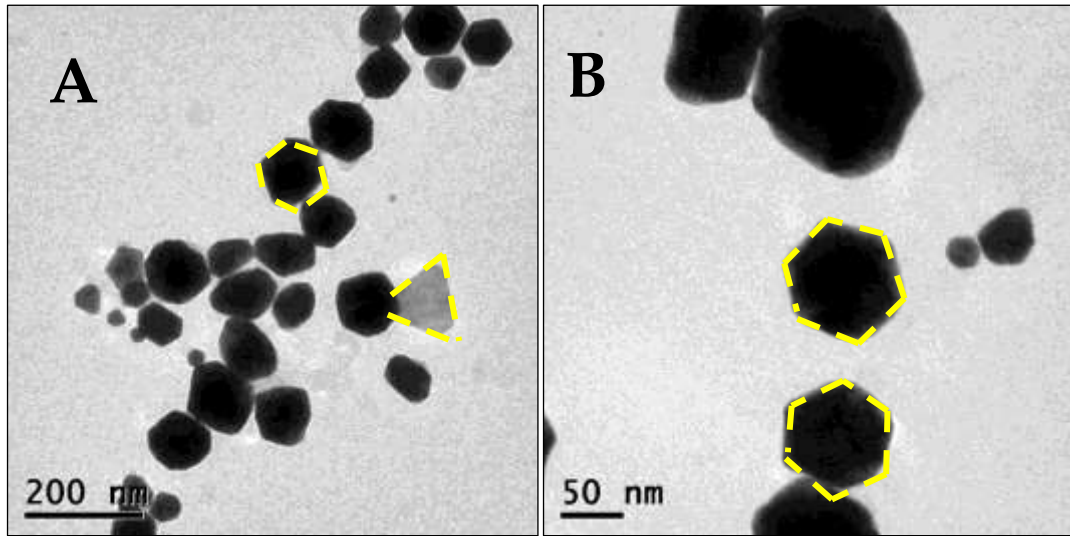


Figura 25.- NP' Au sintetizadas por Bioreduccion
 (A) Micrografía de TEM a 200 nm
 (B) Micrografía de TEM a 50 nm

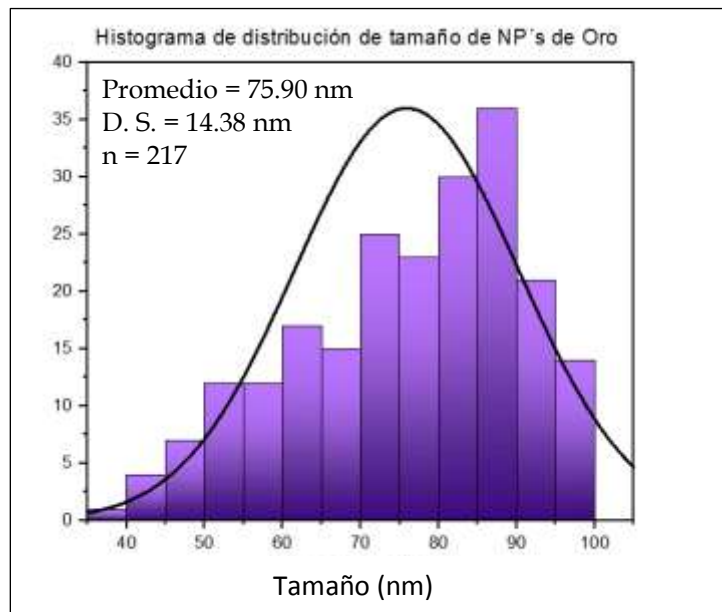


Figura 26. Histograma de distribución de dimensiones de NPs Au, sintetizadas por bioreducción.

Con la micrografía de HRTEM mostrada en la figura 27A, se calcula la distancia interplanar con ayuda del programa “DigitalMicrograph” se obtiene una distancia interplanar de 2.28 Å. El análisis de difracción de electrones de área seleccionada (SAED), figura 27B, con el programa “ImageJ”, se calculan los planos (1 1 1) y (2 2 0) correspondientes a un sistema de oro, que tiene un sistema cristalino cúbico con parámetros de celda unitaria $a=4.079$ Å. (estos resultados fueron comparados con la tarjeta cristalográfica JPCDS 004-0784 del oro)

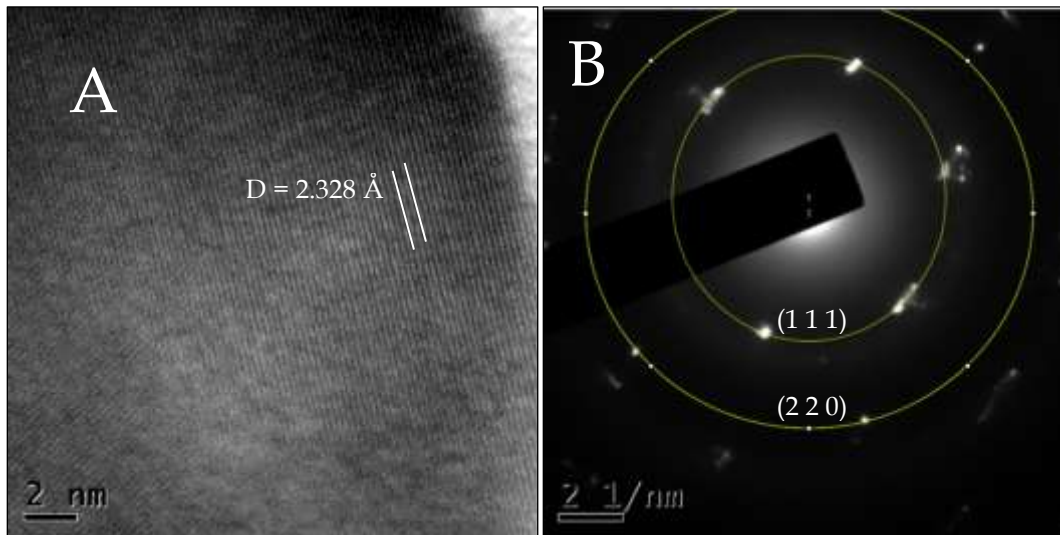


Figura 27. NP' Au sintetizadas por Bioreduccion
 (A) Micrografía de HRTEM
 (B) Patrón de difracción de electrones.

Cuando se utilizó cascara de Toronja para la biosíntesis de nanopartículas de oro, se obtuvo una solución de color azul intenso, al realizar la espectroscopia de UV-Vis, se observó una banda ancha de los 700 a 500 nm y un pico máximo en 632 nm (figura 28), característico de este tipo de nanopartículas de oro.

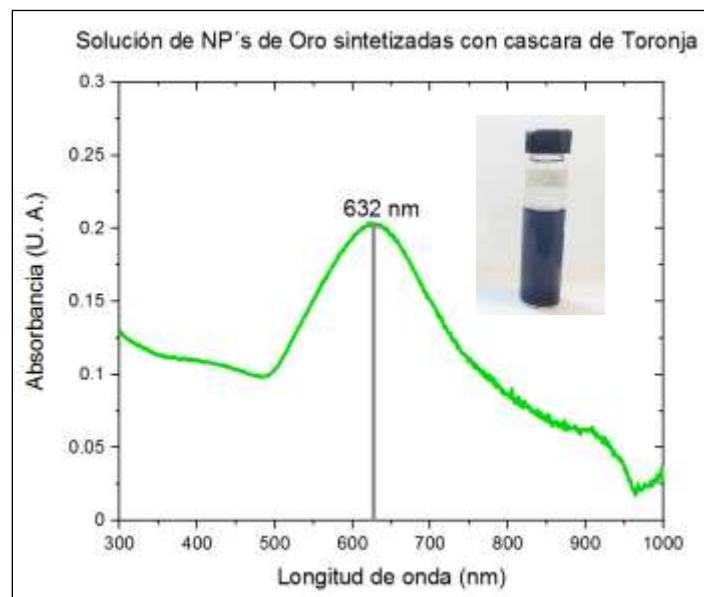


Figura 28. UV-vis de nanopartículas de oro, obtenidas por Bioreducción

Al realizar la caracterización por TEM, se observó una morfología tipo estrella, figura 29A y 29B, que al ser tratadas con el programa "ImageJ" y el programa "Origin" se obtuvo una media aproximada de 72.61 nm, como se puede observar en el histograma de distribución (figura 30). Esta distribución de dimensiones nos muestra que se tiene una gran variedad de tamaños de nanopartículas de oro.

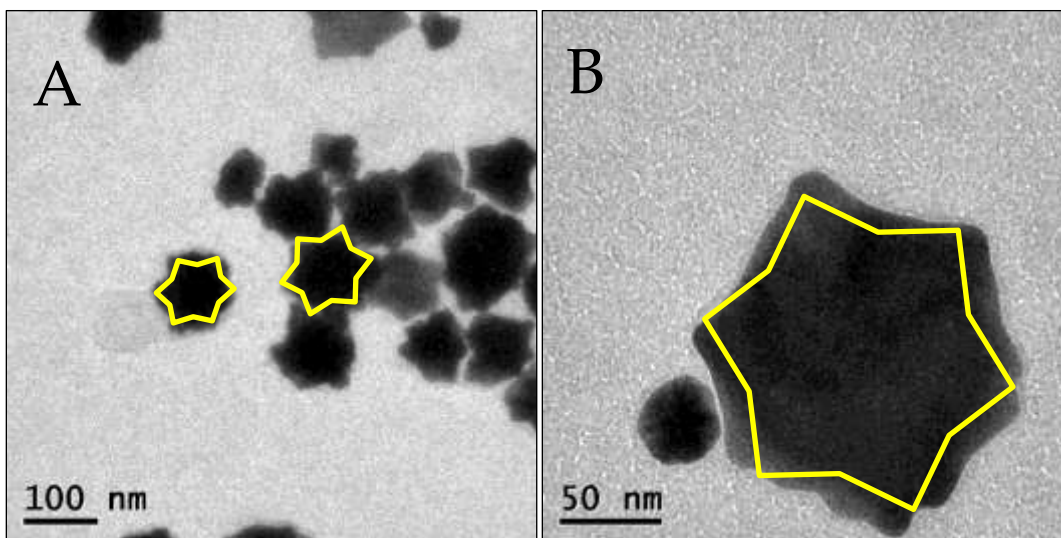


Figura 29. NP' Au sintetizadas por Bioreduccion
(A) Micrografía de TEM a 100 nm
(B) Micrografía de TEM a 50 nm

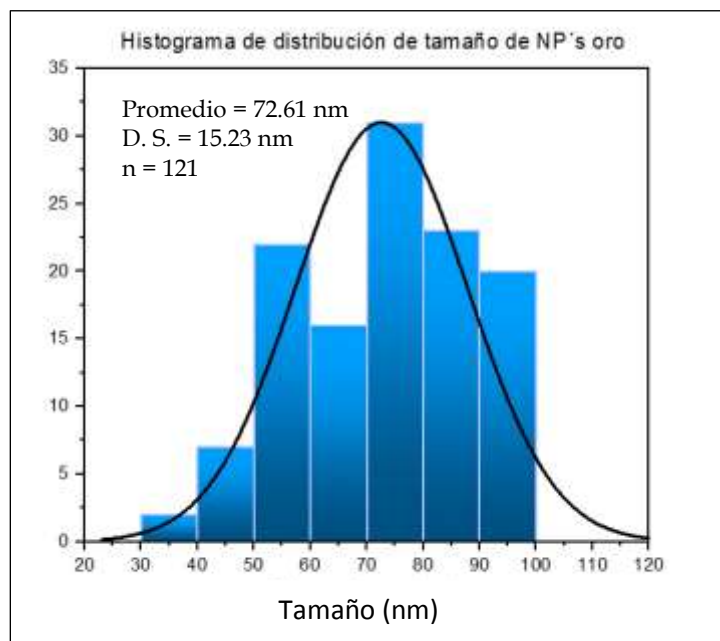


Figura 30.- Histograma de distribución de dimensiones de NPs de Au tipo estrella, sintetizadas por bioreducción.

Las micrografías obtenidas por HRTEM al ser indexadas en el programa "DigitalMicrograph" nos indicó una distancia interplanar de 2.78 Å aproximadamente, como se muestra en la figura 31A, con el patrón de difracción de electrones (figura 31B) y con el programa "ImageJ" se identificaron los planos (2 0 0) y (2 2 0), característicos de la red cristalina de oro, (estos resultados fueron comparados con la tarjeta cristalográfica JPCDS 004-0784 del oro).

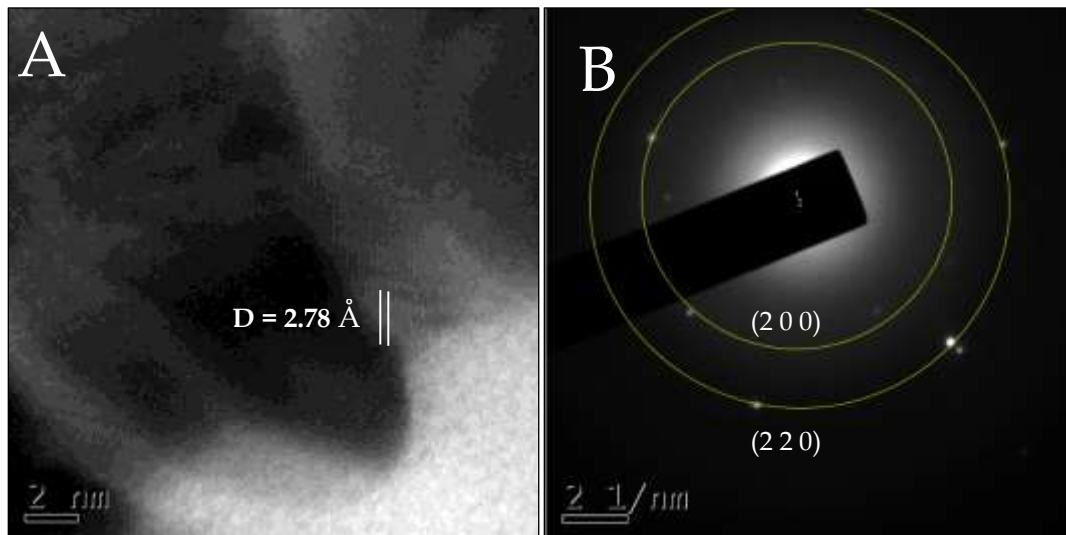


Figura 31.- NP' Au sintetizadas por Bioreduccion
(A) Micrografia de HRTEM
(B) Patrón de difracción de electrones.

Al realizar la síntesis de nanopartículas de oro por el método de ablación laser se obtuvo una solución de color morado intenso y con el espectro UV-vis, obtenido con el equipo Thermo INSIGHT, se observó una absorbancia máxima en 528 nm, figura 32, resultado de la formación del plasmón superficial.

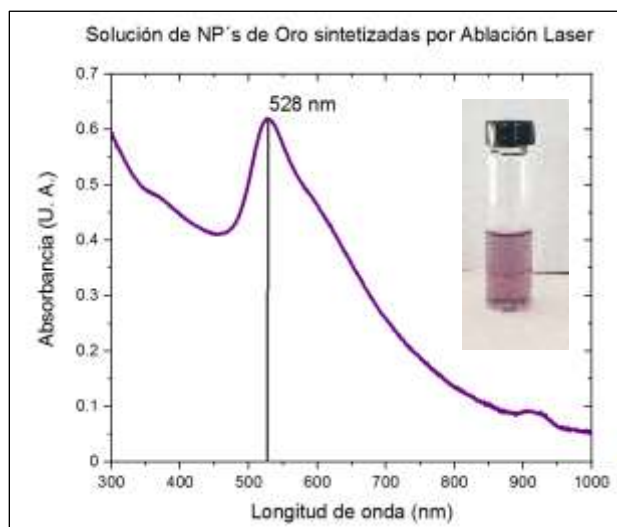


Figura 32. UV-vis de nanopartículas de oro

Las micrografías de TEM confirman la formación de nanopartículas de oro con una morfología esférica (Figura 33A y 33B); para conocer el tamaño de estas nanopartículas se utilizó el programa “ImageJ” y “Origin” y se calculó un tamaño aproximado de 15.49 nm (Figura 34).

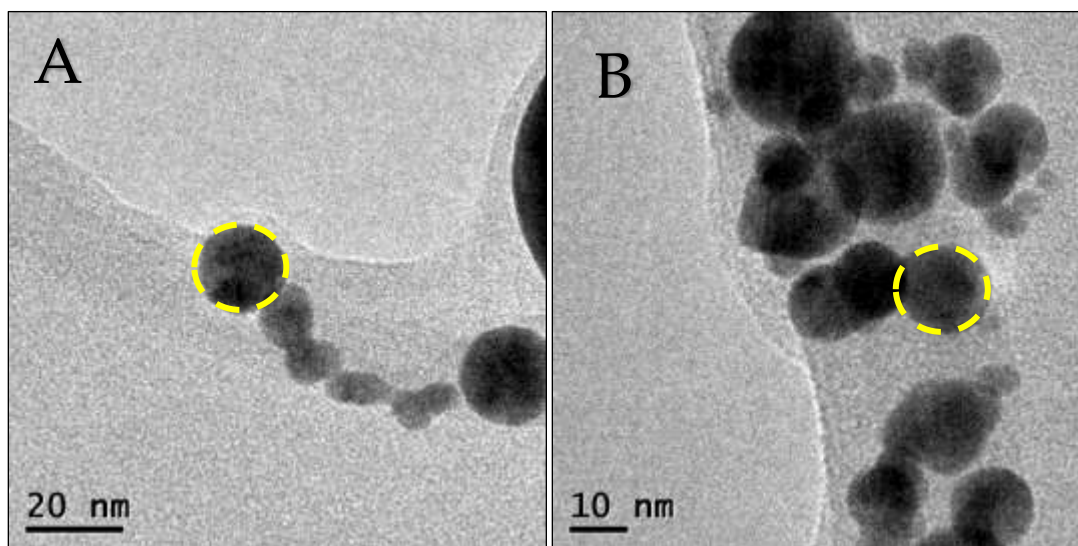


Figura 33. NP' Au sintetizadas por Ablación Laser
 (A) Micrografía de TEM a 20 nm
 (B) Micrografía de TEM a 10 nm

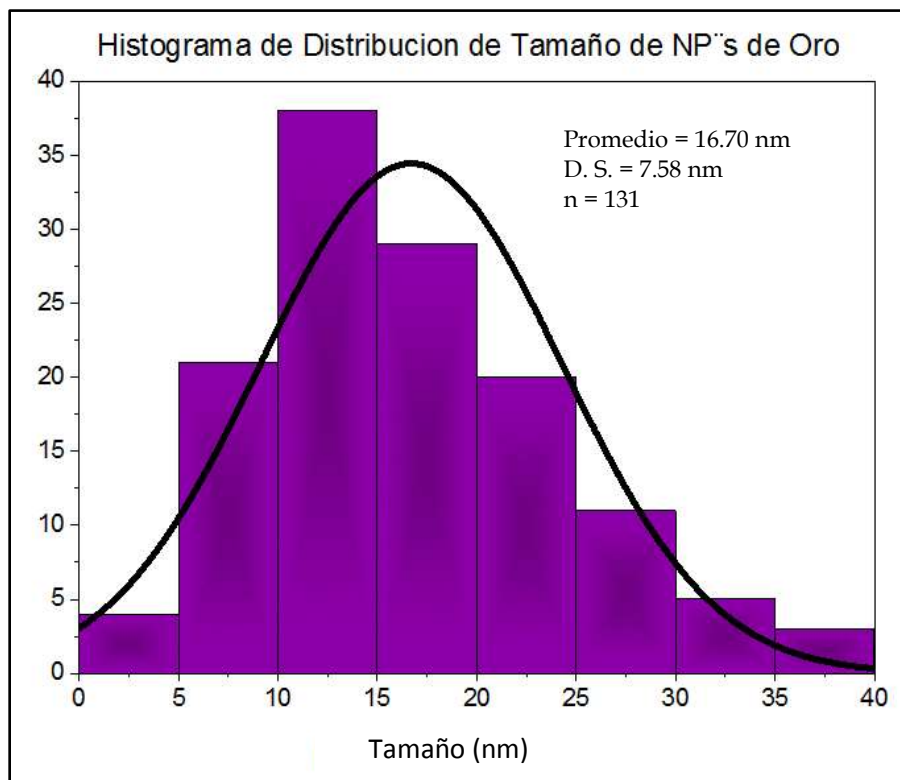


Figura 34. Histograma de distribución de tamaño de NPs Au, utilizando el método de Ablación Laser

La micrografía de HRTEM (figura 35A), mostró una distancia interplanar de 0.293 nm, obtenida al ser indexada con el programa "DigitalMicrograph". El análisis de difracción de electrones de área seleccionada (SAED), con ayuda del programa "ImageJ" se calcularon los planos (111) y (200) correspondientes al oro (figura 35B), los datos obtenidos se compararon con la tarjeta cristalográfica JPCDS 004-0784 del oro.

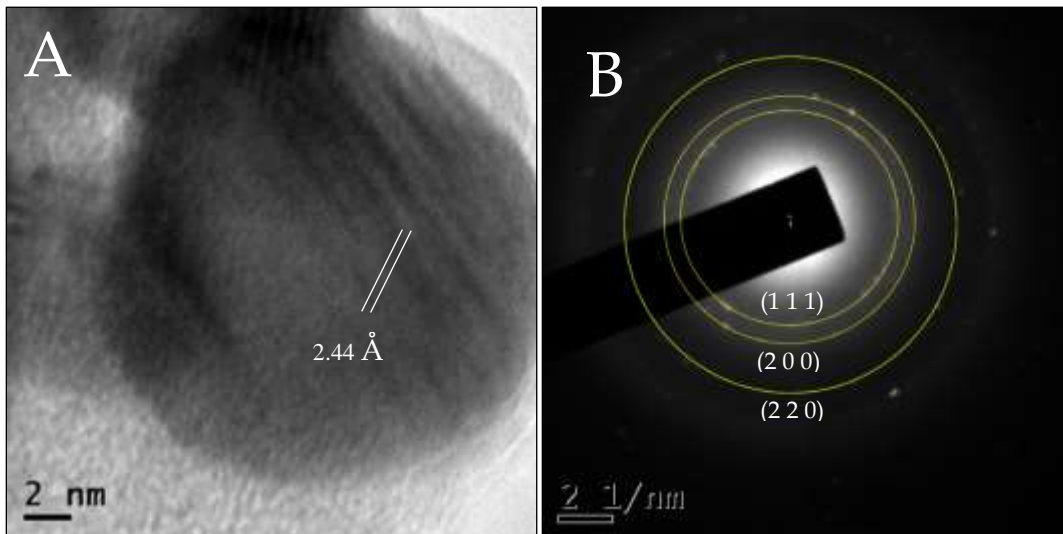


Figura 35. NP' Au sintetizadas por Ablación Laser
 (A) Micrografía de HRTEM
 (B) Patrón de difracción de electrones.

Para la obtención de nanopartículas de plata se utilizó el método de Ablación laser y se obtuvo una solución de color café oscuro, con una absorbancia máxima en 413 nm, el espectro de UV-vis se muestra en la figura 36.

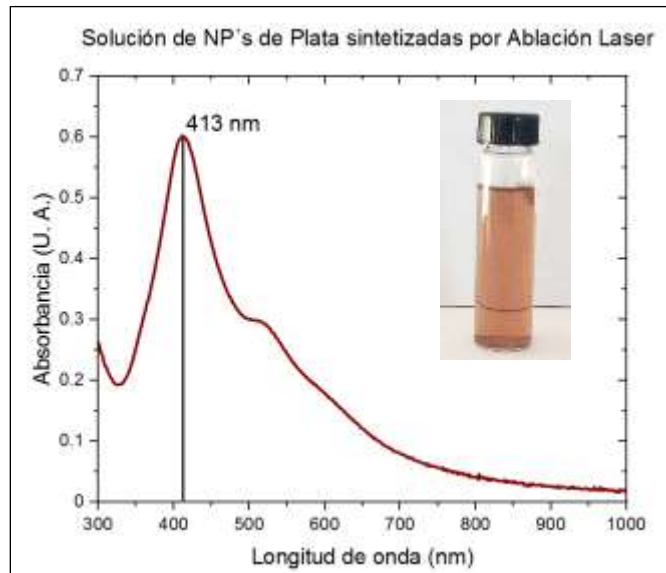


Figura 36. UV-vis de nanopartículas de plata

La caracterización por TEM muestra las nanopartículas de plata con una morfología esférica, figura 37A y 37B y con ayuda de los programas "ImageJ" y "Origin" se calculó el tamaño de nanopartículas, obteniéndose un promedio de 17.63 nm aproximadamente, figura 38.

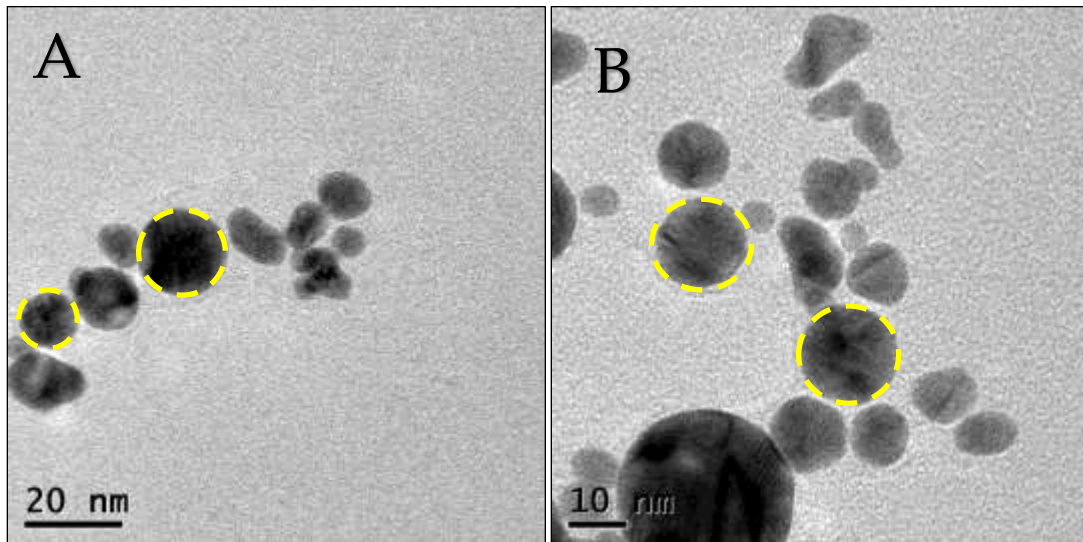


Figura 37. NP' Au sintetizadas por Ablación Laser
(A) Micrografía de TEM a 20 nm
(B) Micrografía de TEM a 10 nm

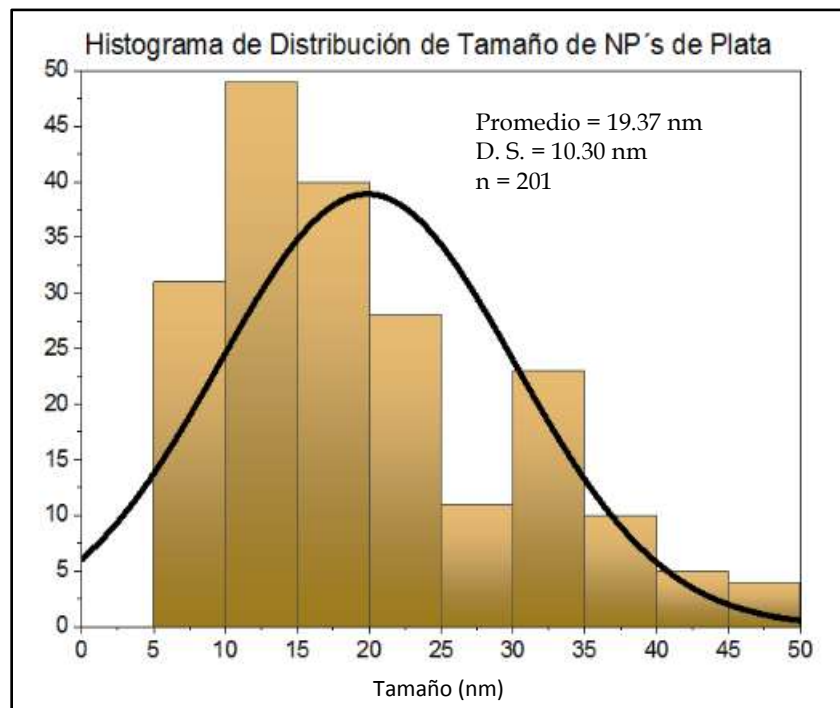


Figura 38.- Histograma de distribución de tamaño de NPs Au, utilizando el método de Ablación Laser

Con las micrografías HRTEM y el patrón de difracción de electrones, figura 39A y 39B, al ser indexadas con el programa “DigitalMicrograph” y el “ImageJ” se calculó la distancia interplanar de 2.35 y 2.03 Å, y se obtuvieron los siguientes planos cristalográficos de estas nanopartículas de plata (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0) y (3 1 1), los cuales corresponden a un sistema cristalino cúbico con parámetros de celda unitaria $a=b=c=4.086$ Å. Estos resultados fueron comparados con la tarjeta JCPDS 004-0783.

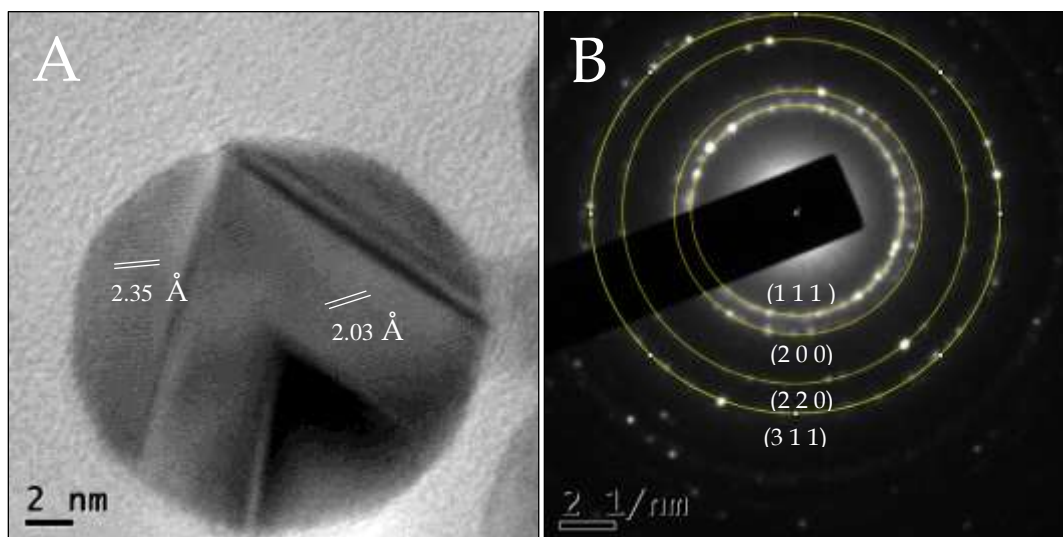


Figura 39. NP'Ag sintetizadas por Ablación Laser
 (A) Micrografía de HRTEM
 (B) Patrón de difracción de electrones.

4.2. Obtención y Caracterización del Soporte de Oxido de Aluminio

Después de obtener la morfología y tamaño promedio de las nanopartículas de oro y plata, el segundo paso consistió en preparar el soporte de óxido de aluminio el cual consistió en un proceso de Anodizado de un Aluminio comercial, se prepararon varias concentraciones de ácido sulfúrico y se usaron diferentes voltajes, para poder ver la formación de óxido de aluminio en la placa. En la figura 40 se observa la micrografía obtenida del SEM de la placa de aluminio sin anodizar y sin realizar el pulido mecánico.

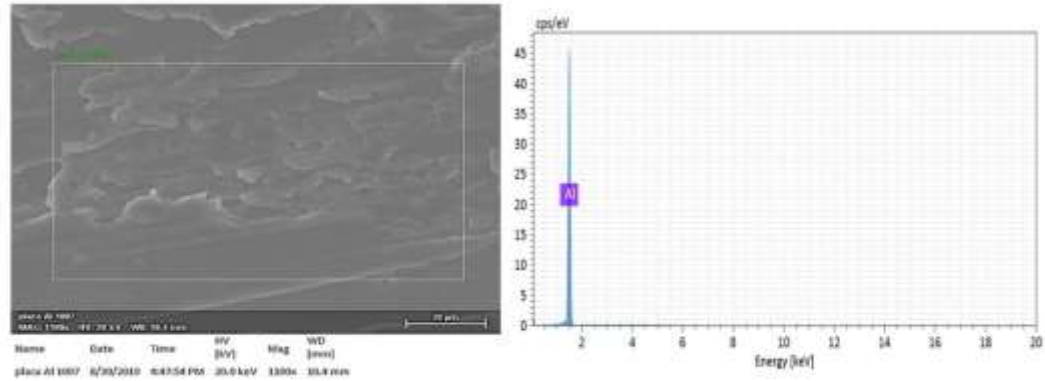


Figura 40. Micrografía SEM y EDS del Aluminio comercial

El método consistió en colocar dos placas de aluminio de 2.0 cm de ancho x 2.5 cm de alto y 3.0 mm de grosor, en ácido sulfúrico al 15% (v/v) y con una corriente de 15 volts por un tiempo de 2.0 horas. Después de este proceso se obtuvieron placas de aluminio de color gris oscuro, indicando la formación de óxido de aluminio (figura 41).

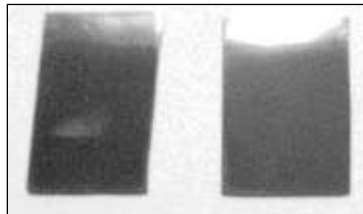


Figura 41. Aluminio Anodizado

La caracterización de las placas de aluminio anodizado se realizó por SEM, en las micrografías obtenidas se mostrarán una superficie de óxido de aluminio con pequeños poros en la superficie, como se puede observar en la figura 42.

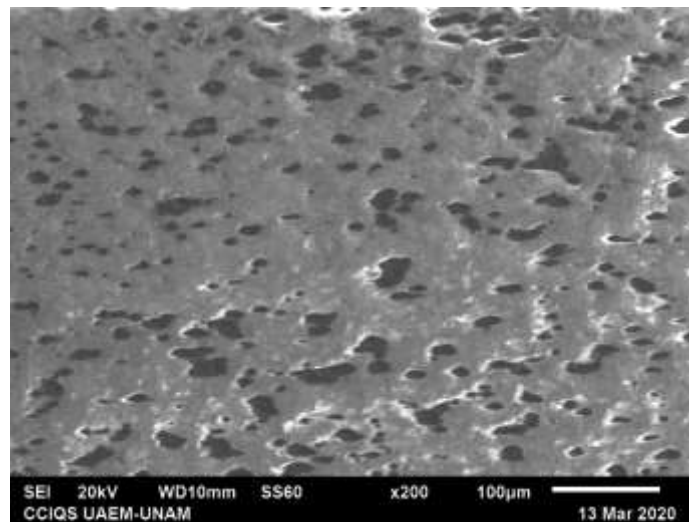


Figura 42. Micrografía obtenida por SEM del Aluminio Anodizado

La caracterización por EDS nos indicó la presencia elemental de carbón proveniente de la aleación de aluminio comercial, el oxígeno y aluminio de la formación de óxido de aluminio y azufre como parte de la reacción de anodizado, figura 43.

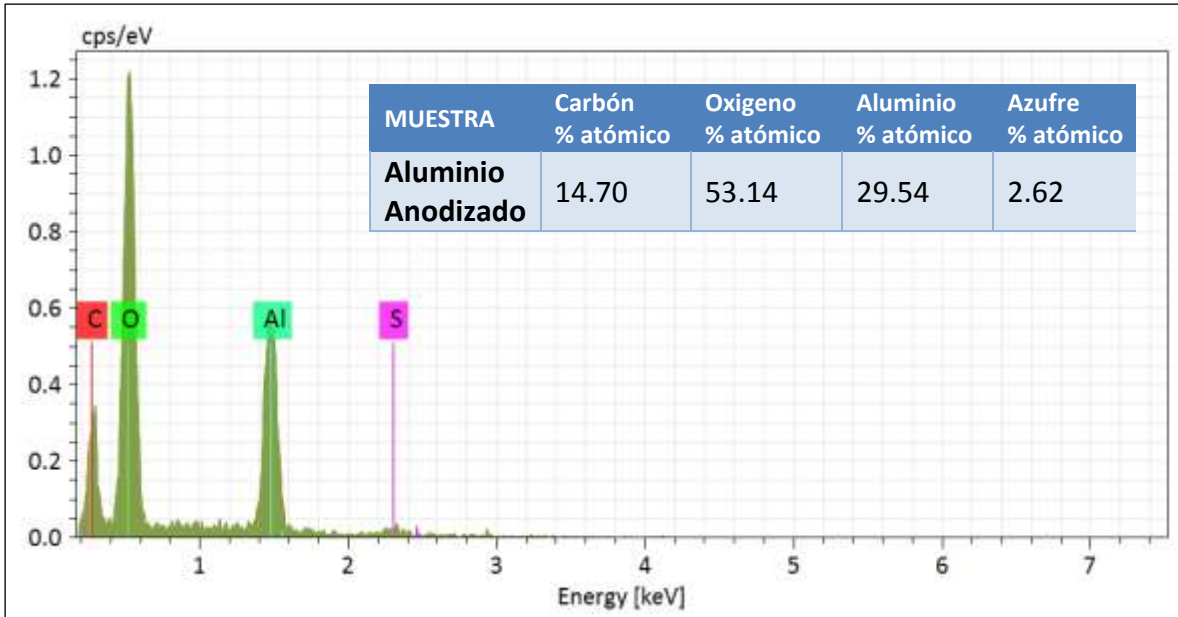


Figura 43. Análisis Elemental de la placa de Aluminio Anodizado

El mapeo elemental de la placa de aluminio muestra como estos elementos están distribuidos en la placa, lo cual indica la formación del óxido de aluminio, figura 44 y 45.

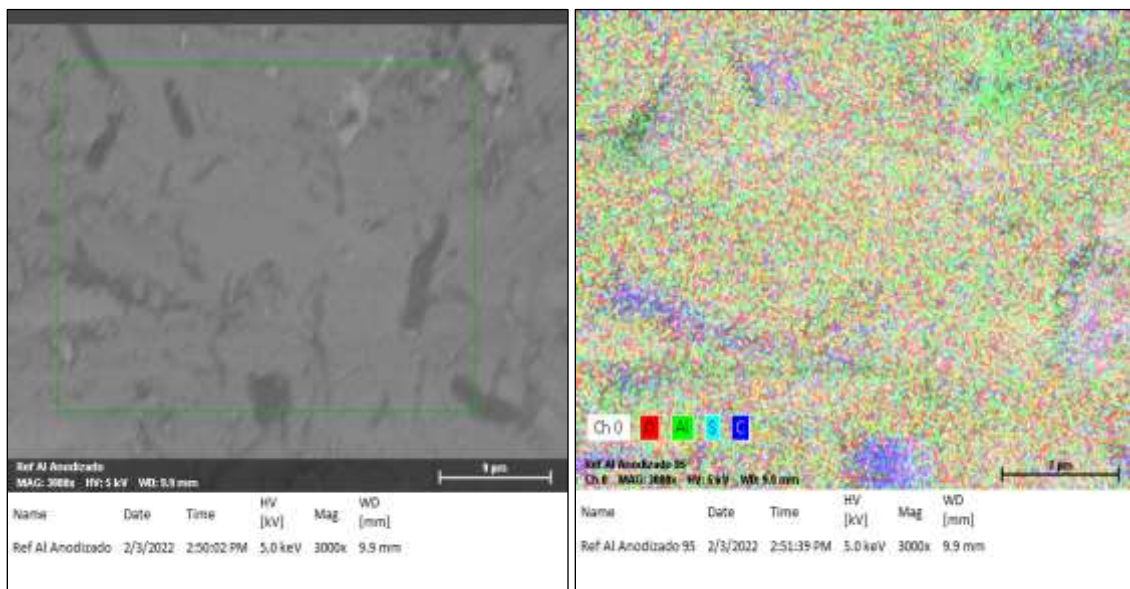


Figura 44. Mapeo Elemental de la placa de Aluminio Anodizado.

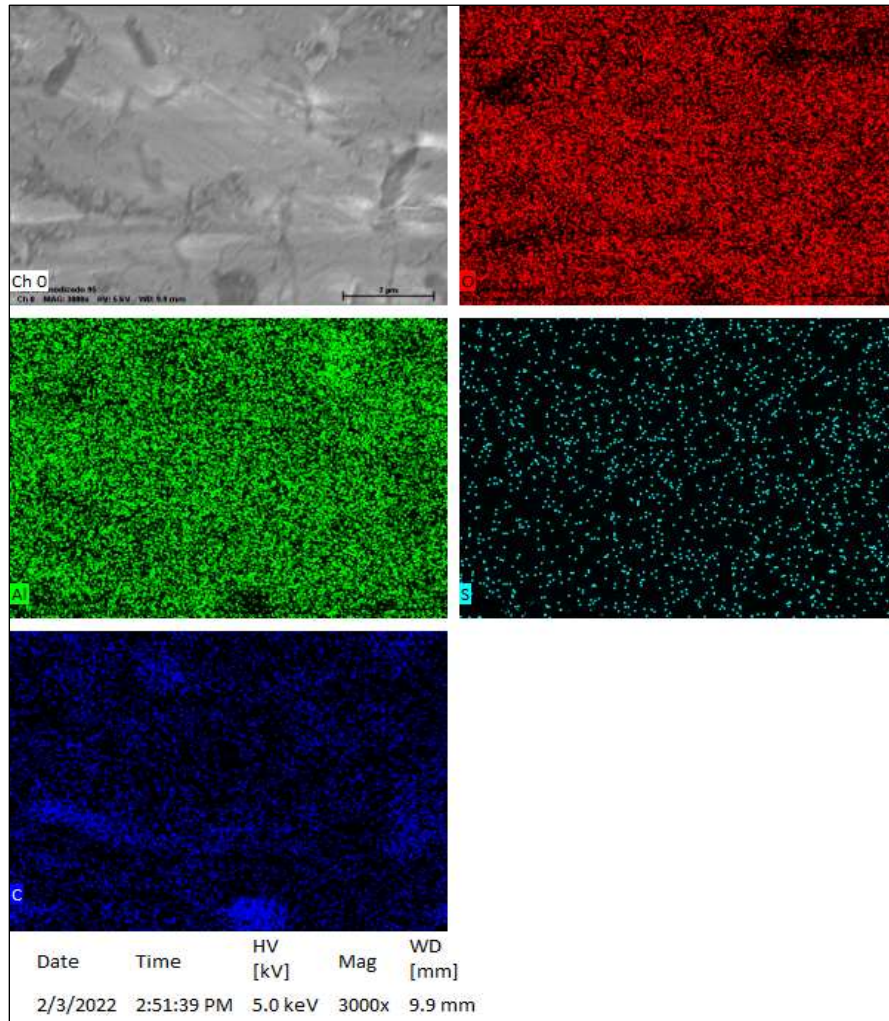


Figura 45. Mapeo Elemental de la placa de Aluminio Anodizado.

Después de corroborar la formación de una capa de óxido de aluminio en la placa de aluminio, el siguiente paso consistió en colocar las nanopartículas de oro y plata en la superficie de las placas.

4.3. Desarrollo y Caracterización del Absorbedor Plasmónico

Teniendo caracterizadas las nanopartículas de oro o plata y el soporte de óxido de aluminio, el siguiente paso consistió en colocar las nanopartículas en el soporte y este fue realizado depositando las nanopartículas gota a gota en el soporte de aluminio, como se muestra en la figura 46: "A" y "B"

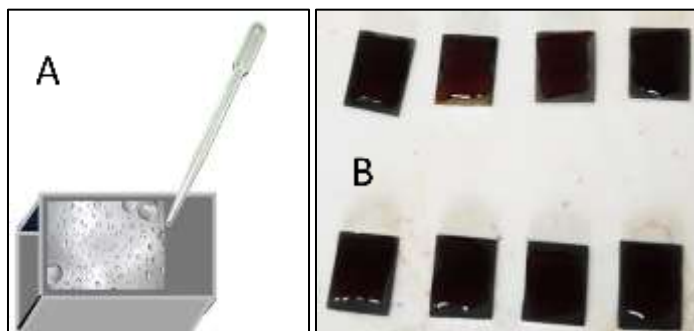


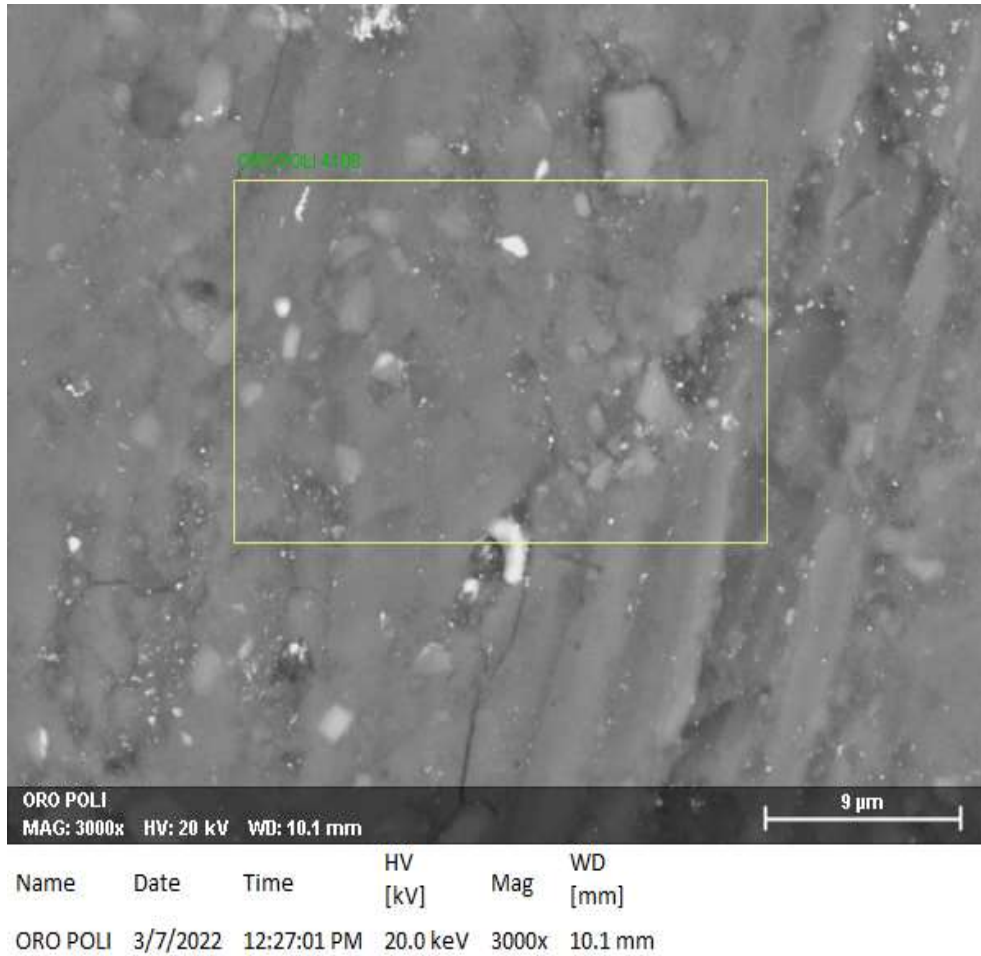
Figura 46. "A" y "B" Depósito de nanopartículas en soporte

A continuación se presenta una tabla de cómo se fueron realizando las diferentes propuestas de absorbentes plasmónicos con las nanopartículas obtenidas por los métodos anteriormente mencionados.

Propuesta	Características de las Nanopartículas	Método de Síntesis	Morfología	Tamaño
A	Oro	Bioreducción (Té Limón)	Hexagonal y Triangular	75.90 nm
B	Oro	Bioreducción (cascaras de Toronja)	Tipo Estrella	72.61 nm
C	Oro / 1.0ml	Ablación Laser	Cuasiesféricas	15.49 nm
D	Oro / 3.0ml	Ablación Laser	Cuasiesféricas	15.49 nm
E	Plata / 1.0 ml	Ablación Laser	Cuasiesféricas	17.63 nm
F	Plata / 3.0 ml	Ablación Laser	Cuasiesféricas	17.63 nm

PROPUESTA "A": NP's de Oro Hexagonal y Triangular / Al anodizado.

El análisis por EDS mostró los elementos presentes en la propuesta de absorbedor plasmónico, donde se pudo observar el oxígeno, aluminio, oro y azufre, estos elementos confirmando que se formó una capa de óxido de aluminio y las nanopartículas de oro se encuentran en la superficie de la placa, figura 47.



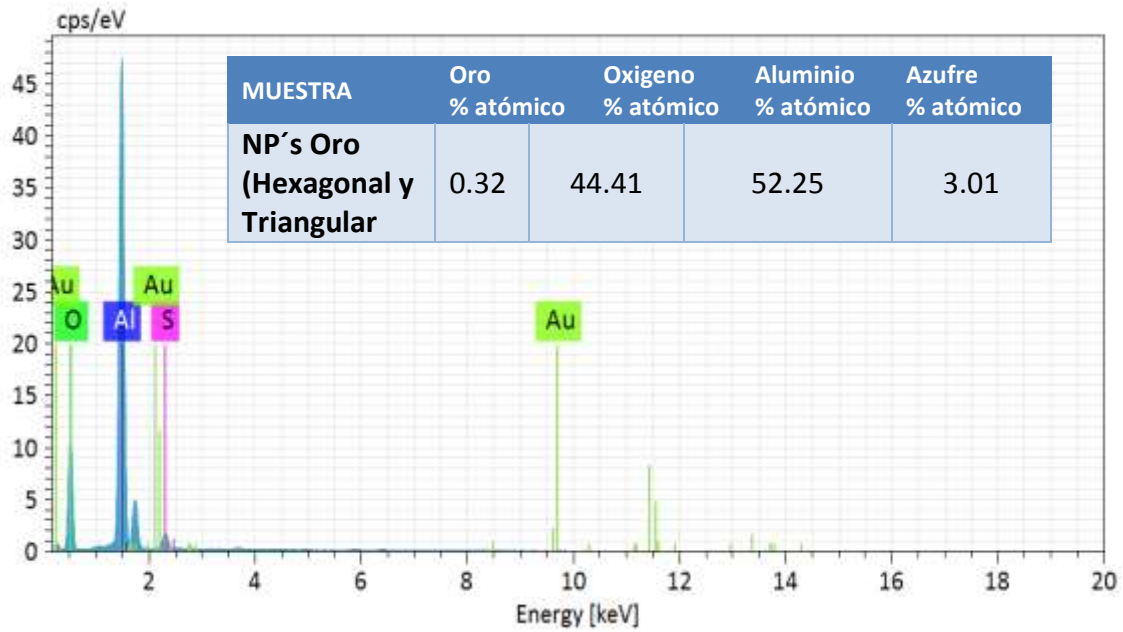
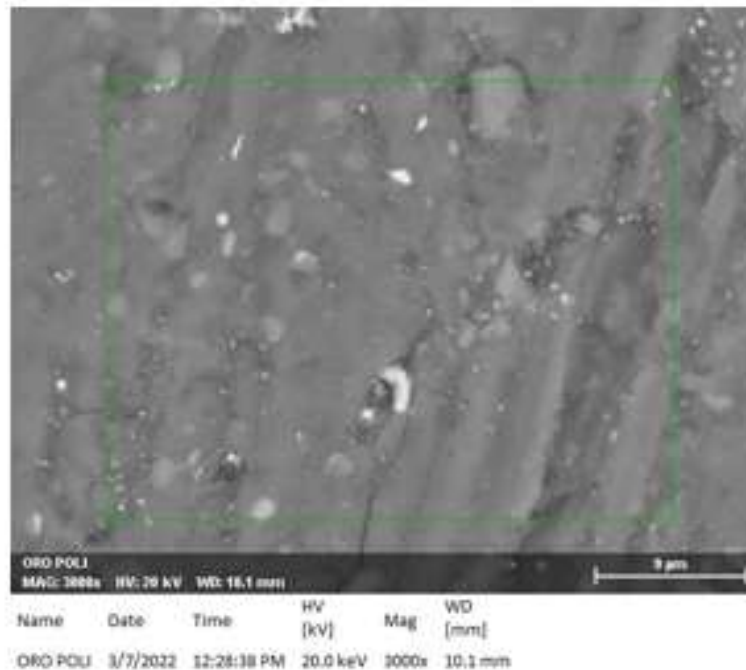


Figura 47. Análisis de EDS de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología poliedral

El mapeo elemental de esta misma propuesta, nos dio una imagen de la distribución que tienen las nanopartículas de oro en la superficie de la placa, el color magenta representa las nanopartículas de oro y se puede observar que los puntos de este color se encuentran dispersos en la propuesta "A", figura 48.



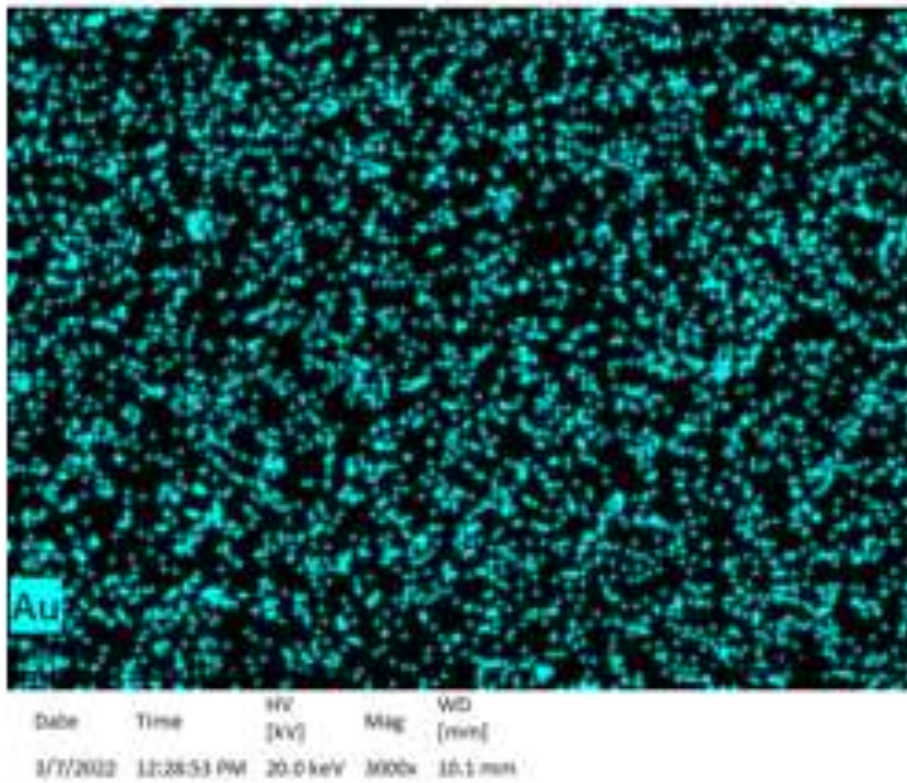
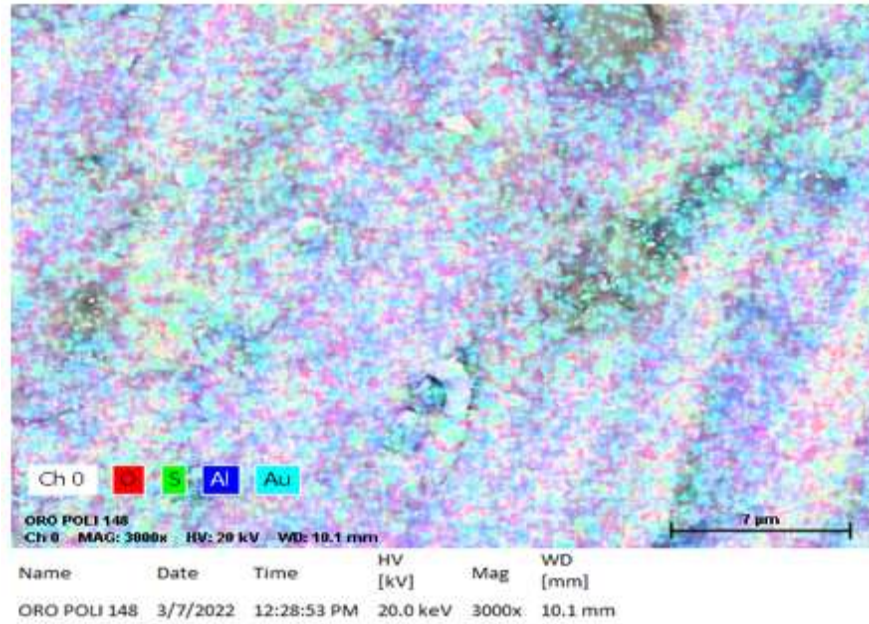
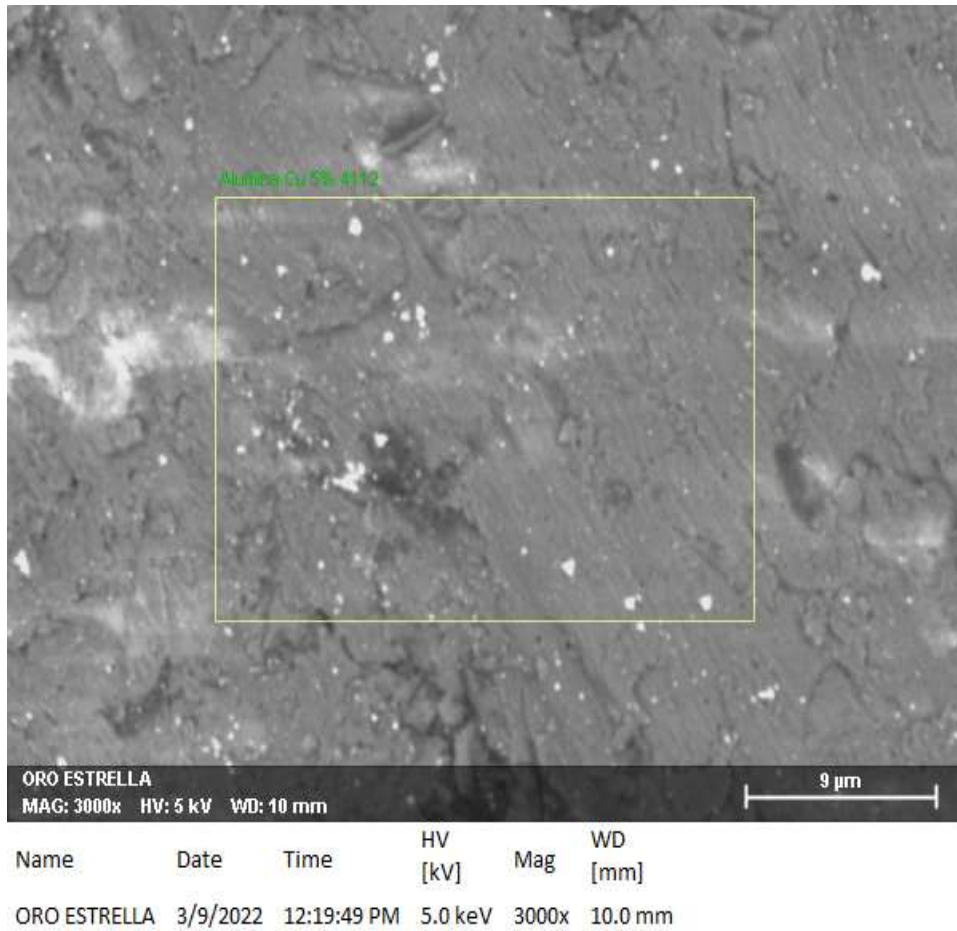


Figura 48. Mapeo Elemental de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología poliedral

PROPUESTA "B": NP's de Oro tipo Estrella / Al anodizado

Para esta propuesta se utilizaron nanopartículas de oro con morfología tipo estrella el EDS nos indicó que se formó la capa de óxido de aluminio y que también indica la presencia de oro en la placa, figura 49.



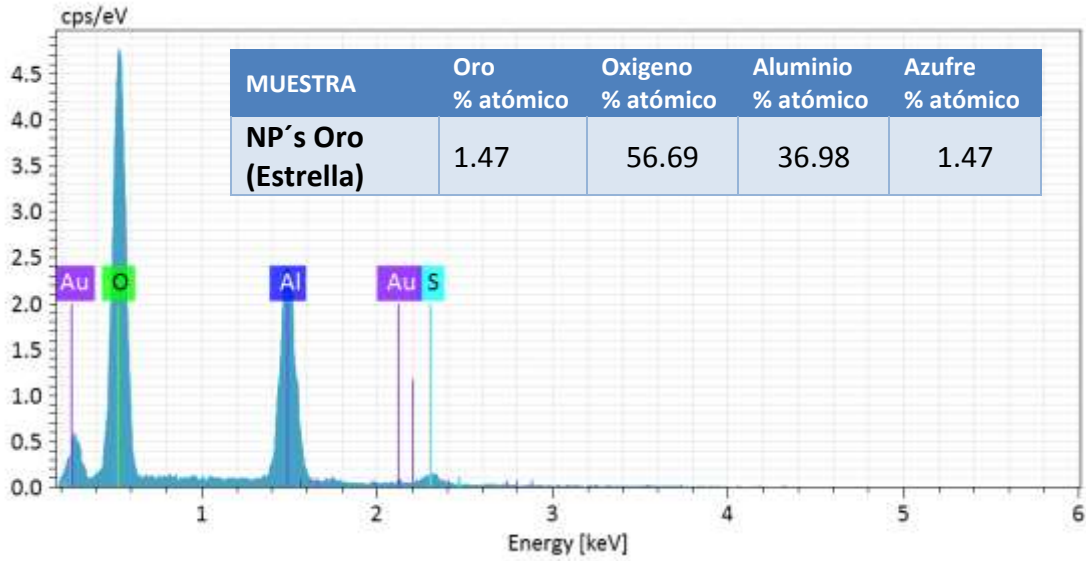
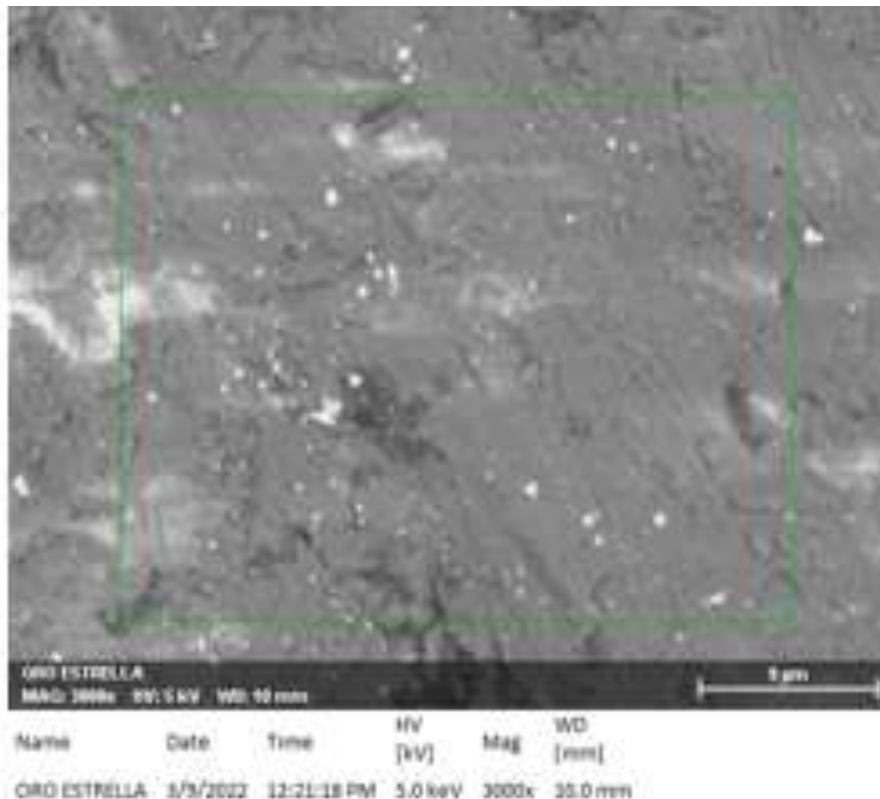


Figura 49. Análisis de EDS de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología tipo estrella.

En el mapeo elemental realizado a esta propuesta se observó que las nanopartículas de oro tipo estrella se encontraron dispersas sobre el soporte de óxido de aluminio (color magenta) y también se observó unas pequeñas aglomeraciones de nanopartículas, figura 50.



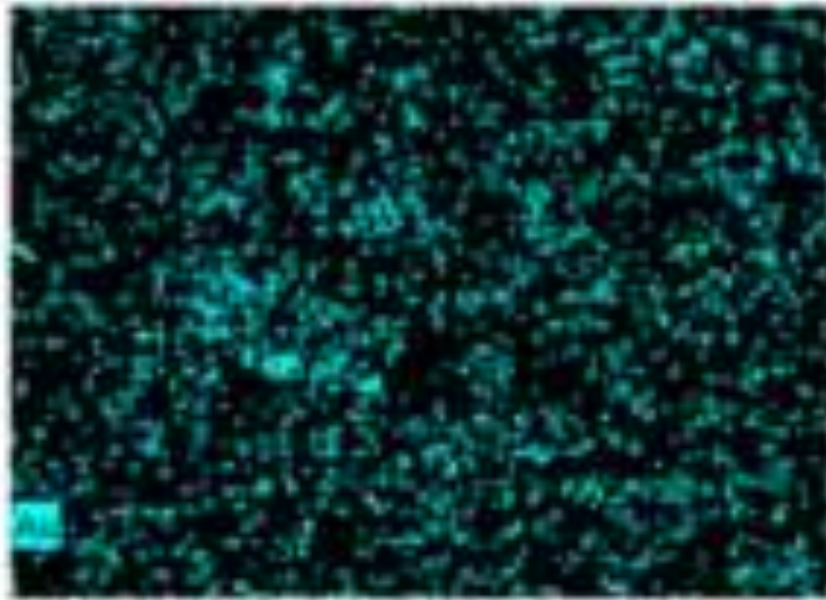
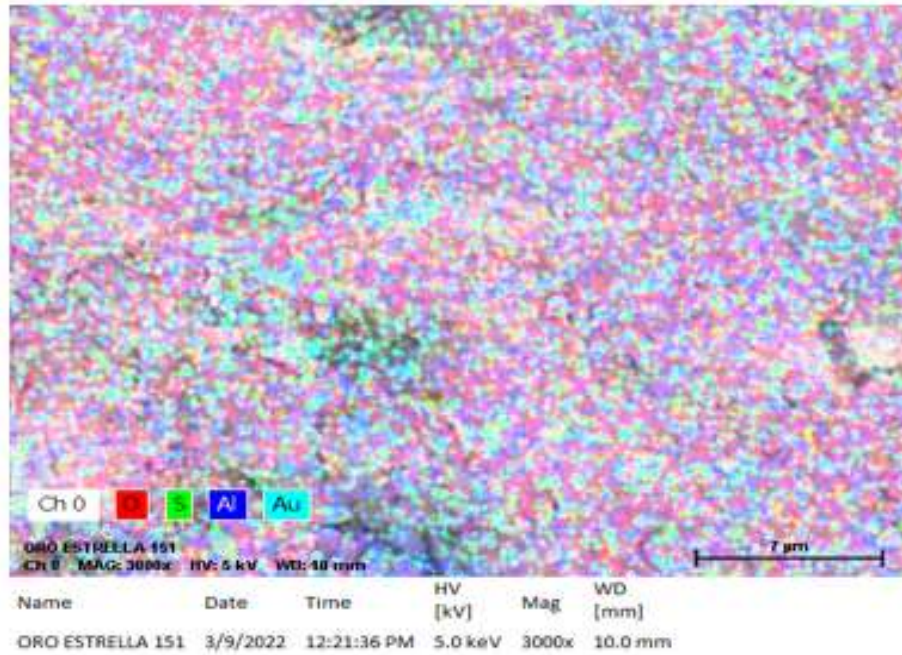


Figura 50. Mapeo Elemental de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología tipo estrella.

PROPUESTA "C": NP's de Oro cuasiesfericas (1.0 ml) / Al anodizado

Para esta propuesta se utilizaron nanopartículas de oro de morfología cuasiesfericas las cuales fueron obtenidas por el método de ablación laser en una concentración de $10^{-3}M$ por lo que la primera propuesta fue utilizar solo 1.0 mL de esta solución. El EDS de esta propuesta nos indicó la presencia de los elementos que se han mencionado anteriormente y se puede observar que el porcentaje del elemento oro aumento en esta propuesta, figura 51.

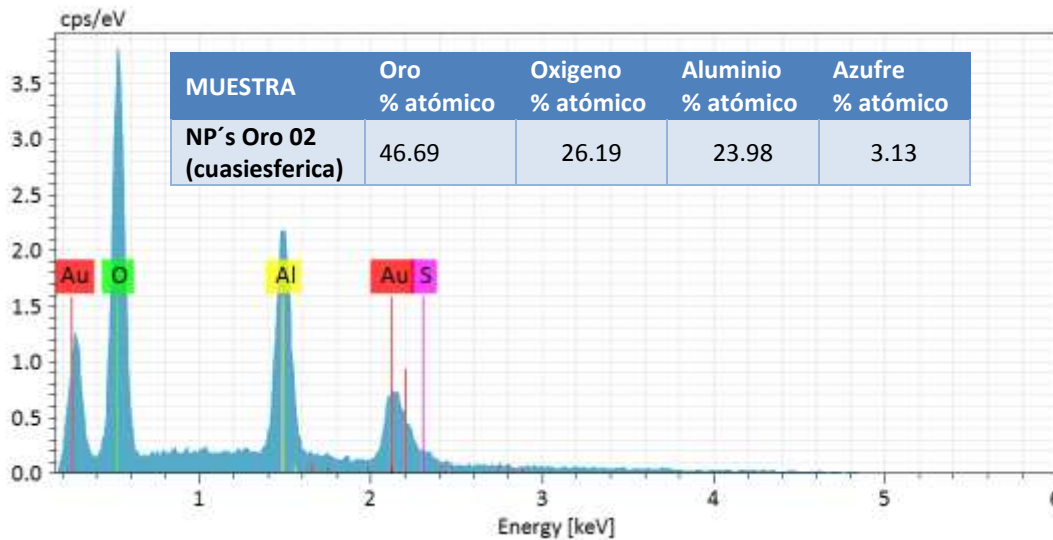
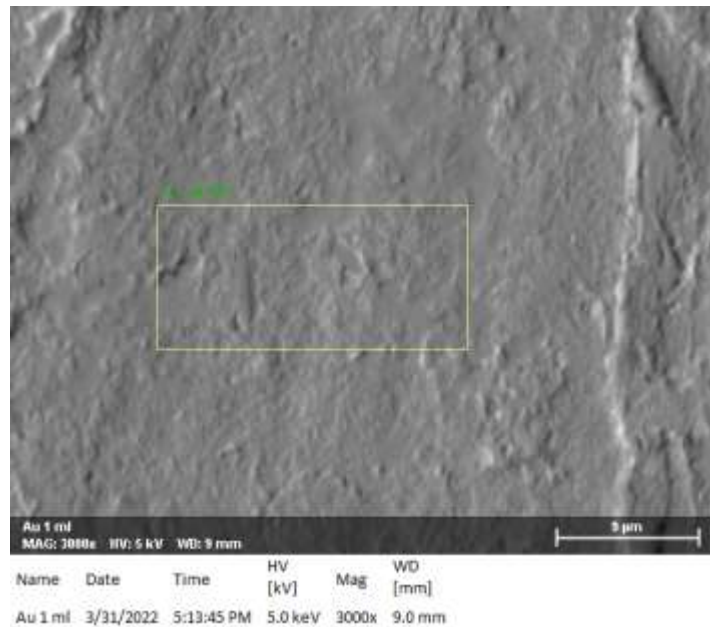
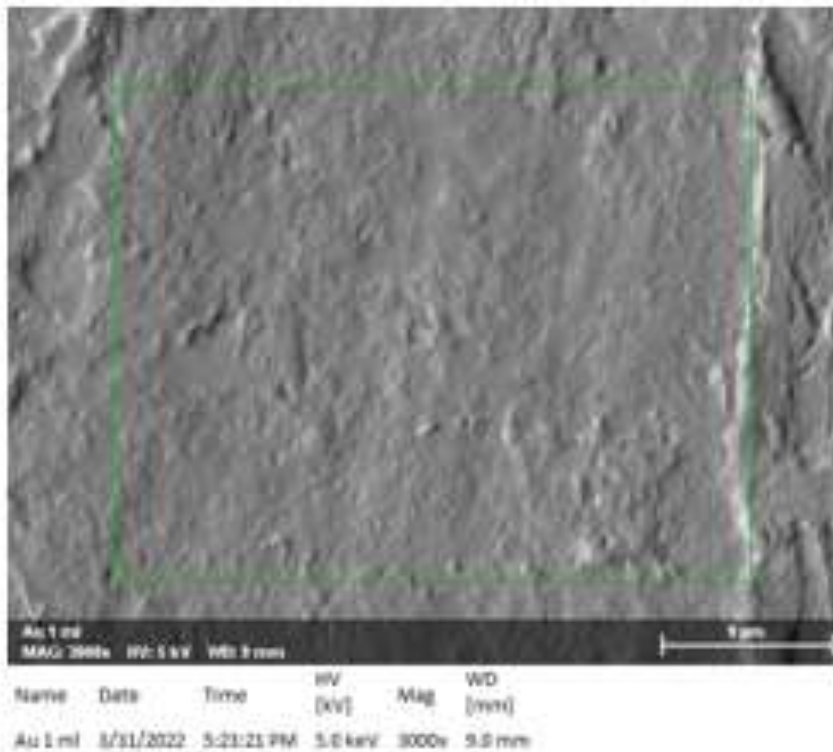
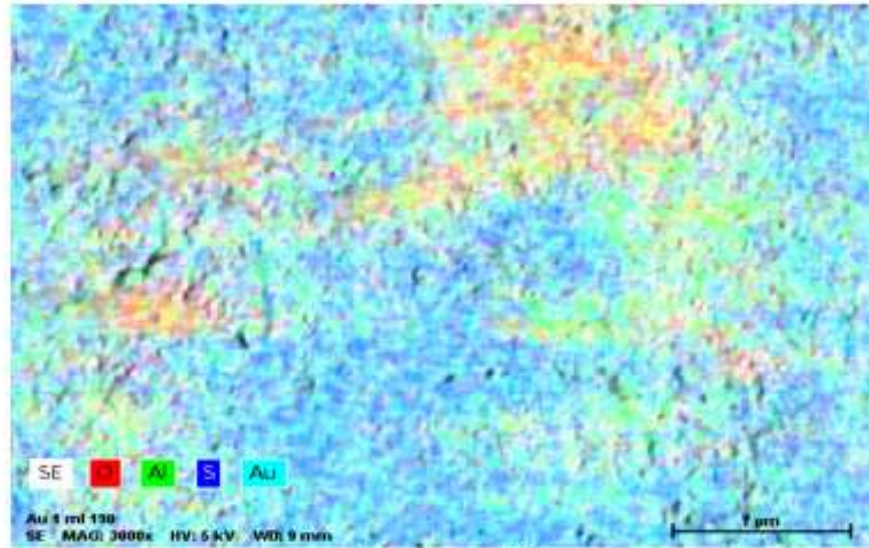


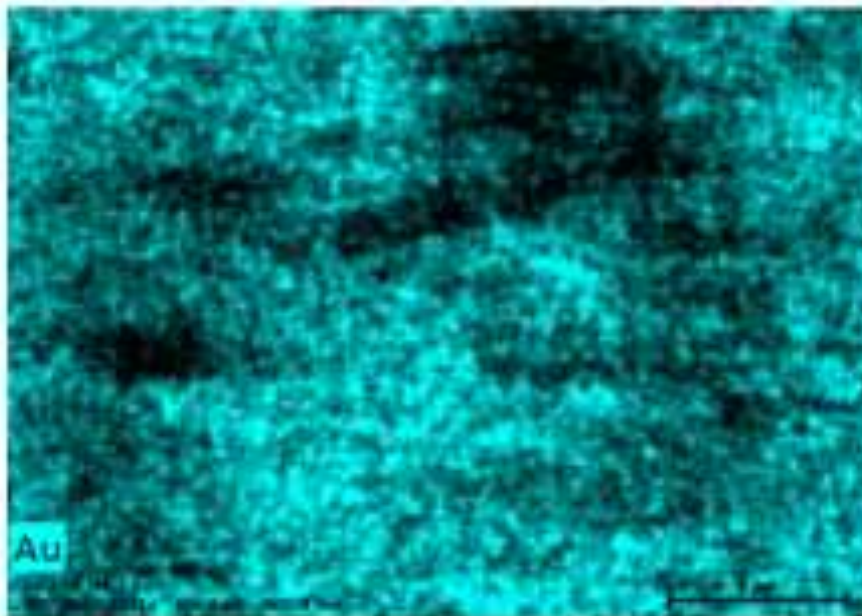
Figura 51. Análisis de EDS de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología cuasiesfericas.

El mapeo elemental mostró como las nanopartículas de oro están depositadas sobre la superficie de la placa de aluminio anodizado, se pudo observar que se tienen algunas aglomeraciones de estas nanopartículas, figura 52.





Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Au 1 ml 190	3/31/2022	5:23:36 PM	5.0 keV	3000x	9.0 mm



Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
3/31/2022	5:23:36 PM	5.0 keV	3000x	9.0 mm

Figura 52. Mapeo Elemental de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología cuasiesféricas.

PROPUESTA "D": NP's de Oro cuasiesfericas (3.0 ml) / Al anodizado

La caracterización por EDS de esta propuesta mostró los elementos que ya se han reportado anteriormente, en esta propuesta se utilizaron 3.0 mL de nanopartículas de oro con morfología cuasiesferica, este incremento se pudo observar en el porcentaje obtenido del elemento oro de la figura 53.

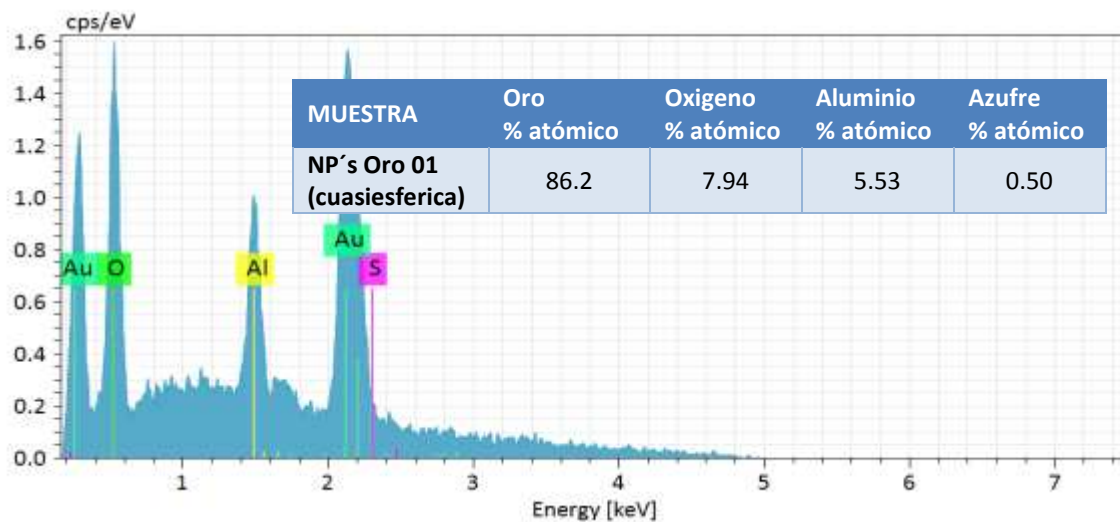
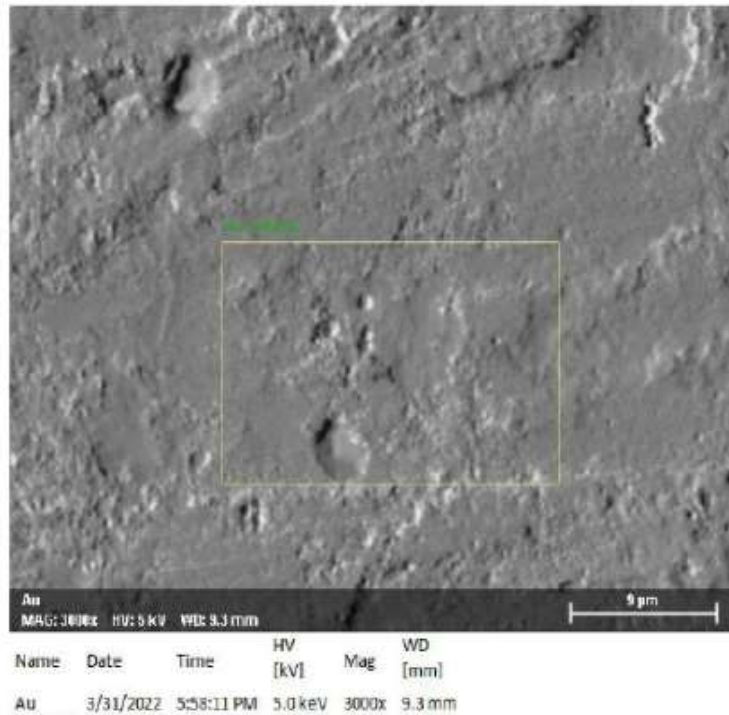
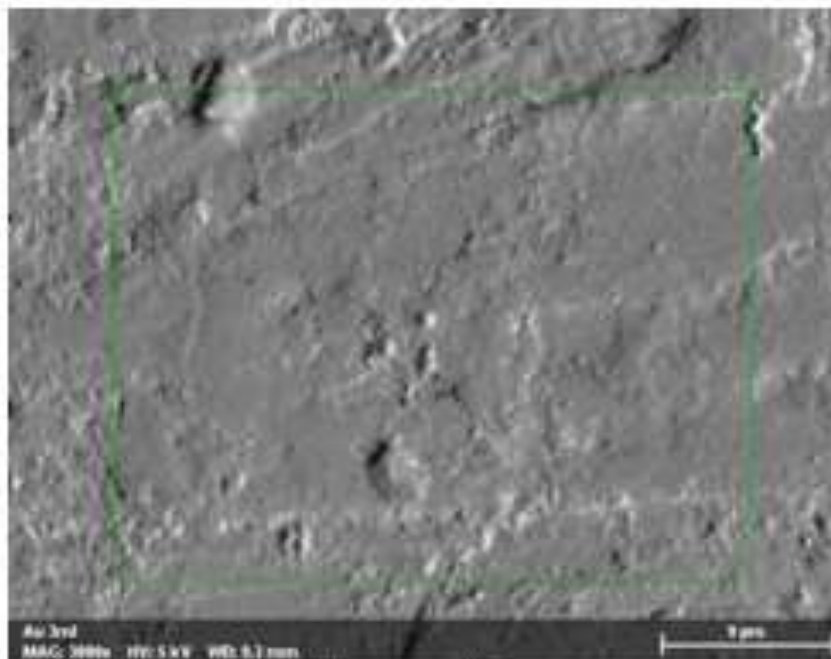
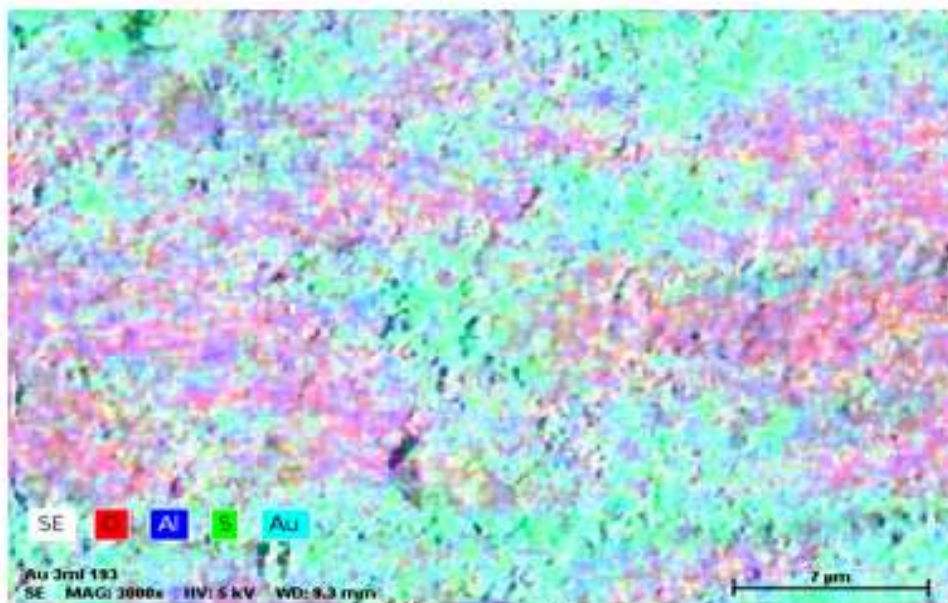


Figura 53. Análisis de EDS de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología cuasiesfericas

El mapeo elemental de esta propuesta mostró que las nanopartículas de oro con morfología cusiesféricas presentaron aglomeraciones a lo largo de la placa de aluminio anodizado, figura 54.



Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Au 3ml	3/11/2022	6:03:48 PM	5.0 keV	3000x	9.3 mm



Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Au 3ml 193	3/31/2022	6:04:04 PM	5.0 keV	3000x	9.3 mm

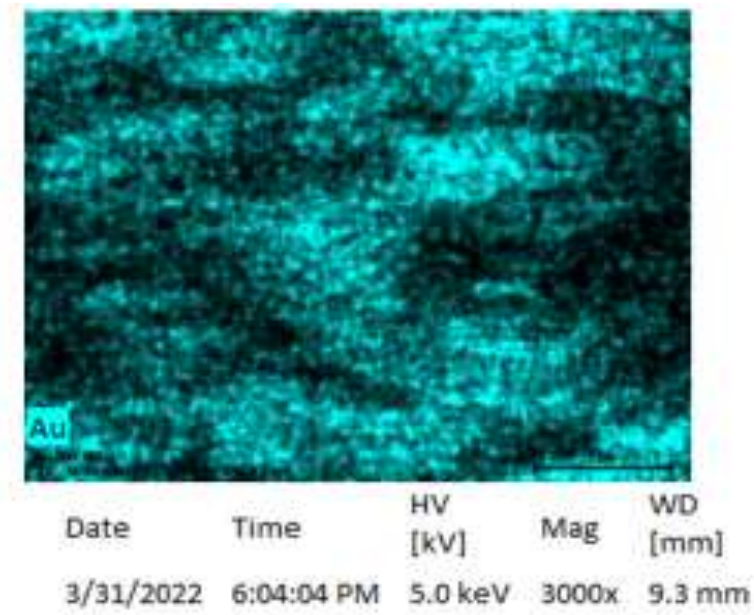
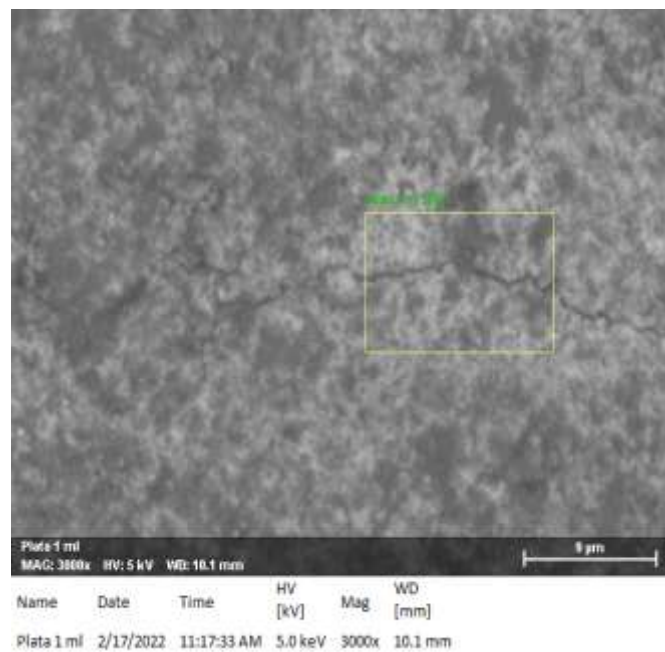


Figura 54. Mapeo Elemental de aluminio anodizado y nanopartículas de oro con morfología cuasiesfericas.

PROPUESTA "E": NP's de Plata cuasiesfericas (1.0 ml) / Al anodizado.

Para este tipo de propuesta se utilizó 1.0 mL de solución de nanopartículas de plata con morfología cuasiesferica, el análisis EDS indicó el porcentaje de nanopartículas de plata y los demás elementos característicos del anodizado de aluminio, figura 55.



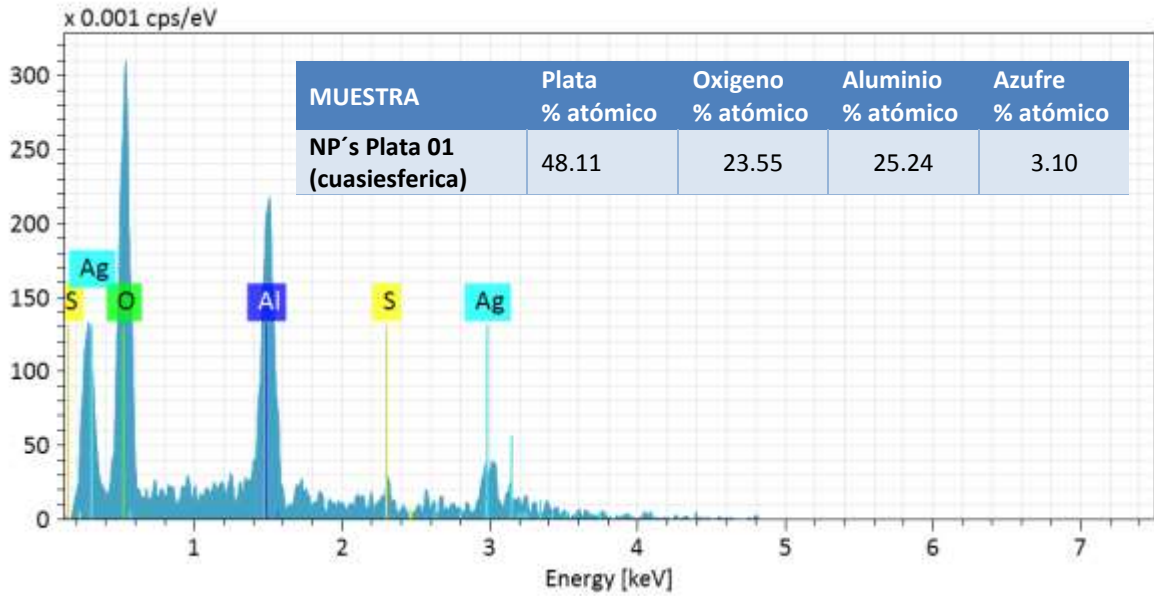
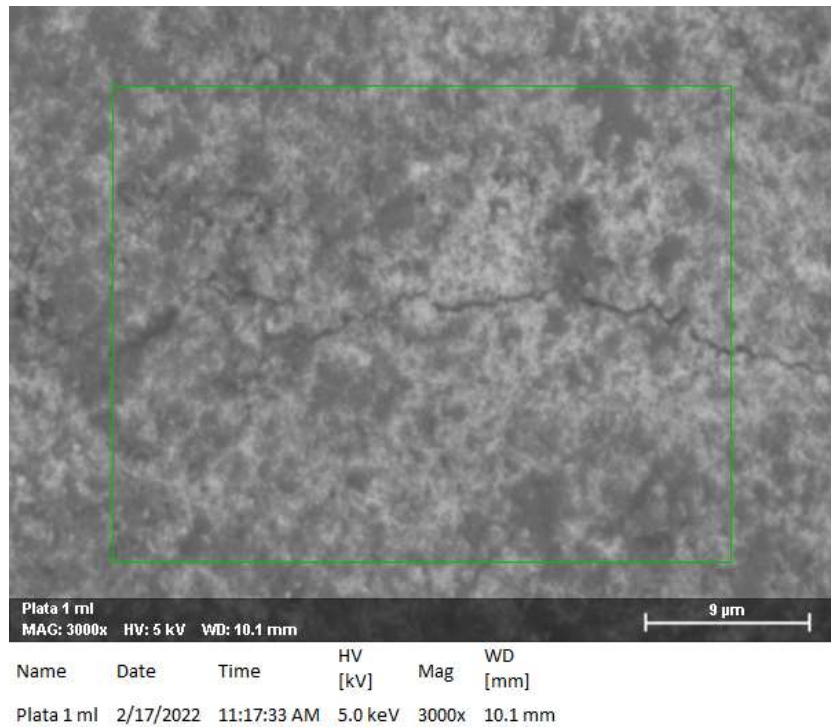
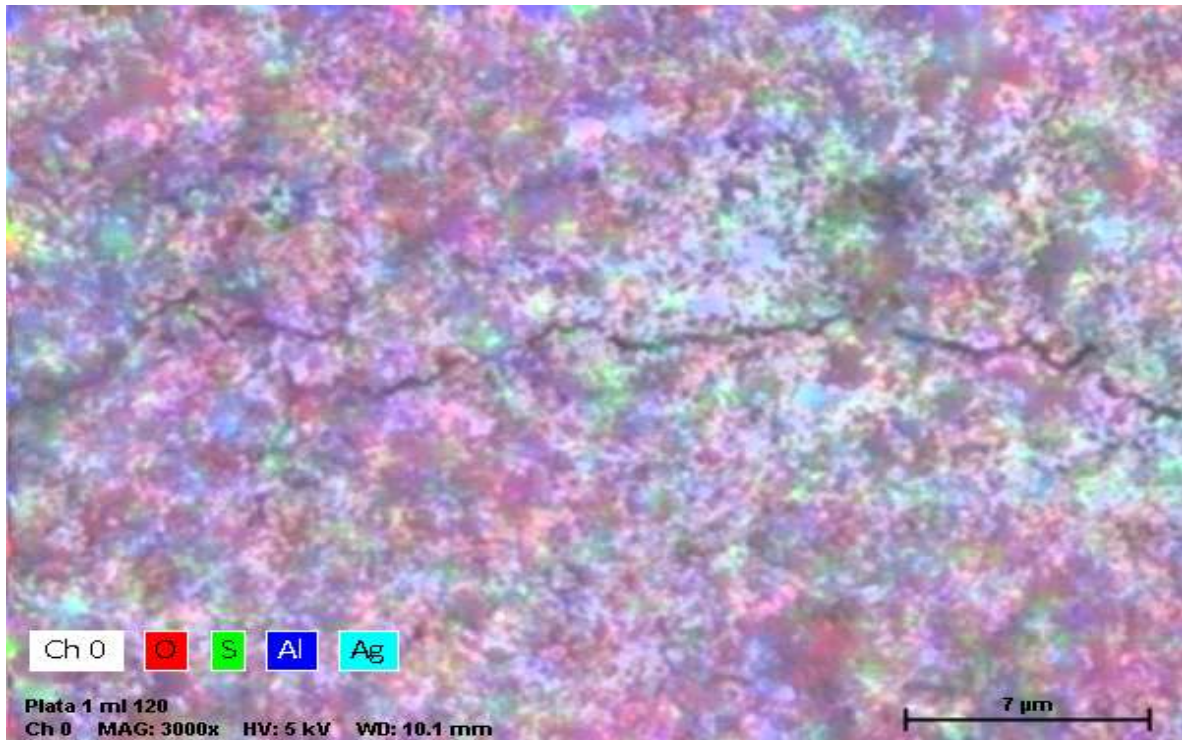


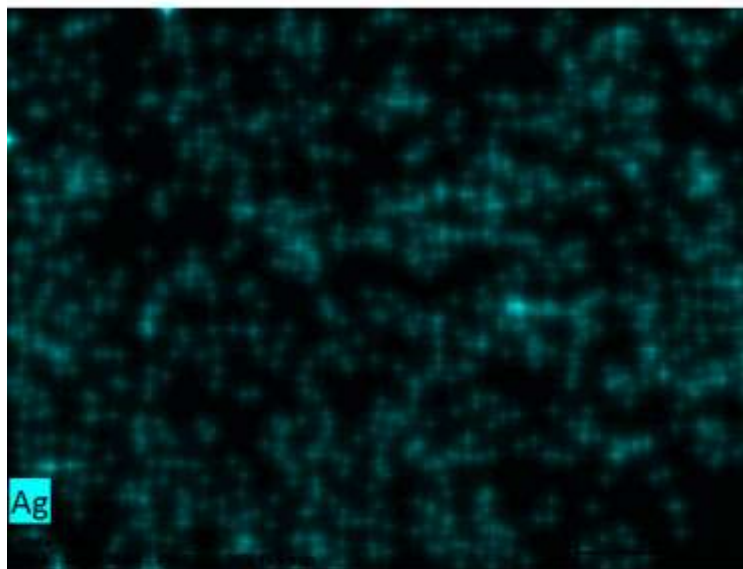
Figura 55. Análisis de EDS de aluminio anodizado y nanopartículas de plata con morfología cuasiesfericas.

En las imágenes del mapeo elemental de esta muestra figura 56, mostraron que las nanopartículas de plata cuasiesfericas se encontraron mejor dispersadas en la placa de aluminio anodizado.





Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Plata 1 ml 120	2/17/2022	11:20:53 AM	5.0 keV	3000x	10.1 mm



Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
2/17/2022	11:20:53 AM	5.0 keV	3000x	10.1 mm

Figura 56. Mapeo Elemental de aluminio anodizado y nanopartículas de plata con morfología cuasiesfericas.

PROPUESTA "F": NP's de Plata cuasiesfericas (3.0 ml) / Al anodizado

En esta propuesta se utilizaron 3.0 mL de solución de nanopartículas de plata cuasiesfericas, el análisis de EDS se puede observar en la figura 57.

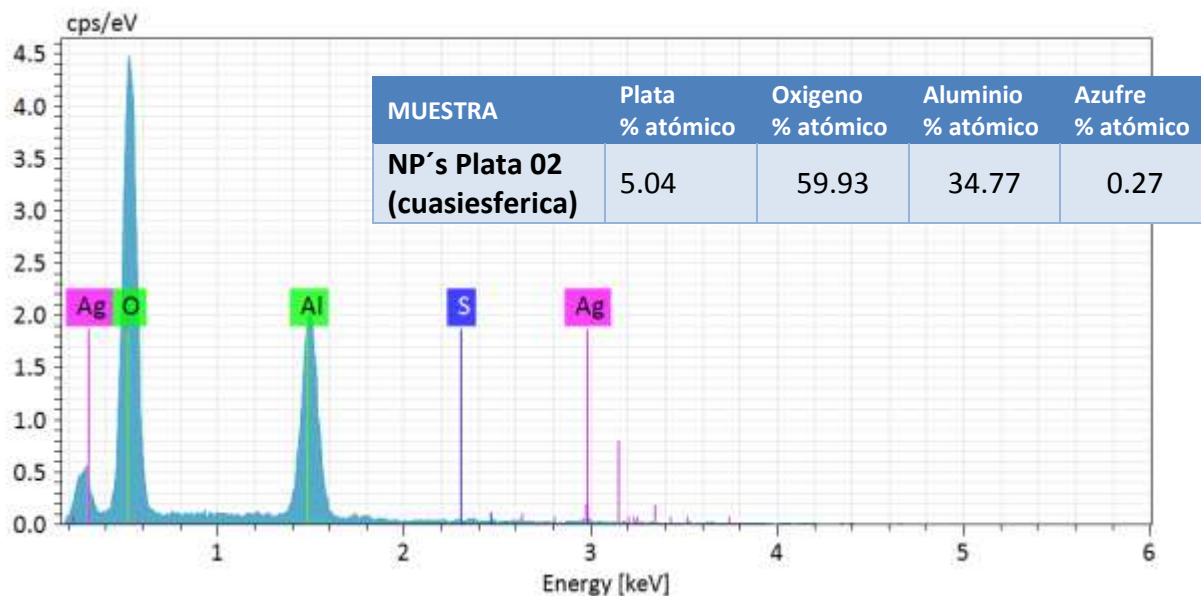
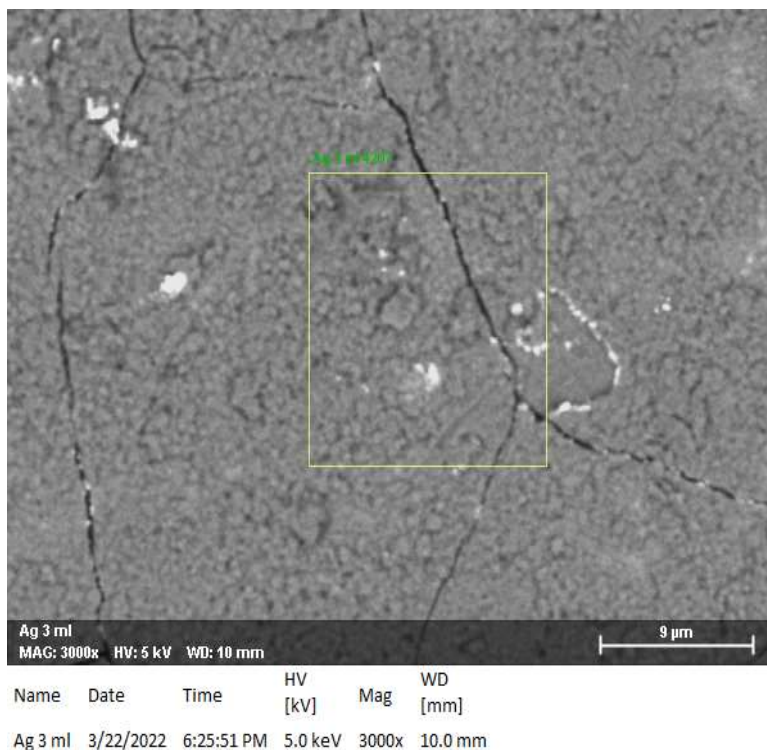
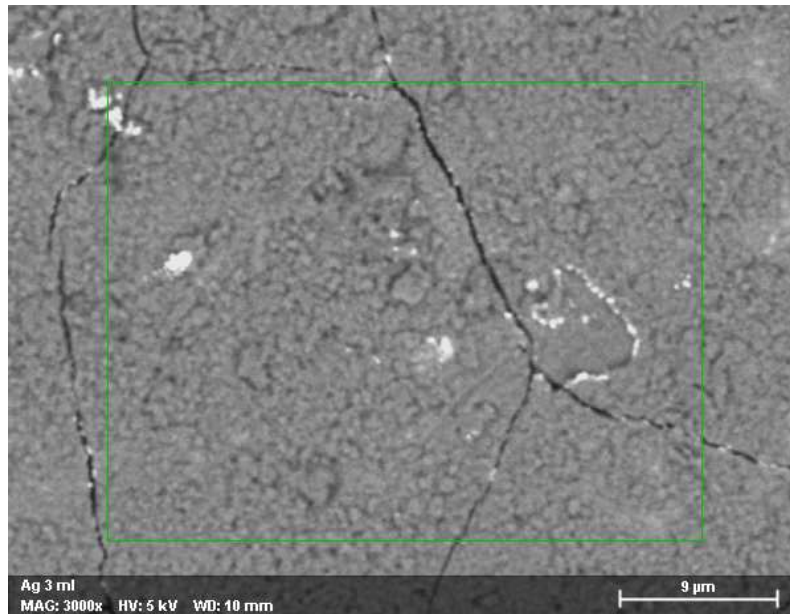
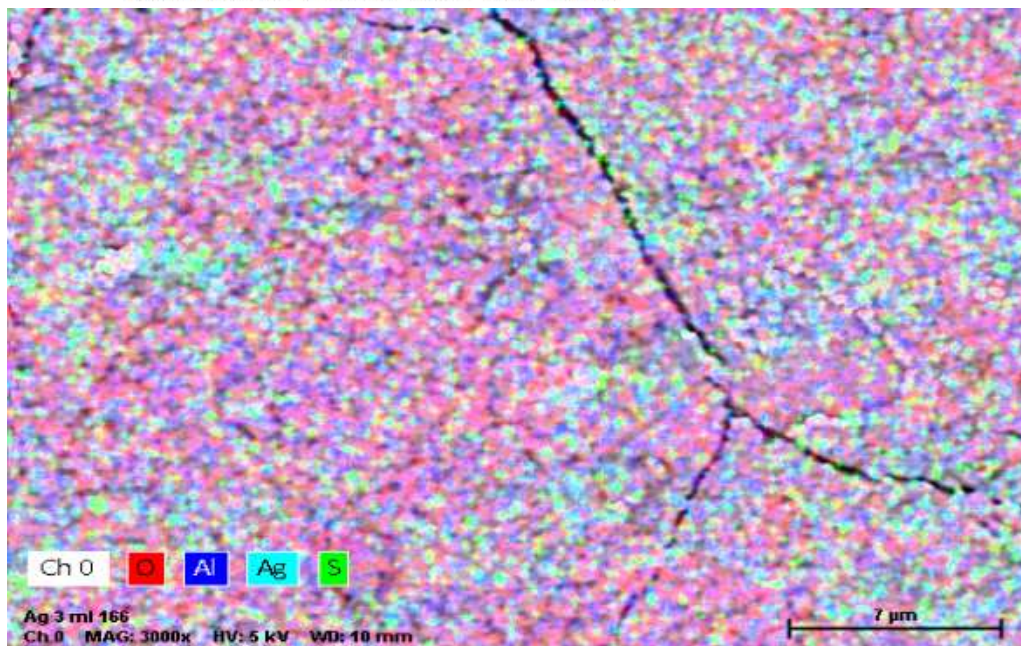


Figura 57. Análisis de EDS de aluminio anodizado y nanopartículas de plata con morfología cuasiesfericas.

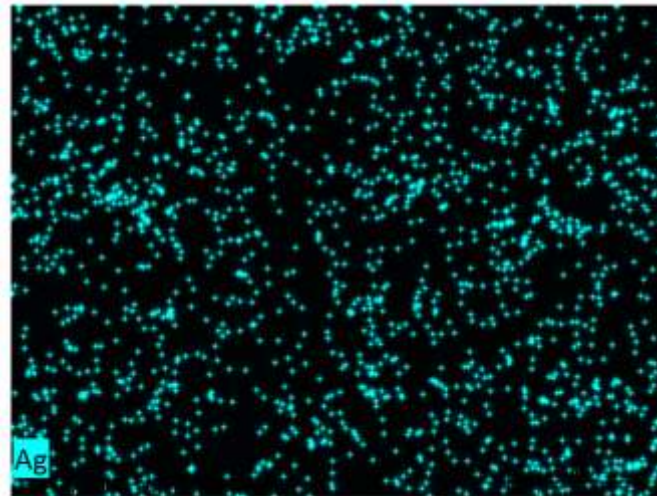
En las imágenes obtenidas por análisis de mapeo elemental nos mostró como las nanopartículas de plata están distribuidas sobre la placa de aluminio anodizado, donde se puede observar una mejor distribución de estas nanopartículas, figura 58.



Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Ag 3 ml	3/22/2022	6:27:23 PM	5.0 keV	3000x	10.0 mm



Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Ag 3 ml 166	3/22/2022	6:28:06 PM	5.0 keV	3000x	10.0 mm



Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
3/22/2022	6:28:06 PM	5.0 keV	3000x	10.0 mm

Figura 58. Mapeo Elemental de aluminio anodizado y nanopartículas de plata con morfología cuasiesféricas.

Después de la caracterización de las diferentes propuestas de Absorbedores Plasmónicos se diseñó un sistema para poder evaluar su comportamiento cuando se le hace incidir un haz de luz.

4.4. Evaluación del Absorbedor Plasmónico con un Haz Incidente.

Después de realizar la caracterización correspondiente de las diferentes propuestas de los absorbedores plasmónicos, se diseñó un experimento para poder medir el comportamiento de estas propuestas cuando son sometidas a diferentes longitudes de onda y a la radiación solar. En la figura 59 se representa que longitudes de onda fueron seleccionadas para realizar este trabajo.

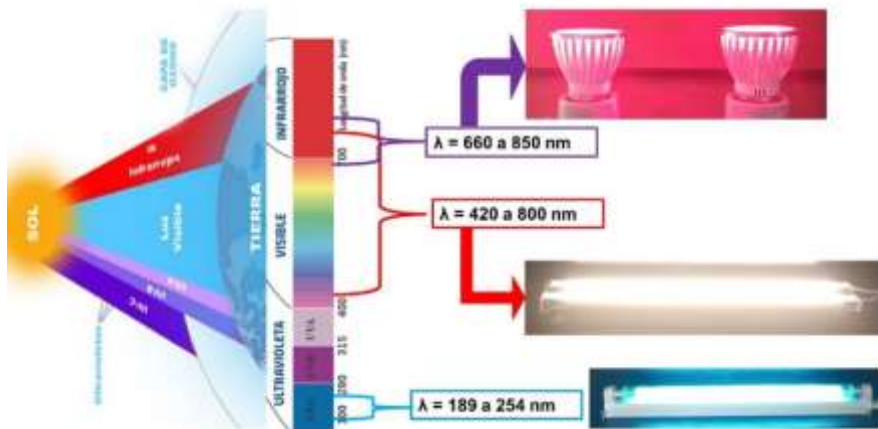


Figura 59. Espectro Electromagnético y tipo de lámparas

Para realizar este trabajo se utilizaron tres tipos de lámparas: la primera lámpara en el rango Ultravioleta, la segunda en el rango visible y la última en rango del Infrarrojo, con las siguientes características:

Tipo de lámpara	Longitud de Onda (nm)	Voltaje	Características
Ultravioleta	189 - 254	8.0	Luz azul
Visible	420 - 800	20.0	Luz blanca
Infrarrojo	660 - 850	5.0 (x 2)	Luz roja

Se colocaron cuatro placas de aluminio anodizado con nanopartículas de oro o plata, en paralelo, en una cubeta para tinción tipo COPLIN de vidrio, como se observa en la figura 60 y se le colocaron 20 mL de agua destilada.



Figura 60. Propuesta de acomodo de las láminas de aluminio anodizado

A continuación estos contenedores de vidrio se colocaron dentro de una caja de madera y en la parte inferior se colocaron las diferentes lámparas (figura 61) y con termómetro digital para monitorear la temperatura.



Figura 61. Propuesta para medir la temperatura

Se realizaron cinco grupos de lecturas, en diferentes días, de cada una de las propuestas de absorbedores desarrollados, el tiempo establecido para este seguimiento fue de 6.0 horas registrando la temperatura cada 30 minutos, por lo que al final obtuvieron 12 lecturas por día, siendo un total de 60 lecturas por los 5 días que se realizó el experimento.

Cuando las propuestas se expusieron a condiciones ambientales, las mediciones se realizaron de las 9:00 a las 15:00, dando un total de 6 horas y su registró de temperatura fue cada 30 minutos.

En la figura 61 se muestran las imágenes de cómo se colocaron las propuestas, los termómetros y las lámparas utilizadas para el desarrollo de este trabajo, como se observa en las imágenes se utilizaron tres contenedores, el primer contenedor se colocó una referencia de aluminio anodizado, en el segundo y tercer contenedor se colocaron las placas de aluminio anodizado con las nanopartículas obtenidas anteriormente. A estos contenedores se les colocaba 20 mL de agua destilada a temperatura ambiente, la cual se consideraba como la temperatura en un tiempo cero y después se le hacía incidir un haz de luz proveniente de una lámpara y cada 30 minutos se registraba la temperatura observada en el termómetro.

Para el caso de condiciones ambientales se colocaron directamente a la radiación solar y se registró la temperatura como se indicó anteriormente, figura 62.

Al obtener todas las lecturas de temperatura se realizó un promedio de las mediciones y se graficó la ΔT (en $^{\circ}C$) contra el tiempo (en minutos). En los anexos se incluirán todos los datos obtenidos de las propuestas de absorbedores plasmónicos desarrolladas en este trabajo.

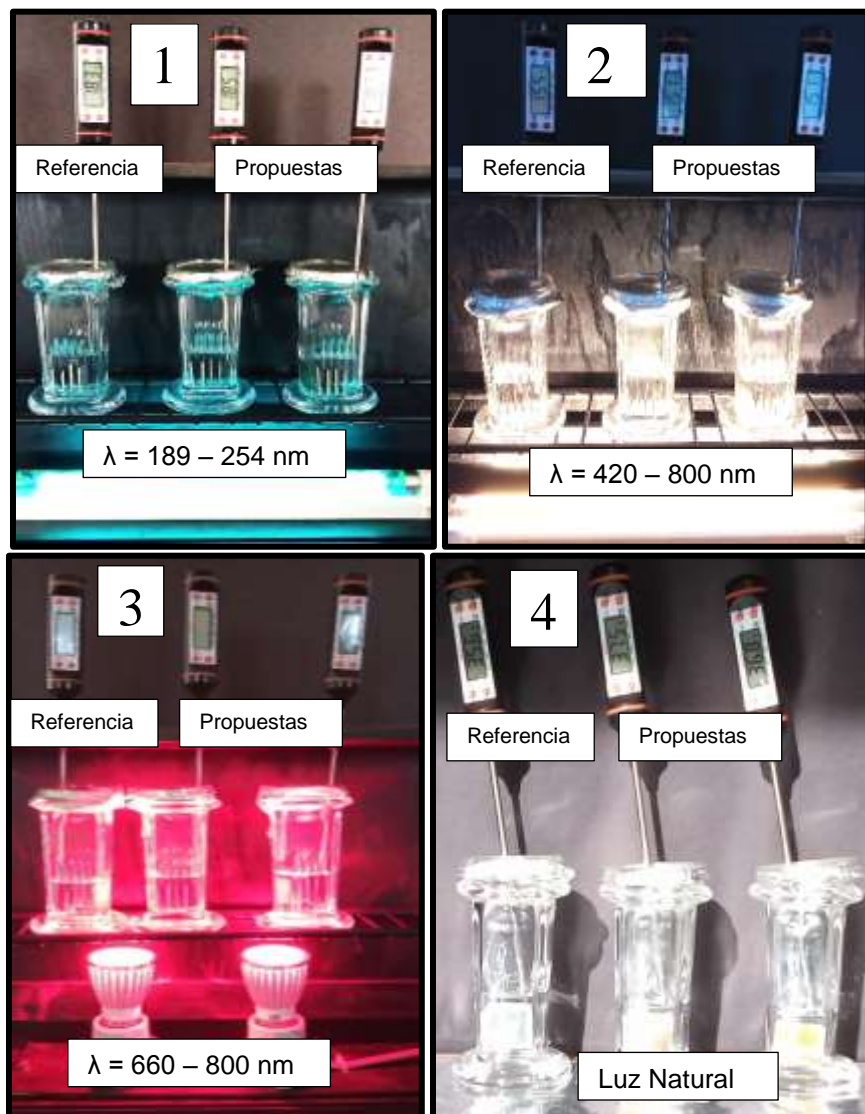


Figura 62. Lámpara utilizadas y acomodo de las propuestas.

A continuación se presentan las tablas de las temperaturas obtenidas de las diferentes propuestas de Absorbedores realizados, así como las gráficas obtenidas de cada propuesta y con cada una de las lámparas mencionadas anteriormente.

En la sección de anexos se encuentran los resultados obtenidos de la medición de temperatura de las diferentes propuestas realizadas. Estos resultados muestran el comportamiento de la variación de temperatura con un haz incidente de 189 a 254 nm, de 420 a 800 nm y de 660 a 850 nm sobre los absorbedores plasmónicos propuestos, así como cuando fueron sometidas a condiciones ambientales (radiación solar).

A continuación se muestra la tabla de resultados de temperatura, con los promedios obtenidos de las cinco repeticiones que se realizaron:

El comportamiento de la **propuesta A** con nanopartículas de oro de forma hexagonal y triangular soportadas en una placa de aluminio anodizado, a diferentes longitudes de onda y expuestas a condiciones ambientales se muestra en la tabla de resultados, figura 63, donde podemos observar que la variación de temperatura es gradual a lo largo del tiempo, cuando se irradia con luz artificial, aunque se tiene un mayor aumento de temperatura cuando la longitud de onda está en el intervalo de 420 a 800 nm y cuando la propuesta es expuesta a condiciones ambientales se alcanza una temperatura máximo de 59.0 °C y este mismo comportamiento se puede observar en la gráfica de temperatura, figura 64.

Tabla de Resultados de Temperatura de la propuesta A				
TIEMPO (min)	$\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$ T = °C	Luz Natural T = °C
0	16.5	16.5	16.5	18.3
30	19.1	19.1	20.0	29.6
60	21.2	21.0	22.1	49.7
90	21.7	22.0	23.6	53.7
120	22.2	23.0	24.5	56.2
150	22.8	23.6	25.0	58.5
180	23.2	24.2	25.4	59.0
210	23.6	24.7	25.6	55.4
240	24.2	25.3	25.9	48.1
270	24.6	26.0	26.2	39.0
300	25.0	26.6	26.8	36.3
330	25.4	27.2	27.1	37.3
360	25.8	27.9	27.5	31.8

Figura 63. Tabla de promedios de Temperaturas cuando se utilizan NP's de oro con morfología poliedral.

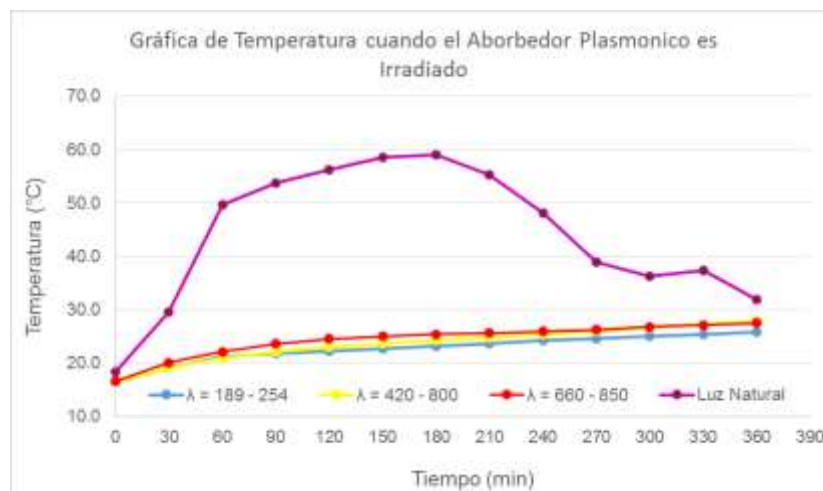


Figura 64. Grafica de temperatura cuando se irradia el Absorbedor Plasmónico

Para la **propuesta B**, donde se utilizaron nanopartículas de oro tipo estrella, se obtiene una temperatura máxima de 56.7°C, promedio de cinco repeticiones, en condiciones ambientales y cuando es irradiada con luz artificial, el aumento de temperatura es gradual con las lámparas a diferente longitud de onda, figura 65, en la gráfica de temperatura, figura 66, podemos observar este comportamiento de esta propuesta de Absorbedor Plasmónico.

Tabla de Resultados de Temperatura de la propuesta B				
TIEMPO (min)	$\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$ T = °C	Luz Natural T = °C
0	16.5	16.3	16.6	18.6
30	18.3	18.9	19.6	42.8
60	19.8	20.9	21.6	51.3
90	20.6	22.0	22.9	49.3
120	21.2	23.0	23.7	52.7
150	21.7	23.6	24.2	57.4
180	22.2	24.3	24.5	55.6
210	22.5	24.9	24.8	48.7
240	23.2	25.5	25.1	47.9
270	23.6	26.2	27.9	42.3
300	24.0	26.8	27.9	40.0
330	24.3	27.4	27.7	37.7
360	24.7	28.1	27.8	39.0

Figura 65. Tabla de promedios de Temperaturas cuando se utilizan NP's de oro con morfología tipo estrella

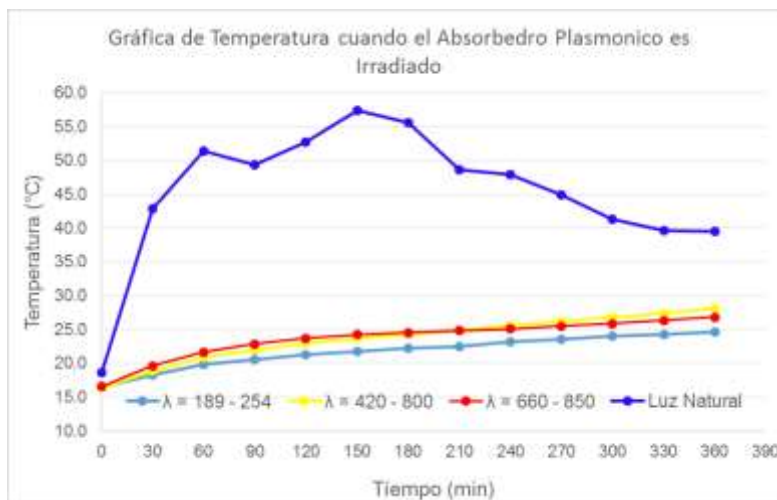


Figura 66. Gráfica de temperatura cuando se irradia el Absorbedor Plasmónico

Propuesta C, para esta propuesta se obtuvieron nanopartículas de oro por el método de Ablación Laser, las cuales presentaron una morfología cuasiesfericas e igual que las propuestas anteriores se depositaron sobre una placa de aluminio anodizado, para este caso se utilizó 1.0 ml de esta solución de nanopartículas. La tabla de resultados, figura 67, nos indicó que en condiciones ambientales la temperatura máxima alcanzada fue de 46.4 °C, promedio de cinco repeticiones y cuando se irradia con luz artificial el aumento fue gradual y las temperaturas máximas alcanzadas fueron similares y la gráfica de temperatura, figura 68, muestra este comportamiento.

Tabla de Resultados de Temperatura de la propuesta C (Ablación Laser)				
TIEMPO (min)	$\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$ T = °C	Luz Natural T = °C
0	16.1	16.2	13.8	16.9
30	18.3	18.8	15.6	35.7
60	19.9	20.5	17.3	44.0
90	20.9	21.8	18.6	46.4
120	21.5	22.5	19.1	45.7
150	22.0	22.9	19.6	44.7
180	22.4	23.3	20.0	44.0
210	22.7	23.6	20.5	42.7
240	23.0	23.8	20.9	44.7
270	23.3	24.1	21.3	43.1
300	23.6	24.4	21.8	41.3
330	23.9	24.7	22.3	36.1
360	24.2	25.0	22.8	35.7

Figura 67. Tabla de promedios de Temperaturas cuando se utilizan NP's de oro con morfología cuasiesferica.

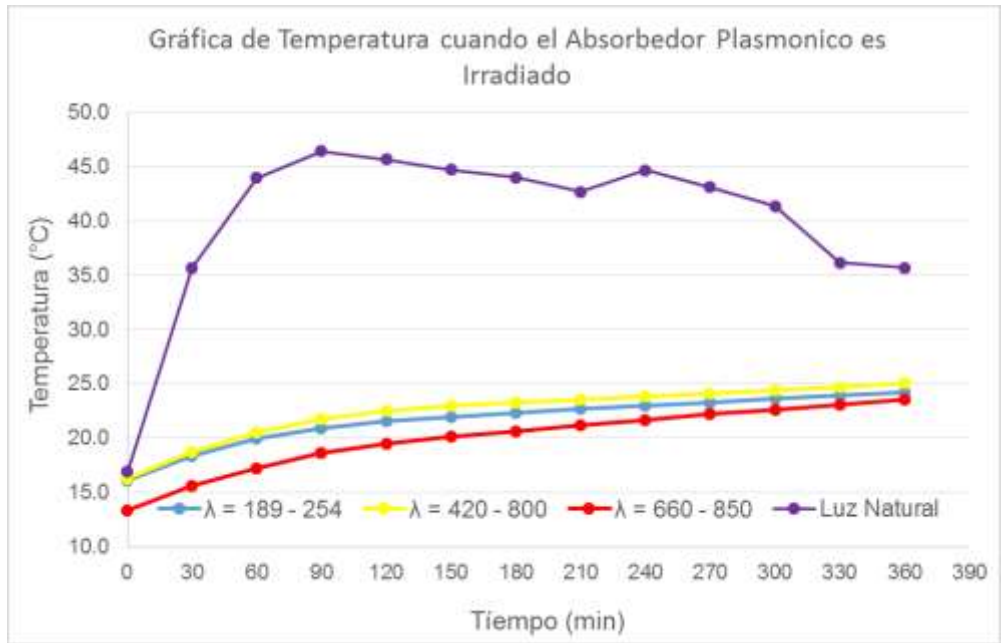


Figura 68. Grafica de temperatura cuando se irradia el Absorbedor Plasmónico

Propuesta D, para esta propuesta también se utilizaron nanopartículas de oro, cuasiesféricas, obtenidas por el método Ablación Laser, la diferencia fue que se utilizaron 3.0 ml de solución de nanopartículas, para poder ver el efecto que se tiene al cambiar la cantidad de nanopartículas depositadas sobre la placa de aluminio anodizado.

La tabla de resultados que es el promedio de cinco repeticiones, figura 69, nos indica que la temperatura máxima alcanzada es de 45.1 °C y al ser irradiadas con luz artificial el incremento de temperatura sigue el mismo comportamiento que la propuesta anterior, por lo que no se observó una diferencia significativa al utilizar mas solución de nanopartículas de oro de morfología cuasieferica. En la figura 70, tenemos la gráfica de este comportamiento de Absorbedor Plasmónico.

Tabla de Resultados de Temperatura de la propuesta D (Ablación Laser)				
TIEMPO min	$\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$ T = °C	Luz Natural T = °C
0	16.1	16.2	13.3	16.9
30	17.7	18.5	15.9	35.3
60	19.0	20.1	17.4	43.0
90	19.9	21.1	18.4	45.5
120	20.3	21.6	19.5	44.0
150	20.7	21.9	20.1	43.9
180	21.1	22.2	20.5	44.2
210	21.4	22.4	21.0	43.1
240	21.7	22.7	21.5	44.0
270	22.0	23.0	22.0	43.0
300	22.3	23.3	22.5	41.3
330	22.6	23.7	22.9	35.9
360	22.8	24.1	23.3	35.3

Figura 69. Tabla de promedios de Temperaturas cuando se utilizan NP's de oro con morfología cuasiesferica

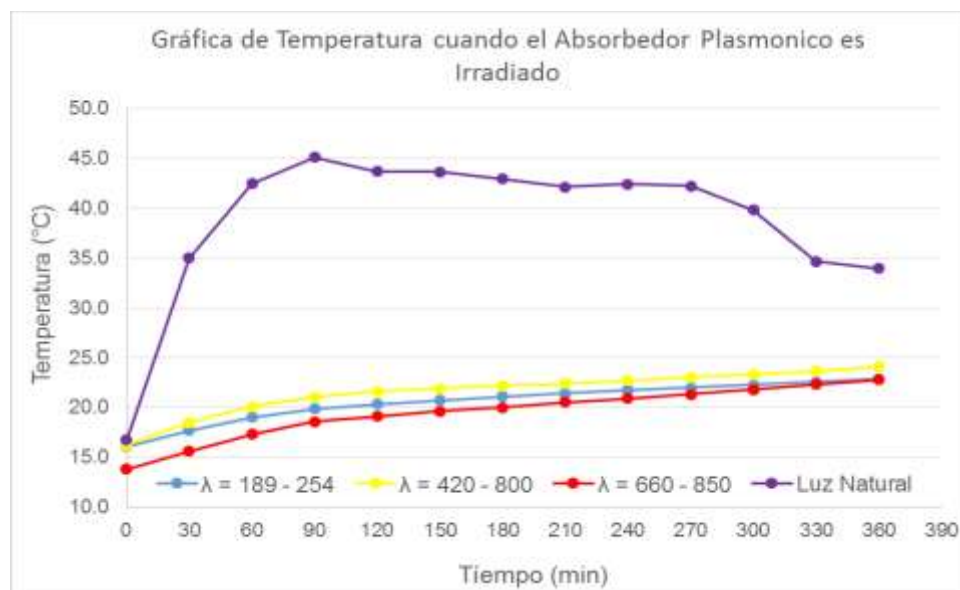


Figura 70. Grafica de temperatura cuando se irradia el Absorbedor Plasmónico

Propuesta E, esta propuesta se realizó con nanopartículas de plata con morfología cuasiesférica, obtenidas por el método Ablación Laser, he igual que las anteriores soportados en aluminio anodizado, se utilizó 1.0 ml de esta solución de nanopartículas, la tabla de resultado de temperatura, figura 71, nos indica una temperatura máxima de 40.8 °C en condiciones ambientales y cuando es irradiado con luz artificial el incremento de la temperatura es gradual, aunque se observa un mejor desempeño cuan es irradiado en el rango de 420 a 800 nm (Rango Visible), en la gráfica de temperatura de la figura 72, podemos ver este comportamiento que tienen las nanopartículas de plata.

Tabla de Resultados de Temperatura de la propuesta E (Ablación Laser)				
TIEMPO (min)	$\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$ T = °C	Luz Natural T = °C
0	17.0	16.6	15.7	14.3
30	18.8	18.9	17.5	33.8
60	20.4	21.4	19.2	40.0
90	21.4	22.8	20.5	40.5
120	22.0	23.7	21.3	40.2
150	22.3	24.3	22.0	40.8
180	22.7	24.9	22.5	37.3
210	23.1	25.5	22.9	34.0
240	23.4	25.9	23.4	32.7
270	23.8	26.4	23.8	31.8
300	24.1	26.9	24.2	33.9
330	24.5	27.3	24.6	32.9
360	24.9	27.9	25.0	28.0

Figura 71. Tabla de promedios de Temperaturas cuando se utilizan NP's de plata con morfología cuasiesféricas

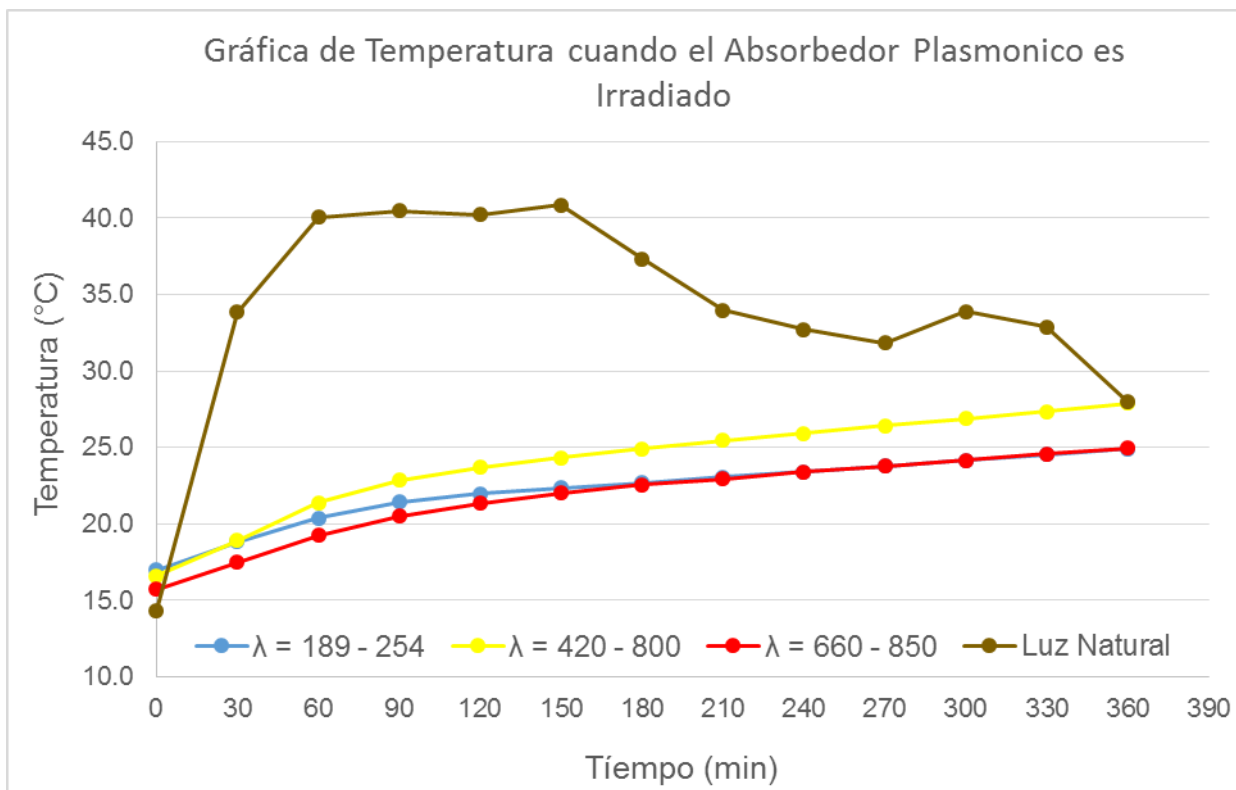


Figura 72. Grafica de temperatura cuando se irradia el Absorbedor Plasmónico

Propuesta F para esta última propuesta se utilizó la misma solución de nanopartículas de plata, anteriormente utilizada, solo que en esta ocasión se depositaron 3.0 ml, en la tabla de resultados, figura 73, se puede observar el incremento que se tiene de temperatura a lo largo del tiempo en condiciones ambientales se obtuvo una temperatura máxima de 40.4 °C y un mejor desempeño cuando se irradia con la longitud de onda de 420 a 80 nm, como la propuesta anterior, en la gráfica de temperatura podemos ver como aumenta la temperatura a lo largo del tiempo, figura 74.

Estas propuestas de Absorbedor Plasmónicos con nanopartículas de plata, igual que cuando se ocupa las nanopartículas de oro, cuando se modifica el volumen depositado en el soporte de aluminio anodizado, no se observa una diferencia significativa de cambio en el aumento de temperatura.

Tabla de Resultados de Temperatura de la propuesta F (Ablación Laser)				
TIEMPO (min)	$\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$ T = °C	$\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$ T = °C	Luz Natural T = °C
0	16.8	16.6	15.7	14.3
30	18.4	18.6	17.3	33.3
60	19.8	21.1	18.8	38.9
90	20.7	22.3	20.1	38.8
120	21.2	23.1	20.9	39.1
150	21.6	23.7	21.4	40.4
180	21.9	24.2	21.8	37.1
210	22.2	24.7	22.2	33.6
240	22.6	25.2	22.5	32.3
270	23.0	25.6	22.9	31.5
300	23.3	26.1	23.3	33.2
330	23.8	26.5	23.7	32.2
360	24.1	26.9	24.1	27.1

Figura 73. Tabla de promedios de Temperaturas cuando se utilizan NP's de plata con morfología cuasiesfericas

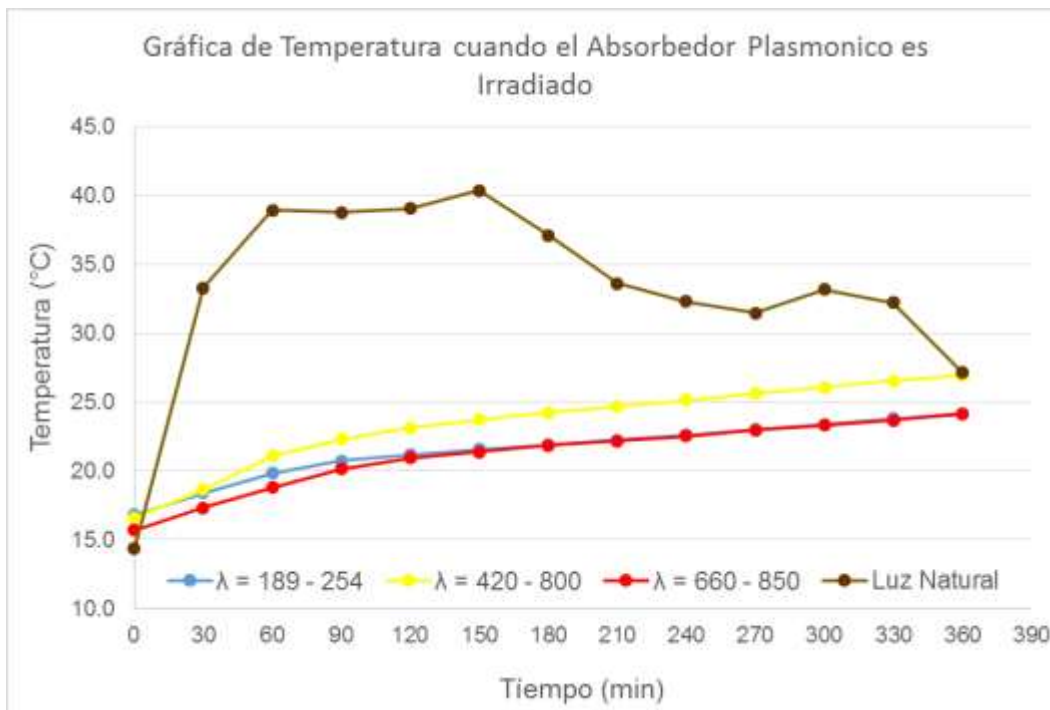


Figura 74. Grafica de temperatura cuando se irradia el Absorbedor Plasmónico

A continuación se presenta una tabla de resultados donde se concentran las temperaturas máximas alcanzadas de las diferentes propuestas de Absorbedores Plasmónicos realizados en este proyecto, con diferentes morfologías, volumen depositado y tamaño de nanopartículas, figura 75.

TABLA DE RESULTADOS DE TEMPERATURA

Condiciones de Irradiación $\lambda = \text{nm}$	Propuesta A NP's Au Triangular y hexagonal	Propuesta B NP's Au Tipo estrella	Propuesta C NP's Au (1ml) cuasiesfericas	Propuesta D NP's Au (3ml) cuasiesfericas	Propuesta E NP's Ag (1ml) cuasiesfericas	Propuesta F NP's Ag (3ml) cuasiesfericas
189 – 254	27.3 °C	26.6 °C	26.2 °C	24.5 °C	28.8 °C	27.4 °C
420 – 800	29.4 °C	29.5 °C	26.5 °C	25.3 °C	30.4 °C	29.4 °C
660 – 850	28.0 °C	27.3 °C	24.8 °C	24.0 °C	26.1 °C	25.2 °C
Radiación Solar	77.1 °C	65.9 °C	49.7 °C	49.7 °C	48.3 °C	47.3 °C

Figura 75. Tabla de resultados de temperaturas de las propuestas de Absorbedores Plasmónicos

Se desarrollaron varias propuestas de Absorbedores Plasmónicos, los cuales fueron realizados con nanopartículas de oro y nanopartículas de plata con diferentes morfologías y tamaños en un soporte de aluminio anodizado, estas nanopartículas se sintetizaron por dos métodos diferentes, lo cual nos permitió controlar la morfología y tamaño de las nanopartículas, también se obtuvo una gran diversidad de tamaños y así poder mejorar los procesos de absorción y aumentar la posibilidad de generar “hot spots” entre las nanopartículas, para poder tener un mejor desempeño, al ser irradiadas con una fuente de luz natural y/o artificial.

Con este trabajo se puede observar el comportamiento de las nanopartículas cuando son irradiadas a diferentes longitudes de onda y su comportamiento cuando son expuestas a condiciones ambientales y que sus propiedades dependen de la morfología y del tamaño de las nanopartículas utilizadas, que en este caso fue el oro y la plata.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El colocar nanopartículas de oro o plata, sobre un soporte poroso de óxido de aluminio nos ayuda a formar un material nanoestructurado que presento características que lo hacen diferenciar de los demás trabajos, como el reportado por Chihhui Wu, *et all.*[60] que se basa en obtener un sistema solar termofotovoltaica con una película de estructuras plasmónicas con patrón de nanoimpresión, el reportado por Yang Wang, *et all.* [61] que realizo una estructura plana, que fue desarrollada con una capa semiconductor ultrafina, con una película metálica perforada nanoscópicamente y una película de interferencia dieléctrica, etc.

Nuestro Absorbedor Plasmónico tiene la diferencia de ser de fácil fabricación y debido a que se utilizaron técnicas sencillas que no requieren procesos como nanoimpresion, litografía de haz de electrones u otras técnicas que suelen ser más complicadas, para la fabricación de este tipo de nanomateriales y además nos permitió tener el control del tamaño y de la forma de las nanopartícula de oro o plata.

El efecto de temperatura con relación a la resonancia plasmónica ha sido estudiado por muchos grupos de investigación tal es el caso de Jing Wang, *et all.* [62] el cual con su trabajo experimental observo como una nanoestructura logra tener una respuesta de calentamiento puntualizada debido al efecto de la resonancia plasmónica en una longitud de onda del infrarrojo cercano. Otro trabajo donde se puede observar el efecto que tienen las nanoparticulas de oro y su relación con la temperatura es el estudio de Lin Zhou, *et all.* el cual con su diseño de absorbedor plasmonico obtuvo una absorbancia media de ~99 % en un rango de longitud de onda de 400 nm a 10 mm.

Para comprobar si nuestro absorbador plasmónico, podría utilizarse como un material termosolar, se diseñó un procedimiento el cual consistió en medir la temperatura de un líquido a diferentes longitudes de onda y estudiar si con diferentes formas y tamaños de nanopartículas se tenía un mayor incremento de temperatura. Esta diferencia de morfología se pudo observar cuando se utilizaron nanopartículas de oro esféricas, tipo

estrella y de cuando se utilizaron formas triangulares y hexagonales, observándose un mejor incremento en la temperatura cuando se utilizan nanopartículas con una morfología tipo estrella, debido a que en sus vértices, hay un incremento de energía y esta es transferida al líquido en forma de calor, aumentando así la temperatura del agua.

Realizando una comparación de nuestros resultados con algunos estudios que se han realizado sobre los Absorbedores Plasmónicos, se puede concluir que este diseño realizado en este trabajo tiene un gran potencial de ser un nuevo material para el desarrollo de calentadores solares, debido a que se alcanzaron temperaturas por arriba de los 50°C, con nanopartículas de oro, además de ser un material fácil de elaborar y la síntesis de nanopartículas es también económica y amigable con el ambiente.

Se han realizado diferentes estudios teóricos y experimentales que describen como es el proceso de generación de calor y como esta característica que tienen las nanopartículas de metales nobles, ha sido aprovechada en tratamientos para cáncer y obtención de energía solar, debido a que la generación del plasmón superficial que se genera al ser irradiadas por una fuente de luz es aumentada alrededor de la nanopartícula y esta energía puede ser transferida al medio que la rodea. Esta parte de plasmónica ha permitido tener mejores rendimientos en cómo se absorben las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético y que dependiendo de la región que se quiera utilizar se puede diseñar un tipo de nanopartículas en específico.

Por otra parte, para trabajos futuros se recomienda mejorar el soporte de óxido de aluminio o utilizar otro tipo de soporte, que permita mejorar la absorción de la luz incidente y así aumentar la eficiencia de este tipo de sistemas termosolares u utilizar otras formas y tamaños de nanopartículas para poder tener una mejor relación de estas con el soporte y mejorar el aumento de temperatura.

5.- CONCLUSIONES

- Se obtuvieron diferentes morfologías de nanopartículas de oro, poliedrales (hexágonos y triángulos) y tipo estrella por biosíntesis y por el método de ablación laser se obtienen nanopartículas de oro y plata con morfología cuasferica, las cuales fueron soportadas en una placa de aluminio comercial, a la cual se le realizo un proceso de anodizado para generar una capa de óxido de aluminio. Con la caracterización correspondiente se observó la distribución de las nanopartículas de oro y de plata, en la placa de aluminio.
- Estas propuestas de absorbedores plasmónicos al ser sometidos a un haz de luz, se observa un aumento en la temperatura del líquido (agua) cuando al aluminio anodizado se le depositan nanopartículas de oro con morfología triangular y hexagonal (54.0°C) o tipo estrella (56.7°C) en condiciones ambientales. Cuando la morfología es cuasferica las temperaturas máximas alcanzadas fueron de 46.4°C para nanopartículas de oro y 40.8°C para nanopartículas de plata.
- También se realizaron los estudios de estos Absorbedores Plasmónicos cuando se les hace incidir un rango específico del espectro solar, que en te caso fue en la longitud de infrarrojo, visible y ultravioleta, observado un aumento de temperatura constante en cada rango de longitud de onda propuesta en este trabajo.
- Debido a los resultados obtenidos del Absorbedor Plasmónico desarrollado con nanopartículas de oro o plata utilizando como soporte oxido de aluminio, podría ser utilizado como material termosolar.
- Como continuidad de este trabajo se podría mejorar el soporte de óxido de aluminio o utilizar otro tipo de soporte para mejorar la interacción que se tiene con las nanopartículas de oro y plata y poder mejorar la respuesta que tienen este tipo de materiales cundo se le hace incidir un haz de luz.

ANEXOS

ANEXO I: Resultados de temperatura de la propuesta A, nanopartículas de oro poliedral depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 189 a 254 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	18/03/2021	18/03/2021	05/04/2021	05/04/2021	06/04/2021	06/04/2021	7/04/2021	7/04/2021	8/04/2021	8/04/2021
0	16.50	16.50	16.80	17.30	16.80	17.00	16.10	16.10	15.50	15.00
30	18.70	20.30	18.60	19.60	18.30	19.20	17.90	18.60	17.10	17.90
60	19.20	21.50	19.80	22.90	19.80	21.50	19.20	20.50	18.30	19.80
90	19.70	22.40	20.50	22.00	20.20	22.10	19.80	21.30	18.80	20.60
120	20.30	22.90	21.10	22.90	20.50	22.50	20.30	21.90	19.30	21.00
150	20.80	23.50	21.80	23.60	20.80	22.80	20.60	22.50	19.60	21.40
180	21.30	23.90	22.30	24.30	21.10	23.10	21.00	22.80	19.80	21.80
210	21.70	24.20	23.00	24.90	21.40	23.30	21.40	23.30	20.20	22.10
240	22.30	24.80	23.60	25.90	21.70	23.80	21.80	23.80	20.60	22.60
270	22.60	25.30	24.10	26.10	22.00	24.00	22.40	24.40	21.10	23.20
300	22.80	25.50	24.50	26.60	22.30	24.30	22.90	24.90	21.80	23.80
330	22.90	25.60	24.90	27.00	22.50	24.60	23.50	25.30	22.30	24.40
360	23.00	25.60	25.30	27.30	22.70	24.80	24.10	26.10	23.00	25.00

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO POLIEDRALES			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.34	0.55	16.50	0.68	0.16	0.21
30	18.12	0.65	19.12	0.92	1.00	0.35
60	19.26	0.61	21.24	1.17	1.98	0.73
90	19.80	0.64	21.68	0.73	1.88	0.49
120	20.30	0.65	22.24	0.80	1.94	0.40
150	20.72	0.78	22.76	0.89	2.04	0.38
180	21.10	0.89	23.18	0.98	2.08	0.30
210	21.54	1.00	23.56	1.06	2.02	0.27
240	22.00	1.09	24.18	1.24	2.18	0.22
270	22.44	1.09	24.60	1.13	2.16	0.30
300	22.86	1.02	25.02	1.09	2.16	0.30
330	23.22	1.04	25.38	1.03	2.16	0.33
360	23.62	1.08	25.76	1.00	2.14	0.26

ANEXO II: Resultados de temperatura de la propuesta A, nanopartículas de oro poliedral depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 420 a 800 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	16/03/2021	16/03/2021	22/03/2021	22/03/2021	23/03/2021	23/03/2021	24/03/2021	24/03/2021	25/03/2021	25/03/2021
0	19.00	19.00	15.00	15.10	16.30	16.30	15.90	16.20	15.60	15.70
30	20.30	21.00	16.70	17.60	17.30	18.90	18.10	19.50	17.30	18.30
60	21.00	21.90	18.40	19.90	19.50	21.10	19.30	21.10	18.90	20.80
90	21.40	22.40	19.40	21.10	20.70	22.60	20.30	22.30	19.50	21.60
120	21.70	22.80	20.10	21.90	21.70	23.70	20.90	23.10	21.10	23.30
150	22.30	23.40	20.70	22.50	22.50	24.50	21.40	23.50	21.70	23.90
180	22.70	23.80	21.40	23.20	23.30	25.50	21.90	23.90	22.30	24.60
210	23.30	24.40	21.80	23.60	23.80	25.90	22.50	24.50	23.10	25.30
240	23.80	25.00	22.40	24.20	24.30	26.50	22.90	24.90	23.70	25.90
270	24.30	25.60	23.10	24.80	25.10	27.30	23.50	25.50	24.50	26.70
300	24.90	26.10	23.80	25.60	25.70	27.90	24.00	26.00	25.20	27.50
330	25.30	26.60	24.20	26.00	26.50	28.60	24.60	26.60	26.00	28.30
360	25.80	27.00	24.90	26.70	27.30	29.40	25.30	27.30	26.80	29.10

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO POLIEDRALES			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.36	1.55	16.46	1.50	0.10	0.12
30	18.06	1.37	19.06	1.29	1.00	0.25
60	19.42	0.98	20.96	0.72	1.54	0.39
90	20.26	0.84	22.00	0.63	1.74	0.44
120	21.10	0.66	22.96	0.68	1.86	0.46
150	21.72	0.72	23.56	0.73	1.84	0.44
180	22.32	0.73	24.20	0.88	1.88	0.48
210	22.90	0.77	24.74	0.88	1.84	0.44
240	23.42	0.76	25.30	0.90	1.88	0.41
270	24.10	0.80	25.98	1.00	1.88	0.38
300	24.72	0.80	26.62	1.01	1.90	0.44
330	25.32	0.95	27.22	1.15	1.90	0.38
360	26.02	1.01	27.90	1.25	1.88	0.42

ANEXO III: Resultados de temperatura de la propuesta A, nanopartículas de oro poliedral depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 660 a 850 nm

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	16.80	16.50	16.60	16.60	14.70	14.80	16.60	16.70	17.80	18.10
30	19.10	21.90	19.60	20.10	18.00	18.70	19.20	19.20	20.10	20.30
60	20.30	24.70	21.30	22.60	18.90	20.10	20.70	21.10	21.60	22.10
90	21.60	26.50	22.60	23.80	21.10	22.10	21.80	22.00	22.50	23.60
120	22.40	27.40	23.80	24.60	22.10	23.10	22.90	22.90	22.50	24.50
150	22.80	27.80	23.80	24.90	22.60	23.60	23.00	23.00	23.00	24.90
180	23.10	27.90	24.10	25.30	23.10	24.00	23.30	24.30	23.30	25.30
210	23.20	28.00	24.30	25.50	23.50	24.50	23.60	24.50	23.60	25.50
240	23.30	28.00	24.50	25.80	23.80	24.80	23.90	25.10	23.90	25.80
270	23.20	27.90	24.90	26.30	24.20	25.30	24.50	25.60	24.30	26.10
300	23.10	27.90	25.20	26.70	24.60	26.30	24.90	26.30	24.80	26.60
330	23.10	27.70	25.60	27.30	25.30	26.50	24.60	26.90	25.20	27.00
360	23.20	27.80	26.00	27.80	25.90	26.90	25.30	27.40	25.80	27.50

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO POLIEDRALES			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.50	1.12	16.54	1.17	0.04	0.22
30	19.20	0.78	20.04	1.23	0.84	1.13
60	20.56	1.06	22.12	1.73	1.56	1.64
90	21.92	0.63	23.60	1.82	1.68	1.84
120	22.74	0.66	24.50	1.80	1.76	1.95
150	23.04	0.46	25.02	1.66	1.98	1.73
180	23.38	0.41	25.36	1.54	1.98	1.63
210	23.64	0.40	25.60	1.43	1.96	1.63
240	23.88	0.43	25.90	1.25	2.02	1.54
270	24.22	0.63	26.24	1.01	2.02	1.53
300	24.52	0.82	26.76	0.66	2.24	1.44
330	24.76	1.00	27.08	0.45	2.32	1.33
360	25.24	1.17	27.48	0.37	2.24	1.38

ANEXO IV: Resultados de temperatura de la propuesta A, nanopartículas de oro poliedral depositadas en aluminio anodizado, a condiciones ambientales.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = \text{CONDICIONES AMBIENTALES}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	18.30	18.10	17.80	17.90	18.10	18.30	18.20	18.20	18.80	18.80
30	22.10	29.30	18.50	18.80	25.30	40.30	27.50	29.40	19.90	30.30
60	35.40	71.40	18.90	27.40	30.40	47.20	34.10	56.80	25.30	45.90
90	40.50	77.10	27.30	40.50	29.10	35.50	35.50	58.10	31.60	57.20
120	37.70	64.80	31.90	54.70	30.90	39.50	35.40	61.80	30.30	60.20
150	38.00	70.90	32.10	45.30	28.70	43.80	34.70	68.40	31.50	64.30
180	40.90	73.60	31.40	47.10	29.50	42.10	34.00	70.10	25.60	62.10
210	38.40	68.40	28.60	53.90	20.20	36.60	34.40	65.40	24.70	58.50
240	33.80	53.80	29.80	47.80	20.90	27.90	33.80	60.30	28.10	50.80
270	26.20	30.30	27.10	36.40	20.40	30.30	34.90	49.50	26.90	48.30
300	25.90	30.80	28.40	40.80	24.60	31.80	34.30	37.10	20.30	40.80
330	22.20	28.40	33.50	48.30	22.70	36.50	33.10	35.00	19.20	38.20
360	20.10	25.50	25.20	39.60	19.10	29.20	30.50	28.90	18.50	35.90

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO POLIEDRALES			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	18.24	0.36	18.26	0.34	0.02	0.15
30	22.66	3.73	29.62	7.61	6.96	6.05
60	28.82	6.79	49.74	16.12	20.92	10.02
90	32.80	5.29	53.68	16.47	20.88	11.63
120	33.24	3.18	56.20	10.03	22.96	8.42
150	33.00	3.52	58.54	13.00	25.54	10.43
180	32.28	5.71	59.00	13.90	26.72	11.62
210	29.26	7.30	55.36	14.97	26.10	9.30
240	29.28	5.31	48.12	12.21	18.84	7.35
270	27.10	5.16	38.96	9.42	11.86	6.50
300	26.70	5.16	36.26	4.79	9.56	7.08
330	26.14	6.67	37.28	7.19	11.14	6.93
360	22.68	5.11	31.82	5.76	9.14	7.52

ANEXO V: Resultados de temperatura de la propuesta B, nanopartículas de oro tipo estrella depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 189 a 254 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	16.50	16.50	16.80	17.10	16.80	17.00	16.10	16.10	15.50	15.80
30	18.70	18.10	18.60	18.90	18.30	18.50	17.90	17.80	17.10	17.10
60	19.20	20.20	19.80	20.50	19.80	20.40	19.20	19.50	18.30	18.50
90	19.70	21.20	20.50	21.50	20.20	20.00	19.80	20.20	18.80	19.20
120	20.30	22.10	21.10	22.20	20.50	21.40	20.30	20.80	19.30	19.70
150	20.80	22.70	21.80	22.80	20.80	21.70	20.60	21.20	19.60	20.10
180	21.30	23.30	22.30	23.50	21.10	22.00	21.00	21.60	19.80	20.50
210	21.70	23.90	23.00	23.10	21.40	22.30	21.40	22.10	20.20	20.90
240	22.30	24.30	23.60	24.80	21.70	22.70	21.80	22.60	20.60	21.50
270	22.60	24.50	24.10	25.30	22.00	23.00	22.40	23.10	21.10	21.90
300	22.80	24.50	24.50	25.80	22.30	23.30	22.90	23.80	21.80	22.50
330	22.90	24.30	24.90	26.20	22.50	23.60	23.50	24.40	22.30	23.10
360	23.00	24.40	25.30	26.60	22.70	23.70	24.10	24.90	23.00	23.80

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO TIPO ESTRELLA			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.34	0.55	16.50	0.56	0.16	0.15
30	18.12	0.65	18.28	0.83	0.16	0.21
60	19.26	0.61	19.82	0.83	0.56	0.32
90	19.80	0.64	20.60	0.92	0.80	0.46
120	20.30	0.65	21.24	1.03	0.94	0.56
150	20.72	0.78	21.70	1.12	0.98	0.55
180	21.10	0.89	22.18	1.24	1.08	0.56
210	21.54	1.00	22.46	1.13	0.92	0.78
240	22.00	1.09	23.18	1.35	1.18	0.48
270	22.44	1.09	23.56	1.34	1.12	0.48
300	22.86	1.02	23.98	1.25	1.12	0.39
330	23.22	1.04	24.32	1.18	1.10	0.25
360	23.62	1.08	24.68	1.18	1.06	0.28

ANEXO VI: Resultados de temperatura de la propuesta B, nanopartículas de oro tipo estrella depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 420 a 800 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	16.00	16.00	15.00	14.90	16.30	16.30	15.90	15.90	15.60	15.60
30	20.30	20.90	16.70	17.50	17.90	18.00	18.10	19.00	17.30	18.00
60	21.00	22.30	18.40	20.10	19.50	21.20	19.30	20.80	18.90	20.30
90	21.40	23.10	19.40	21.40	20.70	22.60	20.30	22.00	19.50	21.00
120	21.70	23.70	20.10	22.20	21.70	23.60	20.90	22.70	21.10	22.80
150	22.30	24.50	20.70	22.80	22.50	24.30	21.40	23.10	21.70	23.50
180	22.70	25.10	21.40	23.50	23.30	25.30	21.90	23.70	22.30	24.00
210	23.30	25.90	21.80	23.90	23.80	25.70	22.50	24.20	23.10	24.80
240	23.80	26.50	22.40	24.60	24.30	26.40	22.90	24.70	23.70	25.50
270	24.30	27.10	23.10	25.30	25.10	27.20	23.50	25.20	24.50	26.30
300	24.90	27.60	23.80	25.90	25.70	27.70	24.00	25.80	25.20	26.90
330	25.30	28.00	24.20	26.30	26.50	28.60	24.60	26.40	26.00	27.80
360	25.80	28.50	24.90	27.00	27.30	29.50	25.30	27.10	26.80	28.60

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO TIPO ESTRELLA			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.36	1.55	16.34	1.57	-0.02	0.04
30	18.06	1.37	18.86	1.30	0.80	0.16
60	19.42	0.98	20.94	0.87	1.52	0.18
90	20.26	0.84	22.02	0.86	1.76	0.19
120	21.10	0.66	23.00	0.64	1.90	0.16
150	21.72	0.72	23.64	0.74	1.92	0.22
180	22.32	0.73	24.32	0.83	2.00	0.27
210	22.90	0.77	24.90	0.89	2.00	0.37
240	23.42	0.76	25.54	0.90	2.12	0.37
270	24.10	0.80	26.22	0.95	2.12	0.43
300	24.72	0.80	26.78	0.90	2.06	0.39
330	25.32	0.95	27.42	1.02	2.10	0.37
360	26.02	1.01	28.14	1.07	2.12	0.37

ANEXO VII: Resultados de temperatura de la propuesta B, nanopartículas de oro tipo estrella depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 660 a 850 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	29/11/2021	29/11/2021	30/11/2021	30/11/2021	07/12/2021	07/12/2021	08/12/2021	08/12/2021	09/12/2021	09/12/2021
0	16.80	16.80	16.60	16.60	14.70	14.80	16.60	16.60	17.80	18.10
30	19.10	20.50	19.60	19.70	18.00	18.30	19.20	19.20	20.10	20.40
60	20.30	22.90	21.30	21.50	18.90	20.30	20.70	21.40	21.60	22.10
90	21.60	24.70	22.60	22.80	21.10	21.90	21.80	22.20	22.50	22.70
120	22.40	25.70	23.80	23.90	22.10	22.10	23.90	23.00	22.50	23.70
150	22.80	26.20	23.80	24.00	22.60	23.20	23.00	23.90	23.00	23.80
180	23.10	26.50	24.10	24.30	23.10	23.60	23.30	24.20	23.30	24.10
210	23.20	26.60	24.30	24.60	23.50	24.00	23.60	24.50	23.60	24.50
240	23.30	26.60	24.50	24.90	23.80	24.30	23.90	25.00	23.90	24.70
270	23.20	26.50	24.90	25.50	24.20	24.70	24.50	25.60	24.30	25.10
300	23.10	26.60	25.20	25.80	24.60	25.10	24.90	26.20	24.80	25.60
330	23.10	26.30	25.60	26.80	25.30	25.80	24.60	26.80	25.20	26.10
360	23.20	26.40	26.00	27.30	25.90	26.60	25.30	27.30	25.80	26.60

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO TIPO ESTRELLA			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.50	1.12	16.58	1.18	0.08	0.13
30	19.20	0.78	19.62	0.91	0.42	0.56
60	20.56	1.06	21.64	0.96	1.08	0.96
90	21.92	0.63	22.86	1.09	0.94	1.23
120	22.74	0.66	23.68	1.33	0.94	1.41
150	23.04	0.46	24.22	1.15	1.18	1.27
180	23.38	0.41	24.54	1.13	1.16	1.28
210	23.64	0.40	24.84	1.01	1.20	1.26
240	23.88	0.43	25.10	0.88	1.22	1.19
270	24.22	0.63	25.48	0.67	1.26	1.16
300	24.52	0.82	25.86	0.57	1.34	1.25
330	24.76	1.00	26.36	0.44	1.60	1.09
360	25.24	1.17	26.84	0.43	1.60	1.03

ANEXO VIII: Resultados de temperatura de la propuesta B, nanopartículas de oro tipo estrella depositadas en aluminio anodizado, a condiciones ambientales.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = \text{CONDICIONES AMBIENTALES}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	22/09/2020	22/09/2020	28/09/2020	28/09/2020	30/09/2020	30/09/2020	01/10/2020	01/10/2020	02/10/2020	02/10/2020
0	18.30	19.00	17.80	18.00	18.10	19.00	18.20	18.20	18.80	18.80
30	22.10	26.20	18.50	48.60	25.30	46.20	27.50	47.90	19.90	45.30
60	35.40	43.60	18.90	57.20	30.40	50.60	34.10	52.40	25.30	52.90
90	40.50	49.10	27.10	46.60	29.10	50.70	35.50	49.60	31.60	50.60
120	37.70	45.50	31.90	57.50	30.90	51.50	35.40	54.10	30.30	52.70
150	38.00	50.90	32.10	65.90	28.70	55.80	34.70	56.40	31.50	58.10
180	40.90	41.40	31.40	48.20	29.50	62.50	34.00	61.90	25.60	63.90
210	38.40	40.20	28.00	41.50	20.20	51.10	34.40	53.40	24.70	57.20
240	33.80	46.70	29.80	46.30	20.90	45.80	33.80	48.30	28.10	52.50
270	26.20	40.80	27.10	47.50	20.40	40.80	34.90	45.90	26.90	49.70
300	25.90	35.10	28.40	43.10	24.60	42.30	34.30	38.10	20.30	48.00
330	22.20	24.90	33.50	50.40	22.70	39.80	33.10	37.40	19.20	45.90
360	20.10	25.30	25.20	53.60	19.10	39.10	30.50	36.00	18.50	43.80

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO TIPO ESTRELLA			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	18.24	0.36	18.60	0.47	0.36	0.42
30	22.66	3.73	42.84	9.39	20.18	9.81
60	28.82	6.79	51.34	4.96	22.52	11.21
90	32.80	5.29	49.32	1.66	16.52	5.20
120	33.24	3.18	52.66	4.40	19.42	6.94
150	33.00	3.52	57.42	5.44	24.42	7.75
180	32.28	5.71	55.58	10.16	23.30	15.02
210	29.26	7.30	48.68	7.49	19.42	12.81
240	29.28	5.31	47.92	2.73	18.64	5.64
270	27.10	5.16	44.94	4.01	17.84	4.87
300	26.70	5.16	41.32	4.94	14.62	9.04
330	26.14	6.67	39.68	9.71	13.54	10.00
360	22.68	5.11	39.56	10.38	16.88	10.95

ANEXO IX: Resultados de temperatura de la propuesta C, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 189 a 254 nm.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	15.50	15.80	17.00	17.10	14.30	14.30	16.00	16.80	16.10	16.30
30	17.00	17.90	18.40	19.20	15.60	16.60	18.10	19.00	17.80	18.90
60	18.10	19.30	19.60	20.90	16.80	18.30	19.20	20.50	19.60	20.70
90	18.80	20.30	20.40	21.90	17.60	19.30	19.80	21.50	19.80	21.70
120	19.20	20.90	21.00	22.60	18.20	19.90	20.20	22.00	20.40	22.30
150	19.60	21.30	21.40	23.00	18.60	20.40	20.50	22.30	20.90	22.80
180	20.10	21.90	21.70	23.30	19.00	20.80	20.70	22.60	21.30	23.20
210	20.30	22.10	22.00	23.60	19.30	21.10	20.90	22.90	21.70	23.70
240	20.50	22.30	22.20	23.90	19.80	21.60	21.20	23.20	22.10	24.10
270	20.60	22.30	22.40	24.20	20.10	21.90	21.40	23.40	22.50	24.60
300	20.70	22.40	22.60	24.50	20.50	22.40	21.70	23.80	23.60	25.10
330	20.80	22.50	22.80	24.60	20.90	22.90	21.90	23.90	23.80	25.60
360	20.90	22.70	22.90	24.80	21.40	23.30	22.10	24.20	24.10	26.20

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	15.90	1.06	16.10	1.10	0.20	0.10
30	17.40	1.12	18.30	1.08	0.90	0.10
60	18.70	1.21	19.90	1.11	1.30	0.10
90	19.30	1.10	20.90	1.11	1.70	0.20
120	19.80	1.10	21.50	1.12	1.70	0.10
150	20.20	1.11	22.00	1.09	1.80	0.10
180	20.60	1.06	22.40	1.04	1.80	0.10
210	20.80	1.09	22.70	1.09	1.80	0.20
240	21.20	1.03	23.00	1.06	1.90	0.10
270	21.40	1.07	23.30	1.17	1.90	0.20
300	21.80	1.30	23.60	1.22	1.80	0.20
330	22.00	1.28	23.90	1.26	1.90	0.10
360	22.30	1.27	24.20	1.36	2.00	0.10

ANEXO X: Resultados de temperatura de la propuesta C, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 420 a 800 nm.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	16.80	16.90	17.30	17.50	15.50	15.60	15.50	15.60	15.80	15.60
30	18.30	19.10	19.10	20.10	17.30	18.30	17.30	18.30	17.30	18.00
60	19.50	20.90	20.50	22.00	18.50	19.90	18.50	19.90	18.50	19.70
90	20.50	22.30	21.40	23.30	19.50	21.30	19.40	21.00	19.50	21.00
120	21.10	23.10	21.90	23.90	19.90	21.80	20.00	21.80	19.90	21.70
150	21.60	23.70	22.20	24.30	20.40	22.30	20.50	22.30	20.30	22.10
180	22.10	24.10	22.40	24.50	20.70	22.70	20.80	22.60	20.60	22.40
210	22.50	24.60	22.60	24.80	20.90	22.90	21.10	22.90	20.80	22.60
240	22.80	25.00	22.90	25.00	21.20	23.10	21.40	23.20	21.00	22.80
270	23.20	25.40	23.30	25.30	21.50	23.40	21.70	23.50	21.30	23.00
300	23.60	25.80	23.60	25.60	21.80	23.60	22.00	23.80	21.50	23.30
330	24.00	26.10	24.00	26.00	22.10	23.90	22.40	24.00	21.80	23.50
360	24.50	26.50	24.30	26.30	22.30	24.10	22.80	24.50	22.00	23.70

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.18	0.82	16.24	0.90	0.06	0.15
30	17.86	0.82	18.76	0.85	0.90	0.14
60	19.10	0.89	20.48	0.97	1.38	0.11
90	20.06	0.87	21.78	1.00	1.72	0.16
120	20.56	0.90	22.46	0.99	1.90	0.10
150	21.00	0.85	22.94	0.99	1.94	0.15
180	21.32	0.86	23.26	0.97	1.94	0.13
210	21.58	0.89	23.56	1.05	1.98	0.18
240	21.86	0.92	23.82	1.09	1.96	0.18
270	22.20	0.97	24.12	1.14	1.92	0.19
300	22.50	1.02	24.42	1.18	1.92	0.18
330	22.86	1.06	24.70	1.25	1.84	0.21
360	23.18	1.15	25.02	1.29	1.84	0.15

ANEXO XI: Resultados de temperatura de la propuesta C, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 660 a 850 nm.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	12.90	13.00	13.00	13.60	13.60	13.60	12.90	12.90	13.60	13.60
30	15.90	16.40	15.50	15.80	15.80	16.00	15.70	15.90	15.60	15.60
60	16.40	17.30	17.70	17.20	17.30	17.30	17.20	17.20	16.40	17.10
90	17.60	18.60	17.80	18.80	17.10	18.80	17.80	18.60	18.00	18.50
120	18.00	19.10	18.90	19.50	18.30	19.80	18.90	19.60	19.00	19.30
150	18.50	19.60	18.30	20.20	19.10	20.50	19.70	20.30	19.80	20.00
180	18.80	20.00	19.10	20.90	19.70	21.00	20.20	20.80	20.50	20.60
210	19.20	20.50	19.60	21.50	20.20	21.60	20.80	21.30	21.00	21.10
240	19.60	20.90	20.00	21.90	20.60	21.90	21.30	21.80	21.30	21.60
270	20.00	21.30	20.10	22.20	21.10	22.50	21.50	22.40	21.70	22.80
300	20.50	21.80	21.30	22.40	21.40	22.90	21.80	22.90	21.90	23.00
330	21.00	22.30	21.80	22.70	21.70	23.80	22.20	23.40	22.10	23.20
360	21.60	22.80	22.30	23.30	22.30	24.50	22.50	23.80	22.50	23.50

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiefericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	13.32	0.38	13.34	0.36	0.02	0.04
30	15.70	0.16	15.94	0.30	0.24	0.18
60	17.00	0.58	17.22	0.08	0.22	0.57
90	17.66	0.34	18.66	0.13	1.00	0.44
120	18.62	0.44	19.46	0.27	0.84	0.47
150	19.08	0.68	20.12	0.34	1.04	0.67
180	19.66	0.72	20.66	0.40	1.00	0.66
210	20.16	0.77	21.20	0.44	1.04	0.73
240	20.56	0.76	21.62	0.42	1.06	0.65
270	20.88	0.79	22.24	0.57	1.36	0.46
300	21.38	0.55	22.60	0.50	1.22	0.18
330	21.76	0.47	23.08	0.59	1.32	0.46
360	22.24	0.37	23.58	0.63	1.34	0.50

ANEXO XII: Resultados de temperatura de la propuesta C, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, en condiciones ambientales.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = \text{CONDICIONES AMBIENTALES}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	18.70	18.70	18.00	18.00	15.30	15.30	15.50	15.60	16.50	16.80
30	35.10	37.10	35.00	37.00	38.70	38.90	28.40	29.40	34.60	35.90
60	37.20	39.10	43.60	45.50	45.70	47.20	40.10	42.00	41.70	46.10
90	38.90	41.30	45.20	46.60	47.20	48.90	43.40	45.70	45.50	49.70
120	36.60	37.70	44.80	46.10	45.40	48.50	46.40	47.70	45.00	48.30
150	37.10	38.00	42.90	46.20	43.50	47.10	44.30	45.30	44.50	47.10
180	36.70	36.80	43.80	45.90	43.30	46.70	43.10	43.40	46.50	47.30
210	37.90	38.30	42.00	43.90	39.30	41.90	41.30	41.50	47.20	47.80
240	37.30	38.50	43.60	45.70	43.90	46.30	44.30	44.90	47.30	47.90
270	37.50	37.70	42.90	44.70	45.30	48.90	39.30	43.40	40.50	40.90
300	39.80	40.50	41.10	39.80	43.50	47.70	42.80	44.10	34.70	34.60
330	41.90	43.10	31.60	30.10	28.90	35.50	45.30	45.30	25.60	26.10
360	42.70	43.20	31.00	30.00	30.50	37.50	37.10	38.50	29.30	29.30

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiefericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.80	1.51	16.88	1.48	0.08	0.13
30	34.36	3.72	35.66	3.66	1.30	0.75
60	41.66	3.26	43.98	3.35	2.32	1.18
90	44.24	2.78	46.44	3.30	2.20	1.18
120	43.64	3.98	45.66	4.55	2.02	1.08
150	42.46	3.06	44.74	3.84	2.28	1.27
180	42.68	3.61	44.02	4.30	1.34	1.39
210	41.54	3.56	42.68	3.50	1.14	1.05
240	43.28	3.66	44.66	3.61	1.38	0.84
270	41.10	3.06	43.12	4.19	2.02	1.79
300	40.38	3.49	41.34	4.91	0.96	2.06
330	34.66	8.52	36.14	8.39	1.48	3.04
360	34.12	5.67	35.70	5.93	1.58	3.15

ANEXO XIII: Resultados de temperatura de la propuesta D, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 189 a 254 nm.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	15.50	15.80	17.00	16.90	14.30	14.30	16.00	16.00	16.10	16.80
30	17.00	17.30	18.40	18.60	15.60	16.00	18.10	18.30	17.80	18.30
60	18.10	18.50	19.60	20.00	16.80	17.60	19.20	19.50	19.60	19.50
90	18.80	19.30	20.40	20.90	17.60	18.30	19.80	20.30	19.80	20.50
120	19.20	19.70	21.00	21.40	18.20	18.80	20.20	20.70	20.40	21.10
150	19.60	20.10	21.40	21.80	18.60	19.20	20.50	20.90	20.90	21.60
180	20.10	20.50	21.70	22.20	19.00	19.50	20.70	21.20	21.30	22.10
210	20.30	20.80	22.00	22.50	19.30	19.90	20.90	21.50	21.70	22.30
240	20.50	20.90	22.20	22.70	19.80	20.50	21.20	21.80	22.10	22.80
270	20.60	21.00	22.40	22.90	20.10	20.80	21.40	22.00	22.50	23.20
300	20.70	21.10	22.60	23.10	20.50	21.30	21.70	22.30	23.60	23.60
330	20.80	21.20	22.80	23.30	20.90	21.80	21.90	22.50	23.80	24.00
360	20.90	21.30	22.90	23.50	21.40	22.10	22.10	22.70	24.10	24.50

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	15.90	1.06	16.08	1.08	0.18	0.33
30	17.38	1.12	17.70	1.07	0.32	0.13
60	18.66	1.21	19.02	0.96	0.36	0.32
90	19.28	1.10	19.86	1.05	0.58	0.11
120	19.80	1.10	20.34	1.07	0.54	0.11
150	20.20	1.11	20.72	1.08	0.52	0.13
180	20.56	1.06	21.10	1.13	0.54	0.15
210	20.84	1.09	21.40	1.08	0.56	0.05
240	21.16	1.03	21.74	1.04	0.58	0.13
270	21.40	1.07	21.98	1.08	0.58	0.13
300	21.82	1.30	22.28	1.09	0.46	0.30
330	22.04	1.28	22.56	1.12	0.52	0.26
360	22.28	1.27	22.82	1.24	0.54	0.13

ANEXO XIV: Resultados de temperatura de la propuesta D, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 420 a 800 nm.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
0	16.80	16.90	17.30	17.30	15.50	15.60	15.50	15.50	15.80	15.70
30	18.30	19.00	19.10	19.80	17.30	18.00	17.30	17.90	17.30	17.80
60	19.50	20.60	20.50	21.50	18.50	19.50	18.50	19.50	18.50	19.30
90	20.50	21.60	21.40	22.30	19.50	20.60	19.40	20.50	19.50	20.30
120	21.10	22.30	21.90	22.80	19.90	21.10	20.00	21.00	19.90	20.80
150	21.60	22.60	22.20	23.10	20.40	21.40	20.50	21.30	20.30	21.10
180	22.10	23.00	22.40	23.30	20.70	21.70	20.80	21.60	20.60	21.30
210	22.50	23.30	22.60	23.50	20.90	21.90	21.10	21.90	20.80	21.50
240	22.80	23.60	22.90	23.70	21.20	22.30	21.40	22.20	21.00	21.70
270	23.20	24.00	23.30	24.10	21.50	22.60	21.70	22.50	21.30	21.90
300	23.60	24.40	23.60	24.40	21.80	22.90	22.00	22.80	21.50	22.10
330	24.00	24.80	24.00	24.80	22.10	23.20	22.40	23.20	21.80	22.30
360	24.50	25.30	24.30	25.20	22.30	23.40	22.80	23.70	22.00	23.00

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.18	0.82	16.20	0.84	0.02	0.08
30	17.86	0.82	18.50	0.87	0.64	0.09
60	19.10	0.89	20.08	0.94	0.98	0.11
90	20.06	0.87	21.06	0.86	1.00	0.14
120	20.56	0.90	21.60	0.89	1.04	0.15
150	21.00	0.85	21.90	0.89	0.90	0.10
180	21.32	0.86	22.18	0.90	0.86	0.11
210	21.58	0.89	22.42	0.91	0.84	0.11
240	21.86	0.92	22.70	0.90	0.84	0.15
270	22.20	0.97	23.02	0.98	0.82	0.18
300	22.50	1.02	23.32	1.03	0.82	0.18
330	22.86	1.06	23.66	1.10	0.80	0.21
360	23.18	1.15	24.12	1.06	0.94	0.11

ANEXO XV: Resultados de temperatura de la propuesta D, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 660 a 850 nm.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	11/10/2021	11/10/2021	19/10/2021	19/10/2021	27/10/2021	27/10/2021	30/10/2021	30/10/2021	31/10/2021	31/10/2021
0	12.90	13.00	13.00	13.60	13.60	13.60	12.90	12.90	13.60	13.60
30	15.90	16.00	15.50	16.10	15.80	16.00	15.70	15.90	15.60	15.60
60	16.40	17.10	17.70	17.90	17.30	17.60	17.20	17.20	16.40	17.10
90	17.60	18.20	17.80	18.40	17.10	18.30	17.80	18.60	18.00	18.50
120	18.00	19.70	18.90	19.80	18.30	18.90	18.90	19.60	19.00	19.30
150	18.50	20.10	18.30	20.00	19.10	20.10	19.70	20.30	19.80	20.00
180	18.80	20.20	19.10	20.40	19.70	20.70	20.20	20.80	20.50	20.60
210	19.20	20.70	19.60	20.80	20.20	21.30	20.80	21.30	21.00	21.10
240	19.60	20.90	20.00	21.30	20.60	21.80	21.30	21.80	21.30	21.60
270	20.00	21.30	20.10	21.50	21.10	22.20	21.50	22.40	21.70	22.80
300	20.50	21.80	21.30	21.90	21.40	22.70	21.80	22.90	21.90	23.00
330	21.00	22.00	21.80	22.40	21.70	23.50	22.20	23.40	22.10	23.20
360	21.60	22.40	22.30	22.90	22.30	24.00	22.50	23.80	22.50	23.50

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
	0	13.32	0.38	13.34	0.36	0.02
30	15.70	0.16	15.92	0.19	0.22	0.23
60	17.00	0.58	17.38	0.36	0.38	0.31
90	17.66	0.34	18.40	0.16	0.74	0.28
120	18.62	0.44	19.46	0.36	0.84	0.53
150	19.08	0.68	20.10	0.12	1.02	0.64
180	19.66	0.72	20.54	0.24	0.88	0.54
210	20.16	0.77	21.04	0.28	0.88	0.57
240	20.56	0.76	21.48	0.38	0.92	0.48
270	20.88	0.79	22.04	0.63	1.16	0.19
300	21.38	0.55	22.46	0.57	1.08	0.29
330	21.76	0.47	22.90	0.66	1.14	0.43
360	22.24	0.37	23.32	0.66	1.08	0.43

ANEXO XVI: Resultados de temperatura de la propuesta D, nanopartículas de oro cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, en condiciones ambientales.

TIEMPO [min]	Temperatura (°C) $\lambda = \text{CONDICIONES AMBIENTALES}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	12/10/2021	12/10/2021	13/10/2021	13/10/2021	03/11/2021	03/11/2021	10/11/2021	10/11/2021	11/11/2021	11/11/2021
0	18.70	18.70	18.00	18.00	15.30	15.60	15.50	15.70	16.50	16.50
30	35.10	36.80	35.00	36.30	38.70	39.10	28.40	28.90	34.60	35.30
60	37.20	38.80	43.60	44.60	45.70	46.30	40.10	41.90	41.70	43.30
90	39.90	40.70	45.20	45.80	47.20	47.50	43.40	45.50	45.50	47.90
120	36.60	36.80	44.80	45.00	45.40	45.70	46.40	46.70	45.00	45.90
150	37.10	37.30	42.90	44.50	43.50	44.80	44.30	45.30	44.50	47.60
180	36.70	37.00	43.80	44.70	43.30	45.90	43.10	43.90	46.50	49.70
210	37.90	38.40	42.00	42.90	39.30	42.60	41.30	42.50	47.20	49.10
240	37.30	38.00	43.60	44.60	43.90	44.60	44.30	44.70	47.30	48.30
270	37.50	37.90	42.90	43.80	45.30	46.70	39.30	44.50	40.50	42.10
300	39.80	39.90	41.10	41.90	43.50	45.70	42.80	43.50	34.70	35.60
330	41.90	42.90	31.60	31.90	28.90	32.30	45.30	46.10	25.60	26.30
360	42.70	42.90	31.00	31.50	30.50	34.30	37.10	37.50	29.30	30.10

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's ORO Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
	0	16.80	1.51	16.90	1.39	0.10
30	34.36	3.72	35.28	3.83	0.92	0.56
60	41.66	3.26	42.98	2.85	1.32	0.50
90	44.24	2.78	45.48	2.87	1.24	0.94
120	43.64	3.98	44.02	4.08	0.38	0.29
150	42.46	3.06	43.90	3.89	1.44	1.06
180	42.68	3.61	44.24	4.62	1.56	1.26
210	41.54	3.56	43.10	3.83	1.56	1.10
240	43.28	3.66	44.04	3.73	0.76	0.25
270	41.10	3.06	43.00	3.29	1.90	1.90
300	40.38	3.49	41.32	3.84	0.94	0.77
330	34.66	8.52	35.90	8.28	1.24	1.23
360	34.12	5.67	35.26	5.13	1.14	1.50

ANEXO XVII: Resultados de temperatura de la propuesta E, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 189 a 254 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	29/07/2021	29/07/2021	03/08/2021	03/08/2021	04/08/2021	04/08/2021	05/08/2021	05/08/2021	06/08/2021	06/08/2021
0	18.30	18.50	17.30	17.50	14.90	14.90	16.20	16.40	17.30	17.50
30	18.30	20.30	18.10	19.50	16.40	16.40	17.70	18.40	18.10	19.50
60	20.70	22.20	19.70	21.10	17.60	17.60	18.80	19.80	19.80	20.90
90	21.70	23.50	20.30	22.10	18.50	18.90	19.50	20.90	20.40	21.80
120	22.50	24.30	20.70	22.50	18.00	19.40	19.90	21.50	20.60	22.10
150	23.10	25.00	21.00	22.90	19.30	19.50	20.30	21.90	20.90	22.40
180	23.70	25.60	21.30	23.10	19.60	20.00	20.50	22.20	21.00	22.60
210	24.40	26.30	21.60	23.50	19.90	20.30	20.80	22.50	21.30	22.80
240	25.00	26.90	21.80	23.80	20.20	20.60	21.10	22.80	21.40	22.90
270	25.50	27.50	22.30	24.10	20.50	20.90	21.40	23.10	21.60	23.20
300	25.90	27.90	22.60	24.50	20.80	21.30	21.70	23.50	21.90	23.50
330	26.40	28.40	23.60	24.90	21.30	21.80	22.00	23.80	22.10	23.80
360	26.80	28.80	23.40	25.30	21.60	22.10	22.30	24.20	22.50	24.20

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.80	1.30	16.96	1.37	0.16	0.09
30	17.92	1.04	18.82	1.51	0.90	0.58
60	19.32	1.17	20.38	1.63	1.06	0.47
90	20.08	1.18	21.44	1.70	1.36	0.57
120	20.54	1.29	21.96	1.77	1.42	0.58
150	20.92	1.39	22.34	1.98	1.42	0.70
180	21.22	1.53	22.70	2.01	1.48	0.61
210	21.60	1.69	23.08	2.16	1.48	0.63
240	21.90	1.83	23.40	2.28	1.50	0.64
270	22.26	1.92	23.76	2.40	1.50	0.63
300	22.58	1.96	24.14	2.41	1.56	0.61
330	23.08	2.04	24.54	2.43	1.46	0.59
360	23.32	2.05	24.92	2.46	1.60	0.62

ANEXO XVIII: Resultados de temperatura de la propuesta E, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 420 a 800 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	14/07/2021	14/07/2021	19/07/2021	19/07/2021	23/07/2021	23/07/2021	26/07/2021	26/07/2021	28/07/2021	28/07/2021
0	17.70	17.70	16.80	16.80	15.40	15.10	15.80	15.80	17.40	17.60
30	18.80	20.50	18.30	19.10	16.80	17.20	17.20	17.90	18.90	19.90
60	21.20	22.60	19.90	21.50	18.70	20.10	18.80	20.40	20.80	22.40
90	22.40	24.70	20.80	22.60	19.70	21.50	19.80	21.80	21.70	23.60
120	23.50	25.40	21.50	23.50	20.50	22.60	20.30	22.50	22.50	24.50
150	24.30	26.30	21.90	24.00	21.10	23.10	21.00	23.10	23.00	25.00
180	25.10	27.10	22.20	24.40	23.80	24.10	21.40	23.60	23.50	25.40
210	25.80	27.90	22.60	24.80	22.40	24.70	21.90	24.10	23.80	25.80
240	26.50	28.50	22.90	25.10	22.90	25.20	22.30	24.60	24.20	26.20
270	27.00	29.10	23.40	25.50	23.50	25.80	23.00	25.10	24.60	26.50
300	27.40	29.60	23.70	25.90	24.20	26.50	23.50	25.60	24.90	26.80
330	27.80	30.00	24.10	26.30	24.70	27.00	24.20	26.30	25.20	27.10
360	28.20	30.40	24.50	26.70	25.10	27.50	24.80	26.90	25.40	27.90

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.62	1.00	16.60	1.13	-0.02	0.18
30	18.20	1.23	18.92	1.37	0.72	0.22
60	19.88	1.13	21.40	1.13	1.52	0.11
90	20.88	1.18	22.84	1.32	1.96	0.21
120	21.66	1.35	23.70	1.25	2.04	0.11
150	22.26	1.39	24.34	1.32	2.08	0.08
180	22.80	1.51	24.92	1.38	2.12	0.16
210	23.30	1.56	25.46	1.49	2.16	0.11
240	23.76	1.68	25.92	1.55	2.16	0.15
270	24.30	1.62	26.40	1.59	2.10	0.14
300	24.74	1.58	26.88	1.59	2.14	0.15
330	25.20	1.52	27.34	1.53	2.14	0.15
360	25.60	1.49	27.88	1.49	2.28	0.16

ANEXO XIX: Resultados de temperatura de la propuesta E, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 660 a 850 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	10/08/2021	10/08/2021	11/08/2021	11/08/2021	30/08/2021	30/08/2021	31/08/2021	31/08/2021	01/09/2021	01/09/2021
0	14.50	14.50	15.40	15.50	16.20	16.20	16.00	16.10	16.00	16.20
30	16.90	16.90	16.50	17.10	17.10	17.80	16.90	17.80	17.70	17.90
60	18.30	18.80	17.50	18.00	18.90	18.90	18.60	19.60	19.00	19.90
90	19.10	19.90	18.10	19.50	20.20	20.90	19.00	20.80	19.90	21.50
120	19.80	20.80	19.00	20.20	20.90	21.80	19.80	21.60	20.70	22.30
150	20.00	21.10	19.90	20.80	21.40	22.50	21.00	22.50	21.60	23.10
180	20.30	21.30	20.30	21.30	21.80	23.20	21.60	23.10	22.10	23.80
210	20.50	21.50	20.90	21.70	22.30	23.60	22.00	23.60	22.70	24.30
240	20.60	21.80	21.20	22.20	22.90	24.00	22.50	24.10	23.10	24.90
270	20.90	21.90	22.00	22.80	23.10	24.50	22.90	24.60	23.60	25.10
300	21.10	22.10	22.70	23.30	23.80	25.10	23.60	24.90	23.90	25.40
330	21.30	22.40	23.00	23.90	24.40	25.70	24.00	25.30	24.30	25.60
360	21.00	22.80	23.50	24.60	25.00	26.10	24.60	25.60	24.80	25.70

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
	0	15.62	0.69	15.70	0.73	0.08
30	17.02	0.44	17.50	0.46	0.48	0.37
60	18.46	0.60	19.24	0.83	0.78	0.26
90	19.26	0.83	20.52	0.81	1.26	0.49
120	20.04	0.77	21.34	0.84	1.30	0.39
150	20.78	0.79	22.00	0.99	1.22	0.27
180	21.22	0.86	22.54	1.16	1.32	0.31
210	21.68	0.94	22.94	1.26	1.26	0.36
240	22.06	1.10	23.40	1.33	1.34	0.34
270	22.50	1.07	23.78	1.36	1.28	0.37
300	23.02	1.17	24.16	1.41	1.14	0.35
330	23.40	1.30	24.58	1.42	1.18	0.18
360	23.78	1.66	24.96	1.33	1.18	0.36

ANEXO XX: Resultados de temperatura de la propuesta E, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 1.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, en condiciones ambientales.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = \text{CONDICIONES AMBIENTALES}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	14/11/2021	14/11/2021	17/11/2021	17/11/2021	18/11/2021	18/11/2021	19/11/2021	19/11/2021	23/11/2021	23/11/2021
0	15.00	15.00	14.00	13.60	14.80	14.90	13.30	13.30	14.80	14.80
30	34.90	36.80	35.30	38.00	38.00	34.10	25.60	27.70	30.00	32.60
60	41.90	45.40	42.90	46.50	38.20	33.80	22.20	28.60	41.00	45.90
90	40.00	42.70	42.50	45.50	37.30	41.00	23.70	24.90	44.10	48.30
120	39.50	40.70	40.40	41.80	40.00	42.10	30.10	31.60	42.70	44.80
150	38.00	39.30	41.10	43.00	39.50	40.60	38.00	39.40	41.90	41.90
180	32.00	32.70	38.20	39.60	34.40	34.90	40.10	41.50	38.50	37.90
210	32.60	33.60	34.40	35.90	33.50	34.00	38.60	39.00	26.90	27.40
240	30.80	32.70	37.00	39.10	29.10	30.40	37.20	37.40	22.50	23.70
270	31.60	32.90	38.30	39.80	31.10	32.10	26.00	27.40	25.80	26.80
300	30.80	32.50	40.20	41.20	29.80	31.50	31.80	32.90	30.20	31.40
330	32.50	34.20	38.50	39.70	27.30	29.20	30.00	31.50	28.80	29.80
360	31.00	33.50	23.30	24.30	22.90	23.70	28.50	30.00	27.00	28.40

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
	0	14.38	0.72	14.32	0.80	-0.06
30	31.26	3.99	33.84	4.04	2.58	0.66
60	35.64	9.09	40.04	8.29	4.40	1.26
90	37.56	8.18	40.48	9.14	2.92	1.09
120	38.58	4.79	40.24	5.06	1.66	0.50
150	39.74	1.82	40.84	1.60	1.10	0.65
180	36.36	2.97	37.32	3.54	0.96	0.62
210	33.20	4.21	33.98	4.25	0.78	0.47
240	31.44	6.26	32.70	6.16	1.26	0.66
270	30.56	5.12	31.84	5.24	1.28	0.19
300	32.56	4.34	33.90	4.13	1.34	0.34
330	31.42	4.39	32.88	4.28	1.46	0.36
360	26.54	3.45	27.98	4.08	1.44	0.66

ANEXO XXI: Resultados de temperatura de la propuesta F, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 189 a 254 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 189 - 254 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	29/07/2021	29/07/2021	03/08/2021	03/08/2021	04/08/2021	04/08/2021	05/08/2021	05/08/2021	06/08/2021	06/08/2021
0	18.30	18.30	17.30	17.10	14.90	15.10	16.20	16.10	17.30	17.30
30	18.30	19.30	18.10	18.60	16.40	17.30	17.70	17.80	18.10	19.00
60	20.70	21.00	19.70	20.00	17.60	18.90	18.80	18.90	19.80	20.30
90	21.70	22.20	20.30	20.80	18.50	19.90	19.50	19.90	20.40	20.90
120	22.50	22.90	20.70	21.10	18.00	20.50	19.90	20.10	20.60	21.10
150	21.10	21.60	21.00	21.50	19.30	20.80	20.10	20.60	20.90	21.40
180	23.70	24.30	21.30	21.60	19.60	21.10	20.50	20.80	21.00	21.60
210	24.40	24.90	21.60	21.90	19.90	21.50	20.80	21.20	21.30	21.70
240	25.00	25.60	21.80	22.30	20.20	21.90	21.10	21.50	21.40	21.80
270	25.50	26.10	22.30	22.80	20.50	22.30	21.40	21.70	21.60	22.10
300	25.90	26.60	22.60	23.10	20.80	22.60	21.70	21.90	21.90	22.50
330	26.40	27.00	23.60	23.60	21.30	23.10	22.00	22.50	22.10	22.70
360	26.80	27.40	23.40	23.90	21.60	23.40	22.30	22.80	22.50	23.10

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.80	1.30	16.78	1.22	-0.02	0.15
30	17.92	1.04	18.40	0.83	0.48	0.43
60	19.32	1.17	19.82	0.91	0.50	0.47
90	20.08	1.18	20.74	0.94	0.66	0.42
120	20.54	1.29	21.18	1.03	0.64	0.48
150	20.92	1.39	21.58	1.19	0.66	0.48
180	21.22	1.53	21.88	1.40	0.66	0.49
210	21.60	1.69	22.24	1.51	0.64	0.54
240	21.90	1.83	22.62	1.69	0.72	0.55
270	22.26	1.92	23.00	1.78	0.74	0.60
300	22.58	1.96	23.34	1.87	0.76	0.61
330	23.08	2.04	23.78	1.85	0.70	0.66
360	23.32	2.05	24.12	1.88	0.80	0.56

ANEXO XXII: Resultados de temperatura de la propuesta F, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 420 a 800 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 420 - 800 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	14/07/2021	14/07/2021	19/07/2021	19/07/2021	23/07/2021	23/07/2021	26/07/2021	26/07/2021	28/07/2021	28/07/2021
0	17.70	17.60	16.80	16.80	15.40	15.20	15.80	15.80	17.40	17.50
30	18.80	20.10	18.30	18.90	16.80	17.20	17.20	17.50	18.90	19.50
60	21.20	22.30	19.90	21.30	18.70	19.40	18.80	20.00	20.80	22.00
90	22.40	23.70	20.80	22.30	19.70	21.10	19.80	21.30	21.70	23.10
120	23.50	24.90	21.50	23.00	20.50	22.00	20.10	21.80	22.50	23.90
150	24.30	25.80	21.90	23.40	21.10	22.60	21.00	22.30	23.00	24.40
180	25.10	26.50	22.20	23.70	21.80	23.30	21.40	22.80	23.50	24.80
210	25.80	27.20	22.60	24.10	22.40	23.80	21.90	23.10	23.80	25.10
240	26.50	27.80	22.90	24.50	22.90	24.40	22.30	23.60	24.20	25.50
270	27.00	28.30	23.40	24.80	23.50	25.00	23.00	24.30	24.60	25.80
300	27.40	28.60	23.70	25.10	24.20	25.60	23.50	24.90	24.90	26.10
330	27.80	29.00	24.10	25.50	24.70	26.20	24.20	25.60	25.20	26.40
360	28.20	29.40	24.50	25.90	25.10	26.60	24.80	26.10	25.40	26.60

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	16.62	1.00	16.58	1.05	-0.04	0.11
30	18.20	1.23	18.64	1.26	0.44	0.15
60	19.88	1.13	21.10	1.11	1.22	0.11
90	20.88	1.18	22.30	1.12	1.42	0.08
120	21.66	1.35	23.12	1.30	1.46	0.05
150	22.26	1.39	23.70	1.43	1.44	0.09
180	22.80	1.51	24.22	1.47	1.42	0.08
210	23.30	1.56	24.66	1.59	1.44	0.18
240	23.76	1.68	25.16	1.62	1.46	0.15
270	24.30	1.62	25.64	1.58	1.40	0.10
300	24.74	1.58	26.06	1.49	1.38	0.11
330	25.20	1.52	26.54	1.43	1.38	0.11
360	25.60	1.49	26.92	1.42	1.32	0.13

ANEXO XXIII: Resultados de temperatura de la propuesta F, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, irradiado con una longitud de onda de 660 a 850 nm.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = 660 - 850 \text{ nm}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	10/08/2021	10/08/2021	11/08/2021	11/08/2021	30/08/2021	30/08/2021	31/08/2021	31/08/2021	01/09/2021	01/09/2021
0	14.50	14.50	15.40	15.50	16.20	16.30	16.00	16.00	16.00	16.10
30	16.90	17.20	16.50	16.90	17.10	17.40	16.90	17.40	17.70	17.60
60	18.30	18.60	17.50	17.90	18.90	18.90	18.60	19.00	19.00	19.60
90	19.10	19.40	18.10	19.10	20.20	20.50	19.00	20.50	19.90	21.20
120	19.80	20.10	19.00	19.60	20.90	21.70	19.80	21.10	20.70	22.00
150	20.00	20.30	19.90	20.10	21.40	21.90	21.00	21.90	21.60	22.70
180	20.30	20.50	20.30	20.50	21.80	22.50	21.60	22.50	22.10	23.20
210	20.50	20.60	20.90	20.90	22.30	22.90	22.00	22.80	22.70	23.00
240	20.60	20.80	21.20	21.40	22.90	23.30	22.50	23.20	23.10	23.90
270	20.90	21.10	22.00	22.30	23.10	23.80	22.90	23.60	23.60	23.90
300	21.10	21.20	22.70	22.90	23.80	24.30	23.60	23.90	23.90	24.20
330	21.30	21.60	23.00	23.20	24.40	24.80	24.00	24.20	24.30	24.60
360	21.00	22.00	23.50	23.80	25.00	25.20	24.60	24.70	24.80	25.00

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	15.62	0.69	15.68	0.72	0.06	0.05
30	17.02	0.44	17.30	0.26	0.28	0.23
60	18.46	0.60	18.80	0.62	0.34	0.22
90	19.26	0.83	20.14	0.87	0.88	0.56
120	20.04	0.77	20.94	1.04	0.90	0.49
150	20.78	0.79	21.38	1.13	0.60	0.39
180	21.22	0.86	21.84	1.26	0.62	0.41
210	21.68	0.94	22.16	1.33	0.48	0.41
240	22.06	1.10	22.52	1.34	0.46	0.28
270	22.50	1.07	22.94	1.21	0.44	0.24
300	23.02	1.17	23.30	1.30	0.28	0.15
330	23.40	1.30	23.68	1.32	0.28	0.08
360	23.78	1.66	24.14	1.31	0.36	0.36

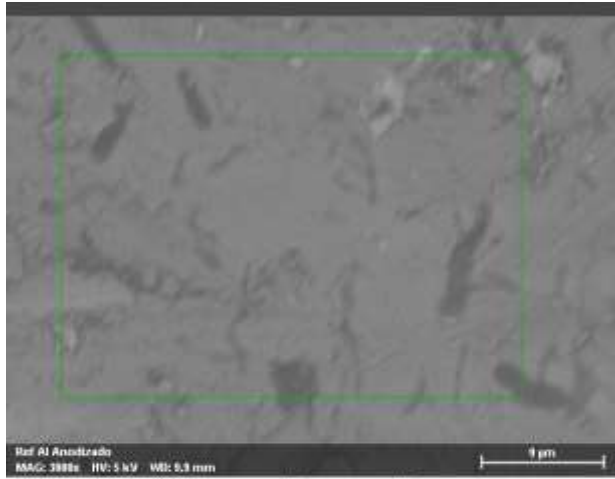
ANEXO XXIX: Resultados de temperatura de la propuesta F, nanopartículas de plata cuasiesfericas (se utilizó 3.0 ml) depositadas en aluminio anodizado, en condiciones ambientales.

TIEMPO (min)	Temperatura (°C) $\lambda = \text{CONDICIONES AMBIENTALES}$									
	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA	REFERENCIA	MUESTRA
	14/11/2021	14/11/2021	17/11/2021	17/11/2021	18/11/2021	18/11/2021	19/11/2021	19/11/2021	23/11/2021	23/11/2021
0	15.00	14.90	14.00	13.80	14.80	14.80	13.30	13.30	14.80	14.80
30	34.90	36.00	35.30	36.90	30.50	31.70	25.60	27.80	30.00	34.00
60	41.90	44.30	42.90	44.90	30.20	32.50	22.20	28.10	41.00	44.90
90	40.00	40.80	42.50	43.00	37.30	38.40	23.70	24.50	44.30	47.30
120	39.50	39.90	40.40	41.20	40.00	40.30	30.30	31.00	42.70	42.90
150	38.00	38.30	41.30	42.50	39.50	39.90	38.00	38.40	41.90	42.70
180	32.60	33.50	38.20	39.30	34.40	34.70	40.10	40.70	36.50	37.40
210	32.60	33.10	34.40	34.90	33.50	33.80	38.60	38.80	26.90	27.50
240	30.80	31.60	37.60	38.30	29.10	31.00	37.20	37.50	22.50	23.10
270	31.60	32.50	38.30	38.80	31.10	32.00	26.00	27.80	25.80	26.20
300	30.80	31.20	40.20	40.80	29.80	30.90	33.80	32.00	30.20	31.00
330	32.50	33.00	38.50	39.30	27.30	28.50	30.00	30.90	28.80	29.40
360	31.00	32.30	23.30	23.80	22.90	22.30	28.50	29.40	27.00	27.80

TIEMPO (min)	REFERENCIA (Al Anodizado)		NP's PLATA Cuasiesfericas			
	PROMEDIO	Des. Est.	PROMEDIO	Des. Est.	ΔT (°C)	Des. Est.
0	14.38	0.72	14.32	0.73	-0.06	0.09
30	31.26	3.99	33.28	3.66	2.02	1.19
60	35.64	9.09	38.94	8.04	3.30	1.63
90	37.56	8.18	38.80	8.64	1.24	1.01
120	38.58	4.79	39.06	4.65	0.48	0.26
150	39.74	1.82	40.36	2.14	0.62	0.38
180	36.36	2.97	37.12	3.03	0.76	0.31
210	33.20	4.21	33.62	4.07	0.42	0.16
240	31.44	6.26	32.30	6.12	0.86	0.61
270	30.56	5.12	31.46	4.91	0.90	0.55
300	32.56	4.34	33.18	4.28	0.62	0.35
330	31.42	4.39	32.22	4.31	0.80	0.27
360	26.54	3.45	27.12	4.08	0.58	0.72

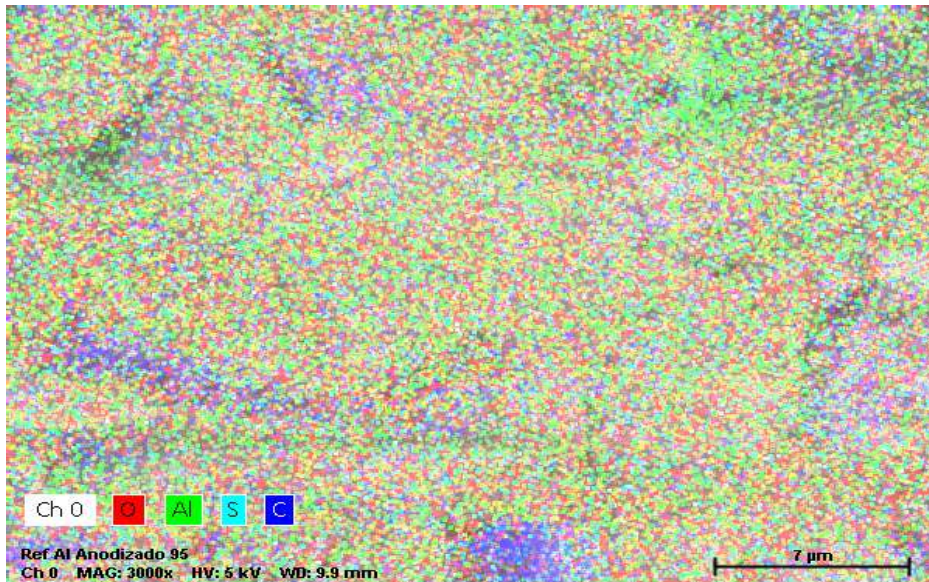
ANEXO XXX: Reporte de análisis EDS y Mapeo Elemental de la Referencia de Aluminio Anodizado.

Application Note
Company / Department



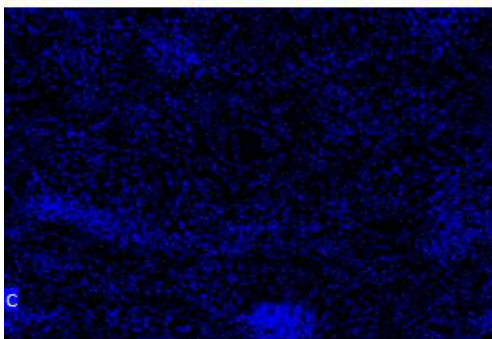
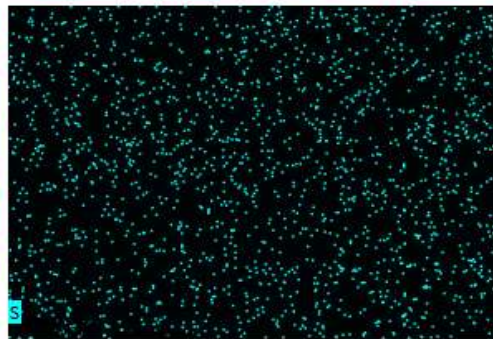
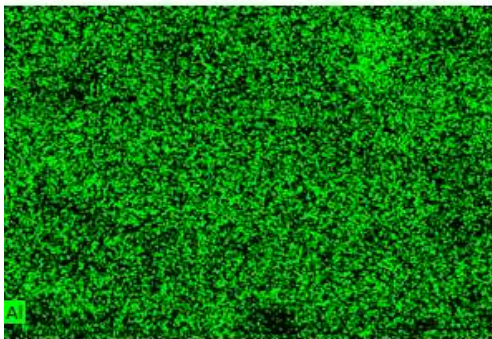
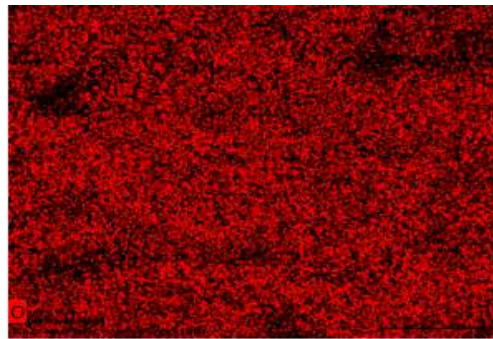
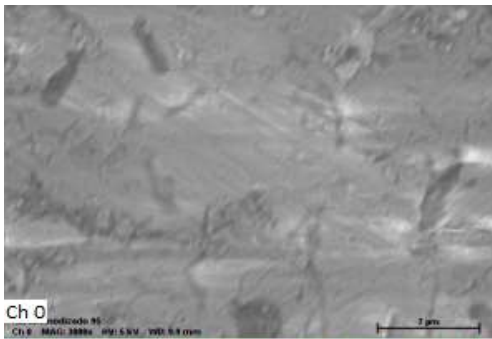
Ref Al Anodizado
MAG: 3000x HV: 5 kV WD: 9.9 mm

Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Ref Al Anodizado	2/3/2022	2:50:02 PM	5.0 keV	3000x	9.9 mm



Ref Al Anodizado 95
Ch 0 MAG: 3000x HV: 5 kV WD: 9.9 mm

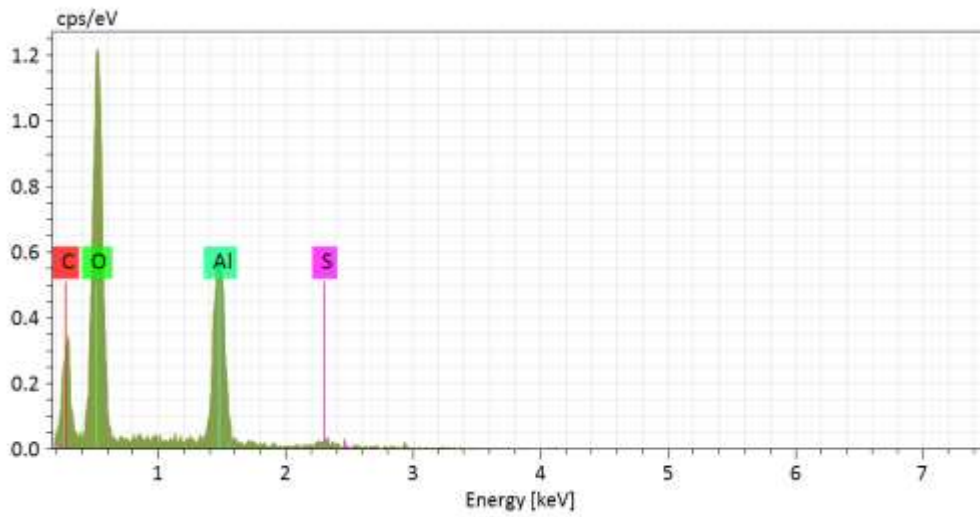
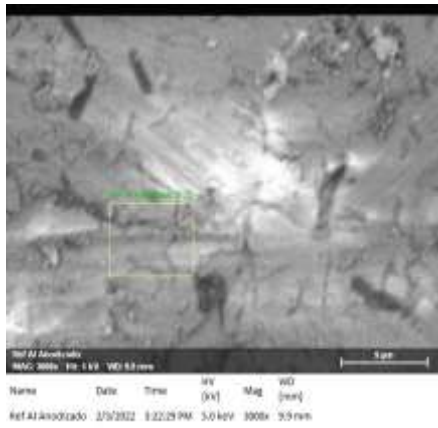
Name	Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
Ref Al Anodizado 95	2/3/2022	2:51:39 PM	5.0 keV	3000x	9.9 mm



Date	Time	HV [kV]	Mag	WD [mm]
2/3/2022	2:51:39 PM	5.0 keV	3000x	9.9 mm

Application Note

Company / Department



Spectrum	Carbon	Oxygen	Aluminium	Sulfur
Ref Al Anodizado 3125	14.70	53.14	29.54	2.62

Bibliografía:

- [1] <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>
- [2] Adriana Lira-Oliver, Radiación solar invisible y arquitectura, bitácora arquitectura, número 35, pp. 116-124, 2017
- [3] J. Santiago Rodríguez Suárez, Emmanuel Espinoza Navarrete, Joscha Rosenbuch, Hermilio O. Ortega Navarro, Manuel Martínez Fernández, Karla G. Cedano Villavicencio, Miriam M. Armenta. LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y FOTOTÉRMICA EN MÉXICO. ProMéxico. Primera Edición. 2017.
- [4] Octavio García Valladares, Isaac Pilatowsky Figueroa, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial, Instituto de Energías Renovables, UNAM, Primera edición: 9 de abril de 2017.
- [5] Andrés Guerrero Martínez, Ramón A. Álvarez Puebla, Luis M. Liz Marzán. Nanoplasmónica basada en Química Coloidal. Real Sociedad Española de Química. An. Quím. 2011, 107 (3), 221-228.
- [6] Ledezma A., Romero J., Hernández M., Moggio I., Arias E., Padrón G. Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia* sp.) y su electrohilado polimérico. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. pag. 133-140, diciembre de 2014.
- [7] Mosquera E.; Rosas N.; Debut A.; Guerrero V. H. Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Dióxido de Titanio Obtenidas por el Método de Sol-Gel. Revista Politécnica - Septiembre 2015, Vol. 36, No. 3.
- [8] Cecilia Noguez. Propiedades ópticas de nanopartículas metálicas. Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México. Pag 1 - 15.
- [9] Cecilia Noguez. Física a la escala nanométrica. Ed. Octavio Miramontes y Karen Volke (Editores). Pag 1 - 16.
- [10] Octavio Garate, Lionel Veiga, Paulina Lloret y Gabriel Ybarra. Introducción a los fenómenos ópticos de nanopartículas metálicas a través simulaciones computacionales en línea. Edición Química. Vol. 30, Núm. 1, Págs. 31-41, Enero 2019.
- [11] P. Cherukuri and S. A. Curley, "Use of nanoparticles for targeted, noninvasive thermal destruction of malignant cells," *Methods in Molecular Biology*, vol. 624, pp. 359- 373, 2010.

- [12] C. Noguez, "Surface plasmons on metal nanoparticles: The influence of shape and physical environment," *J. Phys. Chem. C*, vol. 111, p. 3806, 2007.
- [13] A. M. Angulo, C. Noguez, and G. Schatz, "Electromagnetic field enhancement for wedge-shaped metal nanostructures," *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 2, p. 1978, 2011.
- [14] Bautista, R. Lizarbe. E. Otero¹; V. López; y J. A. González. Nuevas alternativas a los métodos industrialmente implantados para el sellado del aluminio anodizado. *Rev. Metal, Madrid*, 35 (3), 1999. Pag 195 - 202.
- [15] Xavier Enrique Guerrero Dib, Ubaldo Ortiz Méndez, Selene Sepúlveda Guzmán, Domingo Ferrer-Luppi, Miguel José Yacamán. Síntesis y propiedades de nanopartículas monometálicas y bimetálicas oro-plata. *Ingenierías, Octubre - Diciembre, Vol 2009 XII, No. 45*. Pag 72 - 78 (2009).
- [16] G. Lopez R. y J. Ataucuri S, Estudio sobre metodologías aplicadas para la síntesis de nanopartículas de cobre (NPsCU) y plata (NPsAG) en diferentes formas y tamaños, *tecnia*, vol. 27, n.º 2, pp. 45-52, dic. 2017.
- [17] CABRERA, Julieta et al. Nanoestructuras mesoporosas 1D de TiO₂ obtenidas por el método hidrotermal. *Rev. Soc. Quím. Perú, Lima*, v. 80, n. 4, p. 262-269, oct. 2014.
- [18] Fabiola del Carmen Gómez Torres, José Luis Cervantes López, Angélica Silvestre López Rodríguez, Pio Sifuentes Gallardo, Erik Ramírez Morales, Germán Pérez Hernández, Juan Carlos Díaz Guillen, Laura Lorena Díaz Flores. Sol-gel/hydrothermal synthesis of well-aligned ZnO nanorods. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. (2022) doi/10.1016/j.bsecv.2022.05.004
- [19] ZANELLA, Rodolfo. Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano, Ciudad de México*, v. 5, n. 1, p. 69-81, jun. 2012.
- [20] MORALES, Jorge; MORAN, José; QUINTANA, María y ESTRADA, Walter. Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata. *Rev. Soc. Quím. Perú [online]*. 2009, vol.75, n.2 [citado 2023-04-25], pp.177-184-
- [21] Zhang, J. Du, J. Han, B. Liu, Z. Jiang, T. Zhang, Z. Sonochemical formation of single-crystalline gold nanobelts *Angewandte Chemie, International Edition* (2006), 45(7), 1116 - 1119.

- [22] Wu, C. Mosher, B. P. Zeng, T. Rapid synthesis of gold and platinum nanoparticles using metal displacement reduction with sonomechanical assistance *Chemistry of Material* (2006), 18(13), 2925 - 2928.
- [23] Xiong, H. M. Shchukin, D. G. Moehwald, H. Xu, Y. Xia, Y. Y. Sonochemical synthesis of highly luminescent zinc oxide nanoparticles doped with magnesium (II) *Angewandte Chem. International Edition* (2009), 48(15), 2727 - 2731.
- [24] Mao, C. J. Pan, H. C. Wu, X. C. Zhu, J. J. Chen, H. Y. Sonochemical route for self-assembled V_2O_5 bundles with spindle-like morphology and their novel application serum albumin sensing. *The Journal of Physical Chemistry* (2006), 110(30), 14709 - 14713.
- [25] S. Prathap Chandran, Minakshi Chaudhary, Renu Pasricha, Absar Ahmad, and Murali Sastry, Synthesis of Gold Nanotriangles and Silver Nanoparticles Using Aloe Vera Plant Extract, *Biotechnol. Prog.* 2006, 22, 577-583.
- [26] Shankar, S. S.; Rai, A.; Ahmad, A.; Sastry, M. Controlling the optical properties of lemongrass extract synthesized gold nanotriangles and potential application in infrared-absorbing optical coatings. *Chem. Mater.* 2005, 17, 566-572.
- [27] Siavash Irvani, Green synthesis of metal nanoparticles using plants, *The Royal Society of Chemistry, Green Chem.*, 2011, 13, 2638.
- [28] G. D. Sulka, M. Jaskula, *J. Nanoscience and Nanotechnology*, 6 (2006) 3803-3811.
- [29] Xu, C. X.; Zhang, X. S.; Sun, X. W. Preparation of Porous Alumina by Anodization. *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*, 23(), 75-78. (2005).
- [30] C. L. Londoño-Calderón, V. Bilovol, C. Cosio- Castañeda, L.G. Pampillo, S.R. Micheli, K. Pirola, L. M. Socolovsky and R. Martínez- García. "Synthesis and Characterization of Iron Oxyhydroxide Nanowires". *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 49, No. 8, pp. 4502-4505. 2013.
- [31] D.H. Choi, P.S. Lee, W. Hwang, K.H. Lee, H.C. V. Park. *Current Applied Physics* 6S1 (2006) 125-129.
- [32] Jianping Zhang, Jerrold E. Kielbasa, David L. Carroll. *Materials Chemistry and Physics* 122 (2010) 295-300.
- [33] Leszek Zaraska, Grzegorz D. Sulka, Marian Jaskula. *J, Solid State Electrochem* (2011) 15:2427-2436.

- [34] Lin Zhou, Yingling Tan, Dengxin Ji, Bin Zhu, Pei Zhang, Jun Xu, Qiaoqiang Gan, Zongfu Yu, Jia Zhu. Self-assembly of highly efficient, broadband plasmonic absorbers for solar steam generation. *Sci. Adv.* 2016.
- [35] Huixuan Gao, Wei Peng, Yuzhang Liang, Shuwen Chu, Li Yu, Zhi Liu, Yue Zhang. Plasmonic Broadband Perfect Absorber for Visible Light Solar Cells Application, Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature, pp. 1 - 11, November 2019.
- [36] Keisuke Nakayama, Katsuaki Tanabe, Harry A. Atwater. Plasmonic nanoparticle enhanced light absorption in GaAs solar cells. *American Institute of Physics, Appl. Phys. Lett.* 93, 121904, (2008).
- [37] Yiting Chen, Jin Dai, Min Yan, Min Qiu. Honeycomb-lattice plasmonic absorbers at NIR: anomalous high-order resonance. *OPTICS EXPRESS* 20874, September 2013.
- [38] Hugh H. Richardson, Zackary N. Hickman, Alexander O. Govorov, Alyssa C. Thomas, Wei Zhang, Martin E. Kordesch. Thermo-optical Properties of Gold Nanoparticles Embedded in Ice: Characterization of Heat Generation and Melting. *NANO LETTERS*. 2006. Vol. 6, No. 4, pp783-788.
- [39] Huang X, El-Sayed I H, Qian W, El-Sayed. Cancer Cell Imaging and Photothermal Therapy in the Near-Infrared Region by Using Gold Nanorods. *J. Am. Chem. Soc.* 128 2115. DOI: 10.1021/ja057254a
- [40] Gobin A M, Lee M Ho, Halas N J, James W D, Drezek R A, West J L. Near-infrared resonant nanoshells for combined optical imaging and photothermal cancer therapy. 2007 *Nano Lett.* 7 1929. DOI: 10.1021/nl070610y
- [41] Lal S, Clare S E, Halas N J. Nanoshell-enabled photothermal cancer therapy: impending clinical impact. 2008 *Acc. Chem. Res.* 41 1842. DOI: 10.1021/ar800150g

[42] Atwater H A, Polman A. Plasmonics for improved photovoltaic devices 2010 Nature Mater. 9 205. DOI: 10.1038/nmat2629

[43] Le F, Brandl D W, Urzhumov Y A, Wang H, Kundu J, Halas N J, Aizpurua J, Nordlander, P. Metallic nanoparticle arrays: a common substrate for both surface-enhanced Raman scattering and surface-enhanced infrared absorption. 2008 ACS Nano 2 707. DOI: 10.1021/nm800047e

[44] Stiles P L, Dieringer J A, Shah N C, Van Duyne R P. Surface-enhanced Raman spectroscopy. 2008 Annu. Rev. Anal. Chem. 1 601. DOI: 10.1146/annurev.anchem.1.031207.112814

[45] Adato R, Yanik A A, Amsden J J, Kaplan D L, Omenetto F G, Hong M K, Erramilli S, Altug H. Ultra-sensitive vibrational spectroscopy of protein monolayers with plasmonic nanoantenna arrays. 2009 Proc. Natl Acad. Sci. 106 19227. DOI: 10.1073/pnas.0907459106

[46] Stephan Link, Mostafa A. El-Sayed. Size and Temperature Dependence of the Plasmon Absorption of Colloidal Gold Nanoparticles. J. Phys. Chem. 1999, 103, 4212-4217

[47] Claire M. Watts, Xianliang Liu , Willie J. Padilla. Metamaterial Electromagnetic Wave Absorbers. Adv. Mater. 2012, 24, OP98-OP120. DOI: 10.1002/adma.201200674

[48] Mehdi Keshavarz Hedayati, Franz Faupel, Mady Elbahri. Review of Plasmonic Nanocomposite Metamaterial Absorber. Materials 2014, 7, 1221-1248; doi: 10.3390/ma7021221

[49] Kravets, V.; Schedin, F.; Grigorenko, A. Plasmonic blackbody: Almost complete absorption of light in nanostructured metallic coatings. *Phys. Rev. B* 2008, 78, doi:10.1103/PhysRevB.78.205405.

[50] Chen, H.T. Interference theory of metamaterial perfect absorbers. *Opt. Express* 2012, 20, 7165–7172.

[51] Hugh H. Richardson, Zackary N. Hickman, Alexander O. Govorov, Alyssa C. Thomas, Wei Zhang, Martin E. Kordesch. Thermo-optical Properties of Gold Nanoparticles Embedded in Ice: Characterization of Heat Generation and Melting. American Chemical Society. *Nano Lett.*, Vol. 6, No. 4. DOI: 10.1021/nl060105l

[52] LÓPEZ ITURBE, J.; VILCHIS NÉSTOR, A. R.; SÁNCHEZ MENDIETA, V.; AVALOS BORJA, M. "Obtención y caracterización de nanopartículas de plata soportadas en fibra de algodón". *Superficies y vacío*. 2013, 26, 73-78. ISSN: 1665-3521

[53] LEDEZMA, A., et al. "Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia* sp.) y su electrohilado polimérico". *Superficies y vacío*. 2014, 27, 133-140. ISSN: 1665-3521

[54] NAGAICH, U.; GULATI, N.; CHAUHAN, S. Antioxidant and Antibacterial Potential of Silver Nanoparticles: Biogenic Synthesis Utilizing Apple Extract. *Journal of pharmaceutics*. 2016, ISSN: 2090-9918

[55] KUMAR, B.; SMITA, K.; CUMBAL, L.; DEBUT, A. "Green synthesis of silver nanoparticles using Andean blackberry fruit extract". *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2017, 24 (1), 45-50. ISSN: 1319-562X

[56] SALGUERO, M.; PILAQUINGA, F. "Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata preparadas con extracto acuoso de cilantro (*Coriandrum sativum*) y recubiertas con látex de Sangre de Drago (*Croton lechleri*)". *infoANALÍTICA*. 2017, 5 (1), 9-23. ISSN: 2602-8344

[43] RONQUILLO-DE JESÚS, E., et al. "Synthesis of silver nanoparticles using aqueous tejocote extracts as reducing and passivating agent". *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2018, 10 (2). ISSN: 1027-152X

[57] PILAQUINGA, M., et al. "Síntesis verde de nanopartículas de plata usando el extracto acuoso de las hojas de ajo (*Allium sativum*)". *infoANALÍTICA*. 2019, 7 (2), 41-55. ISSN: 2477-8788

[58] AKINTELU, S.; FOLORUNSO, A. "Characterization and antimicrobial investigation of synthesized silver nanoparticles from *Annona muricata* leaf extracts". *Journal of Nanotechnology Nanomedicine & Nanobiotechnology*. 2019, 6 (1), 1-6. ISSN: 2381-2044.

[59] Chihhui Wu, Burton Neuner, Jeremy John, Andrew Milder, Byron Zollars, Steve Savoy and Gennady Shvets. Metamaterial-based integrated plasmonic absorber/emitter for solar thermophotovoltaic systems. *JOURNAL OF OPTICS, J. Opt.* 14, 2012, 7 pp. DOI 10.1088/2040-8978/14/2/024005.

[60] Yang Wang, Tianyi Sun, Trilochan Paudel, Yi Zhang, ‡ Zhifeng Ren, Krzysztof Kempa. Metamaterial-Plasmonic Absorber Structure for High Efficiency Amorphous Silicon Solar Cells. *Nano Lett.* (2012), 12, 440–445. DOI 10.1021/nl203763k.

[61] Jing Wang, Yiting Chen, Xi Chen, Jiaming Hao, Min Yan, Min Qiu. Photothermal reshaping of gold nanoparticles in a plasmonic absorber. *OPTICS EXPRESS* 14727, 2011, Vol. 19, No. 15. DOI/10.1364/OE.19.014726.