



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS

Síntesis de nanopartículas de Au utilizando reductores naturales obtenidos a baja temperatura y su actividad en la reducción de CO₂

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIADO EN FÍSICA

PRESENTA:

C. ANA KAREN FLORES TIRADO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ODILÓN VÁZQUEZ CUCHILLO

CO-DIRECTOR:

DR. JOSÉ GUADALUPE VÁZQUEZ LUNA

Puebla, Pue. Junio 2023

Resumen

En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología fácil y rápida para la síntesis de nanopartículas de oro a bajas temperaturas. Para ello, se emplearon extractos etanólicos obtenidos a partir de material vegetativo de *Brickellia Cavanillesii*. Dicha planta es una especie que pertenece a la familia de las *asteráceas*, y su principal uso medicinal es controlar los niveles de azúcar en la sangre. Se realizaron síntesis a tres temperaturas (25 °C, 45 °C y 65 °C) donde la mezcla con el reductor inicialmente fue puesta en reflujo agregando posteriormente la solución áurica resultando la reducción de Au^{+3} a Au^0 . Ello fue evidenciado por el cambio de tonalidad de amarillo verdoso a violeta color característico de las nanopartículas de oro menores de 20 nm, además se empleó espectroscopia de UV-Vis para determinar el plasmón superficial, difracción de rayos X (XRD), para determinar la fase cristalina de oro metálico y microscopia electrónica de barrido (SEM) para determinar el tamaño y la morfología de partículas.

Se encontró que el tamaño, al igual que la cristalinidad, está relacionado con la temperatura de síntesis. Las nanopartículas obtenidas fueron soportadas en dióxido de titanio y los resultados en la reacción de foto conversión de CO_2 mostraron una selectividad hacia metano y etanol.

Índice de contenido

Resumen

Índice general

Índice de figuras

Índice de tablas

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Justificación	9
1.2 Objetivo General	9
1.3 Objetivos particulares	9
1.4 Estructura del trabajo de tesis	9
Capítulo 2. Marco Teórico	10
2.1 Calentamiento global	10
2.2 Nanotecnología	10
2.3 Fitoquímica	11
2.3.1 Fenoles	12
2.3.2 Terpenos	12
2.3.3 Tioles	12
2.4 Química verde	13
2.5 Técnicas de caracterización de nanopartículas metálicas	13
2.5.1 Espectroscopia UV-Vis	13
2.5.2 Plasmón superficial	14
2.5.3 Análisis de difracción de rayos X (XRD)	16
2.5.4 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)	18
2.6 Síntesis de nanopartículas	19
2.6.1 Métodos físicos	19
2.6.2 Métodos químicos	20
2.6.3 Métodos biológicos	21
2.7 Extractos naturales	21
2.8 Familia de las Asteráceae	22
2.8.1 BRICKELLIA	23
2.8.2 <i>Brickellia Cavanillesii</i>	23
2.9 Nanopartículas de oro	25
Capítulo 3. Metodología experimental	26
3.1 Material	26
3.2 Extracción de la solución reductora	26
3.3 Síntesis de nanopartículas metálicas de Oro	27
Capítulo 4. Resultados y discusiones	31
4.1 Análisis por espectroscopia de UV-Vis de las nanopartículas de Au.	31

4.2 Difracción electrónica de Rayos X de las nanopartículas de Au. _____	35
4.3 Microscopía electrónica de barrido por electrones secundarios (SEM). _____	37
4.4 Actividad foto catalítica de las nanopartículas de Au, en la foto conversión de CO ₂ hacia otros productos _____	38
Capítulo 5. Conclusiones _____	41
Bibliografía _____	42

Índice de figuras

Figura 1	Esquema del sistema UV-VIS
Figura 2	Difracción de rayos X en cristales
Figura 3	Esquema de Scanning Electron Microscope
Figura 4	<i>Brickellia Cavanillesii</i> utilizada para la obtención de metabolitos
Figura 5	Esquema de la obtención del extracto reductor
Figura 6	Solución áurica obtenida
Figura 7	Síntesis de nanopartículas. A) Tiempo cero, B) 10 Minutos (Au NP's sintetizadas a 25 °C)
Figura 8	Síntesis de AuNP's a diferentes temperaturas.
Figura 9	Síntesis de nanopartículas de Au a diferentes volúmenes a 45 °C
Figura 10	UV-Vis, AuNP's sintetizadas a diferentes temperaturas
Figura 11	UV-Vis, AuNP's sintetizadas a 25 °C con diferentes tiempos de síntesis
Figura 12	UV-Vis, AuNP's sintetizadas a 25 °C con diferentes volúmenes de síntesis.
Figura 13	UV-Vis, AuNP's sintetizadas a 45 °C y su estabilidad al paso del tiempo.
Figura 14	Análisis de difracción de rayos X a diferentes temperaturas de síntesis.
Figura 15	Micrografías tomadas de las muestras de nanopartículas sintetizadas a diferentes temperaturas utilizando Microscopía electrónica de barrido por electrones secundarios (SEM-LEI)
Figura 16	Sistema de reacción
Figura 17	Foto conversión de CO ₂ hacia otros productos
Figura 18	Foto conversión de CO ₂ hacia otros productos de los materiales impregnados

Índice de tablas

Tabla 1	Clasificación de la planta <i>Brickellia Cavanillesii</i>	Pág. 27
---------	---	---------

Capítulo 1. Introducción

El calentamiento global es uno de los problemas más graves que enfrentamos en la actualidad, y según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) este fenómeno se ha intensificado desde mediados del siglo pasado como resultado de la excesiva liberación de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), etc. procedentes de la actividad del ser humano [1].

Debido a las estrictas regulaciones ambientales y a la crisis energética que vivimos, nos vemos en la necesidad de buscar fuentes alternas de energía.

Sin embargo los próximos años seguiremos dependiendo de la industria petrolera, lo que conlleva a que se sigan generando grandes emisiones de CO_2 , dirigidas directamente a la atmosfera.

Ante tal hecho, se han propuesto estrategias para el control de las emisiones de CO_2 . Dichas estrategias van desde la captura y separación del CO_2 [2,3], hasta su almacenamiento. Sin embargo, sus altos precios hacen de estas propuestas algo no competitivo económicamente [4], su aplicación tiene muchas interrogantes que involucran temas relacionados con la sustentabilidad, seguridad y aceptabilidad medioambiental, ya que, de no asegurar que el CO_2 no escape hacia la superficie de la tierra esto desembocará en la contaminación de fuentes de agua potable.

Diversos grupos de investigación se han interesado por trabajar sobre la fotoreducción del CO_2 en combustibles químicos como es el monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), o metanol (CH_3OH) [2,3]. Para ello, han empleado metales nobles y de transición como platino (Pt) [4,5], paladio (Pd) [6], y cobre

(Cu) [7] entre otros. Estos materiales se han impregnado en TiO_2 y otros semiconductores, que se utilizaron como trampa de electrones, además de proveer sitios activos para la reducción de CO_2 .

Sin embargo, lograr una mayor actividad, es posible si se utilizan materiales de tamaño nanométrico ($1\text{nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$).

En los últimos años, el desarrollo de la nanotecnología ha tenido una gran relevancia, dado que se ha buscado potencializar las propiedades (ópticas, magnéticas, eléctricas, etc.) de los materiales, en diversos campos de la investigación tales como la medicina, biotecnología, y, en nuestro caso la remediación ambiental.

Una de las ramas importantes de la nanotecnología es la síntesis de nanopartículas (Np's) metálicas. Gracias a este avance, es posible la fabricación de materiales altamente activos debido a su diminuto tamaño y a su gran superficie de contacto, lo que permite la formación de nanoestructuras como nanoesferas, nanotubos, etc, para diversos fines [8].

La obtención de Np's metálicas se ha convertido en un tema relevante, ya que se caracterizan por tener bandas de absorción en el espectro visible, y colores diferentes a los que normalmente asociamos con dicho metal a escala macroscópica, debido a la presencia de resonancias de plasmones de superficie [9].

La existencia y el estudio de las nanopartículas para estos fines, existe desde hace mucho tiempo, sin embargo, los métodos tradicionales de síntesis emplean sustancias altamente contaminantes, como el borohidruro de sodio (NaBH_4) y la Polivinilpirrolidona (PVP), entre otros. Actualmente, existe una creciente

necesidad de contar con métodos de síntesis de Np's que sean inocuos al ambiente, así como de uso seguro para seres humanos y animales. Esto, ha obligado a la comunidad científica a buscar rutas alternativas para contrarrestar esta problemática, encontrando una solución en el uso de extractos orgánicos.

La síntesis de Np's puede generarse a través de procesos físicos o químicos, con el fin de poder manipular la dimensión, morfología y la composición de las mismas [10,11]. Sin embargo, la síntesis por química verde permite la obtención de Np's sin generar residuos tóxicos.

Cada planta que se utiliza, posee un gran número de metabolitos que pueden estar implicados en la síntesis de Np's. El utilizar estos métodos, generan ventajas, por ejemplo, la velocidad de síntesis, las bajas temperaturas a las que se trabaja, su bajo costo y que potencialmente es escalable a procesos industriales [12,13].

Así, una extracción selectiva de estos metabolitos con capacidades reductoras permitirá elucidar un mecanismo adecuado basado en su caracterización experimental, permitiendo controlar su tamaño, su forma e interfaces para incrementar la actividad de un fotocatalizador en la reducción de CO₂ hacia productos de alto valor.

En este trabajo se propone un nuevo proceso para la fabricación de Np's de oro, para su aplicación en reacciones fotocatalíticas de conversión de CO₂ hacia productos de alto valor.

1.1 Justificación

La biosíntesis controlada de nanomateriales funcionales mediante extractos naturales obtenidos de plantas locales de fácil acceso y reproducción, permitirá desarrollar un método rápido y fácil de síntesis, que haga posible diferentes aplicaciones como la fotoconversión de CO₂ a otros productos.

1.2 Objetivo General

Sintetizar nanopartículas metálicas de Oro a partir de extractos etanolicos de *Brickellia Cavanillesiis* de una manera limpia, rápida, efectiva y a baja temperatura.

1.3 Objetivos particulares

1. Obtener una solución reductora a partir de la planta *Brickellia Cavanillesiis* para la reducción de iones metálicos de una manera sencilla y económica.
2. Sintetizar nanopartículas de Au a baja temperatura utilizando el reductor de *Brickellia Cavanillesiis*.
3. Realizar la caracterización óptica de nanopartículas de oro mediante espectroscopia de UV-Vis de las nanopartículas obtenidas, determinado el tiempo mínimo de reacción.
4. Realizar la caracterización morfológica mediante microscopia electrónica de barrido por electrones secundarios y estructural mediante Difracción de rayos X de las nanopartículas de oro fabricadas.

1.4 Estructura del trabajo de tesis

Este trabajo de tesis consta de 48 páginas, 1 tabla, 18 figuras y 49 citas bibliográficas.

Ha sido expuesto en el Congreso Nacional de Física 2022.

Y se están preparando artículos para su publicación.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Calentamiento global

El desarrollo continuo de la sociedad se enfrenta a un problema global por el incremento gradual de la temperatura donde uno de los factores fundamentales es el aumento de emisiones de CO₂ hacia la atmosfera terrestre.

Debido a esto, se ha trabajado en el desarrollo de procesos que, bajo condiciones aceptables, permita la conversión de CO₂ en productos de alto valor comercial, como lo es el metanol, metano, ácido fórmico o formaldehído, lo cual resulta sumamente atractivo para el campo de investigación de la remediación ambiental y para la economía.

Y es aquí donde la fotocatalisis es una opción viable, aceptable y sustentablemente, pues al utilizar radiación ultravioleta o visible para activar un fotocatalizador se genera el par electrónico (e⁻, h⁺), que es el incitador de las reacciones de redox desarrolladas en la superficie del material fotocatalizador y transforman el CO₂ en los productos deseados. Además, diversos factores como son: el tipo de sitios ácidos, la morfología, el área superficial, el dopaje o la carga metálica impregnada; pueden ayudar a superar las limitaciones termodinámicas desfavorables de algunas reacciones para obtener productos inertes y estables.

2.2 Nanotecnología

El estudio del universo de lo nanométrico, ha permitido descubrir y potencializar las propiedades de los materiales, dado que, es posible el control de características como la morfología, la relación área superficial/volumen, para la creación de materiales más resistentes, fármacos más efectivos, entre otras aplicaciones en diversos campos de la ciencia y tecnología [3,6].

Una de las ramas importantes de la nanotecnología se dirige a la síntesis de Np's metálicas. Sin embargo, se han logrado sintetizar diversos nanomateriales bajo técnicas de reducción química que, en su proceso, manipulan y generan sustancias altamente contaminantes que dañan al medio ambiente y a los sistemas biológicos. Es importante resaltar que muchos de los procesos de reducción requieren de altas cantidades de energía, teniendo como consecuencia su inescalabilidad a procesos industriales.

Por tanto, desarrollar procedimientos de síntesis de Np's que sean amigables con el medio ambiente y la salud humana, es una de las prioridades para esta área de investigación. De esta manera, integrar la química verde con la nanociencia para crear la nanociencia verde [14,15], que nos proporcionara metodologías de síntesis sustentables para la obtención de Np's.

Las Np's de metales nobles (oro, plata, cobre, platino), han llamado la atención debido a sus características químicas, ópticas, físicas, mecánicas, eléctricas y electromagnéticas. Sin embargo, las investigaciones se han centrado en las Np's de oro, debido a sus potenciales aplicaciones. [1-16].

2.3 Fitoquímica

La fitoquímica analiza la estructura y caracterización de la actividad biológica de las diferentes sustancias que producen las plantas.

Estas sustancias son las que dan lugar al color y aroma de los frutos y flores. De igual manera, actúan como defensores naturales de las plantas contra microorganismos dañinos.

Los compuestos fitoquímicos se han clasificado en diferentes grupos con base en sus funciones. Entre los grupos más importantes se encuentran los *terpenos*, *fenoles* y *tioles*.

2.3.1 Fenoles

Una de las características principales de los compuestos fenólicos es la habilidad que tienen de bloquear la acción de enzimas que causan inflamaciones. Modifican los pasos metabólicos de las prostaglandinas y protegen de la aglomeración de plaquetas. De igual manera ayudan a la inhibición de la activación de carcinógenos, evitando la iniciación del proceso de carcinogénesis. Los fenoles son también antioxidantes y como tales atrapan radicales libres. Previenen que éstos se unan y dañen las moléculas de ácido desoxirribonucleico (DNA), un paso crítico en la iniciación de los procesos carcinogénicos.

2.3.2 Terpenos

Los terpenos son antioxidantes, que protegen a los fluidos corporales y a la sangre de los ataques de radicales libres, algunas especies de oxígeno reactivo, hidroxilos, peróxidos y radicales superóxidos. Los terpenos más intensamente estudiados son los carotenoides y los limonoides.

Estudios experimentales demuestran que los terpenos previenen la aparición de distintos tipos de cáncer, tales como cáncer de pulmón, mama, colon, estómago y páncreas, hígado [17].

2.3.3 Tioles

Los tioles se pueden hallar en alimentos que son ricos en azufre. Sus efectos antioxidantes previenen el crecimiento de tumores, aumentando la respuesta del sistema inmunológico [18].

Gracias a la fitoquímica, es posible identificar los principios activos de las plantas, como es el caso de las medicinales. Los metabolitos secundarios provenientes

de éstas, han sido parte importante para diferentes investigaciones. Entre ellas está la obtención de Np's de metales nobles.

2.4 Química verde

La producción de fuentes de energía, alimentos, medios de comunicación y transporte, para mejorar la calidad de vida del ser humano se ha visto reflejado de una manera negativa en la salud de nuestro planeta y sus recursos [19].

De ahí que, la ciencia ha tomado medidas para disminuir estos daños y las problemáticas que estos conllevan.

El objetivo principal de la química verde es la reducción, y de ser posible, la eliminación de sustancias dañinas al llevar a cabo distintos procesos. Dichos procesos, deben evitar el uso excesivo de materiales no renovables, así como también reducir la cantidad de energía que se utiliza.

2.5 Técnicas de caracterización de nanopartículas metálicas

2.5.1 Espectroscopia UV-Vis

Dado que la absorción de luz ultravioleta o visible resulta de la excitación de los electrones, la longitud de onda del pico de absorción se puede correlacionar con el tipo de enlace presente en las especies estudiadas. Por lo tanto, la espectroscopia de absorción molecular es útil para identificar los grupos funcionales de las moléculas.

Los espectros se representan como una gráfica de absorbancia frente a una longitud de onda de 200 a 800 nm, brindando información de los estados energéticos, atómicos o moleculares, de la muestra bajo estudio [7]. Dos parámetros que caracterizan una determinada banda espectral son la posición del máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) y su intensidad. Es decir, cuando los fotones inciden en una muestra, estos pueden ser reflejados, transmitidos o absorbidos. La energía del

foton favorece que los electrones se exciten y la respuesta de la radiación transmitida es evidenciada en función de la longitud de onda.

La espectroscopia por UV-Vis, dentro de la nanociencia, permite saber si al hacer una síntesis bajo un método determinado culmina en la formación de Np's.

Un claro ejemplo son las nanopartículas de oro, pues forman un plasmón que aparece alrededor de los 540 nm [20].

El quipo consta de una fuente de luz UV y una luz visible (se utilizan comúnmente lámparas de deuterio, tungsteno o xenón), un monocromador (que se compone de un colimador de entrada, un elemento de dispersión y un colimador de salida) cuya función es seleccionar las longitudes de onda que afectan a la muestra y finalmente, uno o más detectores miden la intensidad de la radiación de la muestra y forman espectros de absorción y/o transmisión según se requiera [21].

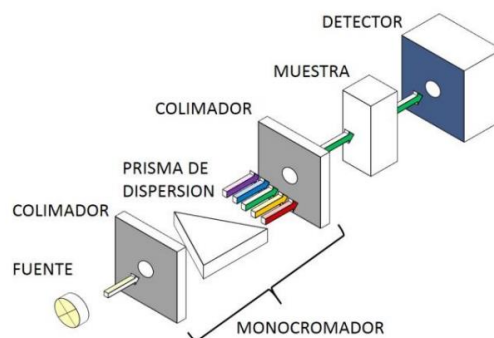


Figura 1. Esquema del sistema *UV-VIS* [22].

2.5.2 Plasmón superficial

Cuando un gas en estado de plasma es ionizado, los portadores de carga libre interactúan de una manera sencilla con la radiación electromagnética de baja frecuencia ocasionando una oscilación en resonancia con dicha radiación. Al

generarse este fenómeno vibratorio común en los plasmas, se le da el nombre de “plasmón”.

En el interior de los metales (*bulk*), se le denomina “plasma sólido” a puntos masivos (gran cantidad de átomos) fijos con una carga neta, al mismo tiempo que una cantidad de electrones libres los cubren.

Los plasmones de *bulk* no son más que ondas cuantizadas producidas por perturbaciones respecto a sus posiciones de equilibrio y terminan con una vibración característica. La frecuencia del plasmón *bulk* viene dada por la siguiente ecuación

$$\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{\epsilon_0 m_e}}$$

donde:

N - electrones móviles (densidad de portadores de carga)

e - carga del electrón.

ϵ_0 - permitividad del vacío.

m_e - masa

Los plasmones *bulk* involucran oscilaciones de plasma longitudinales de frecuencia resonante que surgen de la fuerza de restauración resultante de la separación de cargas causada por la separación de electrones móviles de sus posiciones de equilibrio.

Si la frecuencia de la radiación está por debajo de la frecuencia del plasmón, los electrones tienen tiempo de seguir completamente las oscilaciones del campo eléctrico oscilante de la radiación y entonces la onda se refleja. Si la frecuencia de la radiación es superior a la del plasmón, la carga no podrá seguir las oscilaciones del campo eléctrico y de esta manera la onda se transmite.

Los plasmones superficiales son un tipo especial de plasmones que se asocian principalmente a la superficie de los metales. Tienen frecuencias y energías menores que los plasmones de *bulk*, y bajo ciertas condiciones, estos pueden interactuar de manera positiva con la radiación electromagnética. A este fenómeno se le conoce como “resonancia de plasmón de superficie SPR”. En consecuencia, estos plasmones confieren a las nanopartículas algunas propiedades ópticas, donde pueden ser utilizados para mejorar las propiedades de otros materiales. Los plasmones de superficie son particularmente útiles para los químicos porque el campo eléctrico oscilante mejora en gran medida algunos fenómenos ópticos como la dispersión Raman [23].

2.5.3 Análisis de difracción de rayos X (XRD)

Es una técnica denominada de bulto que proporciona información de manera detallada sobre la estructura cristalina, composición química y propiedades físicas del material que se quiere analizar. La difracción ocurre porque la distancia entre los centros de dispersión es del mismo orden que la longitud de onda de la radiación [24].

La difracción de rayos X obedece la *Ley de Bragg*. Esta ley establece que cuando un rayo X interacciona con la superficie de un cristal en un ángulo θ , una parte del rayo se dispersará por los átomos superficiales. La parte que no se dispersa entrara en la segunda capa de átomos, donde nuevamente hay una fracción que se dispersa y otra que pasa a la tercera capa de átomos y así sucesivamente.

El efecto acumulativo de esta dispersión desde **el centro** regularmente **espaciado**, del cristal es la difracción del haz.

Para XRD (Figura 2) se necesita que:

Los rayos X serán reflejados si y solo si el ángulo de incidencia satisface la condición de interferencia constructiva, dada por la ecuación:

$$\text{sen}\theta = \frac{n\lambda}{2d}$$

Si los ángulos son diferentes, obtendremos como resultado interferencia destructiva [26-27].

Las propiedades y funciones de los nanomateriales se basan principalmente en estructuras cristalinas. El patrón obtenido por XRD se considera como la huella digital química de la muestra a caracterizar. Por lo tanto, la identificación química se obtiene comparando el patrón de difracción con una base de datos ya establecida [28].

2.5.4 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

El Scanning Electron Microscope (SEM) es una técnica que permite la visualización de la superficie de los sólidos, de la cual se destaca la gran resolución y profundidad de campo con una calidad tridimensional [29]. El microscopio electrónico de barrido nos brinda información acerca de la morfología y la composición de la muestra a caracterizar.

Este método de caracterización consiste en un haz emisor de electrones que pueden ser focalizados con lentes electromagnéticas. Su aceleración se logra empleando una diferencia de potencial. Entonces el haz se enfoca sobre la muestra mediante un sistema de lentes que es deflectado por medio de bobinas.

De este modo se logra barrer la superficie de la muestra.

Las emisiones que se originan por la interacción electrón-materia son detectadas y convertidas a señales electrónicas, para su posterior amplificación, lo que permite la caracterización de la muestra. [30].

Existen fenómenos importantes en la microscopía electrónica de barrido debido a la interacción de haz de electrones con las muestras a caracterizar. Entre ellos se encuentran la emisión de electrones secundarios con energías de algunas decenas de eV y reemisión o reflexión de electrones retrodispersados de alta energía del haz primario [31].

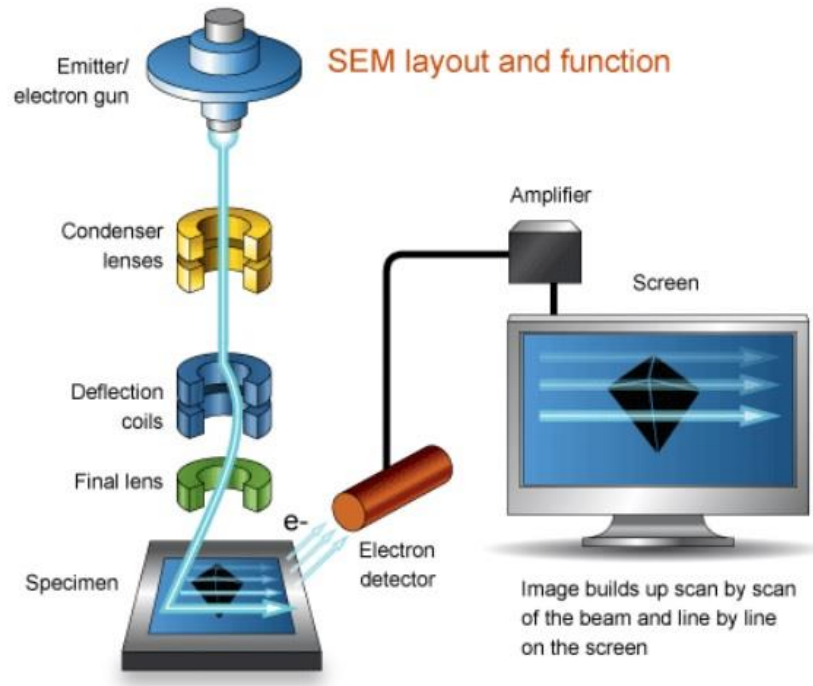


Figura 3. Esquema de Scanning Electron Microscope. [32].

2.6 Síntesis de nanopartículas

Existen diferentes métodos de síntesis de NP's. Entre ellos, se encuentran los métodos "abajo hacia arriba" que hacen referencia a la agregación de átomos, y "arriba hacia abajo" cuando se trata de la separación de material macroscópico hasta obtener moléculas de tamaño diminuto [33].

Las clasificaciones de dichos métodos recaen en tratamientos físicos, químicos, físico-químicos y métodos biológicos.

2.6.1 Métodos físicos

Entre los métodos físicos para síntesis de Np's se encuentran:

1. Ablación laser. Proceso en el cual, dentro de un entorno gaseoso y a partir de un material vaporizado, mediante un láser que genera nucleaciones, se obtienen Np's.
2. Molienda mecánica. En este proceso, el material en bulto se va separando hasta formar nanopulvos finos de orden nanométrico.
3. Depósito en fase vapor. Dentro de una cámara de vacío se hace la descomposición de compuestos volátiles. De esta manera se forma un material en forma de una capa delgada o de Np's.

2.6.2 Métodos químicos

Los procedimientos químicos para la síntesis de Np's son utilizados con mucha frecuencia debido a su simpleza y eficacia. Se basan en la reducción de iones metálicos a partir de agentes reductores orgánicos e inorgánicos [34,35]. Estas técnicas nos ofrecen nanopartículas más uniformes que los métodos físicos ya que la forma y el tamaño dependerán de la concentración del agente reductor, el solvente con que se esté trabajando y el precursor metálico.

Entre los métodos "abajo hacia arriba" están:

1. Método coloidal.
2. Método de reducción fotoquímica.
3. Radioquímica.
4. Método electroquímico.
5. Método de sol-gel.

Es importante mencionar que, existen varios problemas al momento de llevar a cabo cualquiera de los métodos antes mencionados. Equipos que son costosos, la reproducibilidad a niveles industriales y, sobre todo, algunos de estos procesos generan desechos altamente tóxicos y contaminantes. De ahí la

importancia de establecer nuevas rutas de síntesis de Np's que sean amigables con el medio ambiente [34].

2.6.3 Métodos biológicos

A diferencia de los métodos químicos y físicos, los métodos biológicos, es decir, la síntesis verde de nanopartículas, tiene la ventaja de no generar residuos que sean tóxicos para el medio ambiente ni para el ser humano [35].

Para llevar a cabo la síntesis verde se ocupan diversos sistemas biológicos, entre los que se encuentran:

1. Hongos
2. Levaduras
3. Extractos de plantas
4. Bacterias.

El uso de extractos de plantas es el método más utilizado debido a su fácil acceso, a la seguridad que éste nos ofrece y además porque posee una gran variedad de metabolitos que favorecen al momento de la síntesis.

Es de gran interés resaltar que, el tiempo de reacción disminuye y se puede trabajar con bajas temperaturas ya que tienen una alta especificidad en los biocatalizadores además de una mayor estabilidad. Los extractos de cada planta, generarán tamaños diferentes de Np's metálicas con la ventaja de que al utilizar plantas medicinales las Np's contarán con una actividad antibacteriana [2].

2.7 Extractos naturales

En la actualidad, el uso de plantas como alternativa para el tratamiento de diferentes enfermedades ha dado resultados positivos por lo que han generado

un interés particular dentro del área de la nanociencia. En México existe una amplia variedad de plantas que contienen compuestos bioactivos útiles para la obtención de Np's. Entre ellos se encuentran flores, semillas, hojas, tallos y raíces [36, 37].

Para obtener un extracto natural se requiere macerar ya sean tallos, hojas, flores o semillas de algún agente vegetativo. Sin embargo, la cocción, o la infusión agregando un solvente como agente extractor es lo que más se utiliza en el área tecnológica [38, 39].

La síntesis de Np's por rutas naturales o biosíntesis, sustituyendo agentes químicos por estos extractos naturales, suelen tener una gran sencillez y eficacia. Se logra el objetivo de la no toxicidad y se crea una reducción de iones metálicos de una manera segura y eco amigable.

2.8 Familia de las *Asteráceae*

La familia de las *Asteráceae* se caracteriza por tener plantas con flores de gran tamaño. La especie cuenta con más de 1600 géneros y 2500 especies a nivel mundial. La margarita, el diente de león y la lechuga son algunos ejemplos pertenecientes a dicha familia. La mayoría de los miembros de la familia de las *Asteráceas* son utilizadas para la medicina herbolaria desde hace mucho tiempo ya que, son buenas fuentes de inulina, que es un polisacárido con propiedades prebióticas.

Entre sus compuestos fitoquímicos se encuentran los polifenoles, ácidos fenólicos, flavonoides, acetilenos y triterpenos. Gracias a estos compuestos la familia asterácea posee fuertes actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, neurotóxicas, fototóxica, propiedades diuréticas y cicatrizantes [15].

2.8.1 BRICKELLIA

De la familia de las *Asteráceas* tenemos a la *Brickellia*, que son nativas de México y el suroeste de Estados Unidos. La morfología de esta familia son diversas; en su mayoría se caracterizan por ser arbustos siendo la mayoría hierbas perennes. Las formas de las hojas son variadas. Desde hojas grandes y grisáceas, hasta hojas pequeñas y espinosas. En su mayoría, éstas están cubiertas por un indumento y pelo para su protección natural [40, 41].

Muchas especies han demostrado diversas actividades farmacológicas, atribuidas a sus componentes fitoquímicos que incluyen los aceites esenciales, saponinas, polifenoles, fenoles, esteroides y polisacáridos [42].

Estas especies son utilizadas como tratamiento alternativo o de acompañamiento, principalmente por sus propiedades antidiabéticas y anticancerígenas. Se administran por vía oral en forma de infusiones, ayudando a la regulación del metabolismo de la glucosa. [43]

2.8.2 *Brickellia Cavanillesii*

De la familia de las *Asteráceas*, la *Brickellia Cavanillesii*, conocida comúnmente en México como “*prodigiosa*”, es una hierba que alcanza un tamaño de hasta 2 metros de altura, con tallos ásperos, flores pequeñas y hojas ligeramente grisáceas con un sabor muy amargo, característico de la familia de la que proviene.

Tabla 1. Clasificación de la planta *Brickellia Cavanillesii*

Taxonomía	
Reino	Plantae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Subfamilia	Asteroideae
Tribu	Eupatorieae
Subtribu	Alomiinae
Género	Brickellia
Especie	Brickellia Cavanillesii

Esta especie, es comercializada en México debido a sus propiedades medicinales para el tratamiento de úlceras, dispepsia y el control de la glucosa. [44].

Esto último ha sido su reporte principal, ya que es una de las 306 especies más utilizadas para el tratamiento de la diabetes mellitus. Bajo estudios fitoquímicos de la planta *Brickellia Cavanillesii* han permitido el aislamiento de compuestos fenólicos, triterpénicos, ésteres, cetonas, aldehídos. Brickellin, atanasin y pendulin fueron los tres flavonoides principales que se encontraron gracias a la caracterización de la planta [45]. Una imagen de *Brickellia Cavanillesii*, se muestra en la Figura 4.



Figura 4. *Brickellia Cavanillesii* utilizada para la obtención de metabolitos.

2.9 Nanopartículas de oro

Debido a sus nuevas aplicaciones industriales y a las características fisicoquímicas únicas que poseen, como son propiedades ópticas y electrónicas controlables las AuNp's ocupan una posición especial entre varias nanopartículas metálicas [46-47]. Además de las características ya mencionadas, las AuNp's también han revelado excelentes propiedades catalíticas, debido a su tamaño más pequeño, forma bien definida y mayor relación de área superficial a volumen [48].

La obtención de AuNp's utilizando plantas como agentes biorreductores y bioestabilizadores, es una técnica que va en aumento gracias a que es un método económico, ecológico y sencillo [49].

Capítulo 3. Metodología experimental

3.1 Material

Los equipos, materiales y reactivos que se utilizaron fueron hojas de *Brickellia Cavanillesii* las cuales tenían 60 días de crecimiento, Gold (III) Chloride trihydrate (Sigma-Aldrich 99.9 % cat. 520918), alcohol etílico absoluto (MEYER), agua desmineralizada, parrillas de calentamiento Science Med Sm-H38-Pro y Science Med MS-H-Pro+, equipo de extracción Soxhlet conectado a un Shilder acoplado a la parte del condensador, termómetros de mercurio, agitadores magnéticos.

3.2 Extracción de la solución reductora

EL arreglo experimental para la obtención de la solución reductora se muestra en la Figura 5.

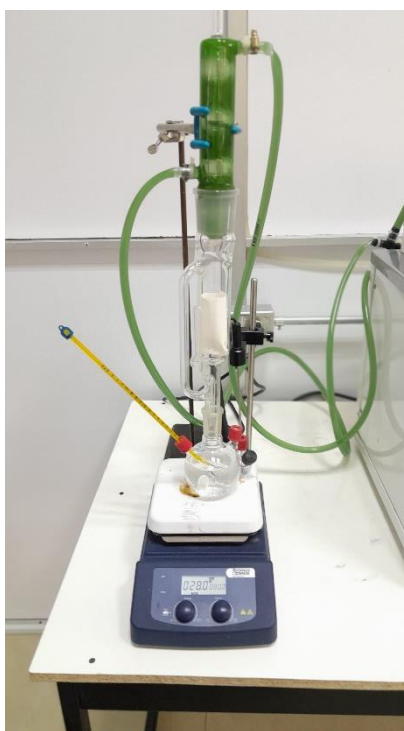


Figura 5. Sistema de extracción Soxhlet.

Se emplearon 15g de hojas de *Brickellia Cavanillesii*, lavadas y picadas finamente. Se colocó el cartucho de extracción en el depósito del equipo Soxhlet con 250 ml de etanol en el matraz inferior. El equipo de extracción trabajó a 65°C

siendo monitoreado con un termómetro de mercurio, durante 6 ciclos. Este procedimiento se repitió tres veces dejando los mismos 200 ml de etanol para los tres cambios de cartucho. Se evaporaron 100 ml de la solución reductora obtenida, la cual paso por un proceso de filtración. Al finalizar se obtuvieron 100 ml de reductor de *Brickellia Cavanillesii* concentrado y se colocó en refrigeración.

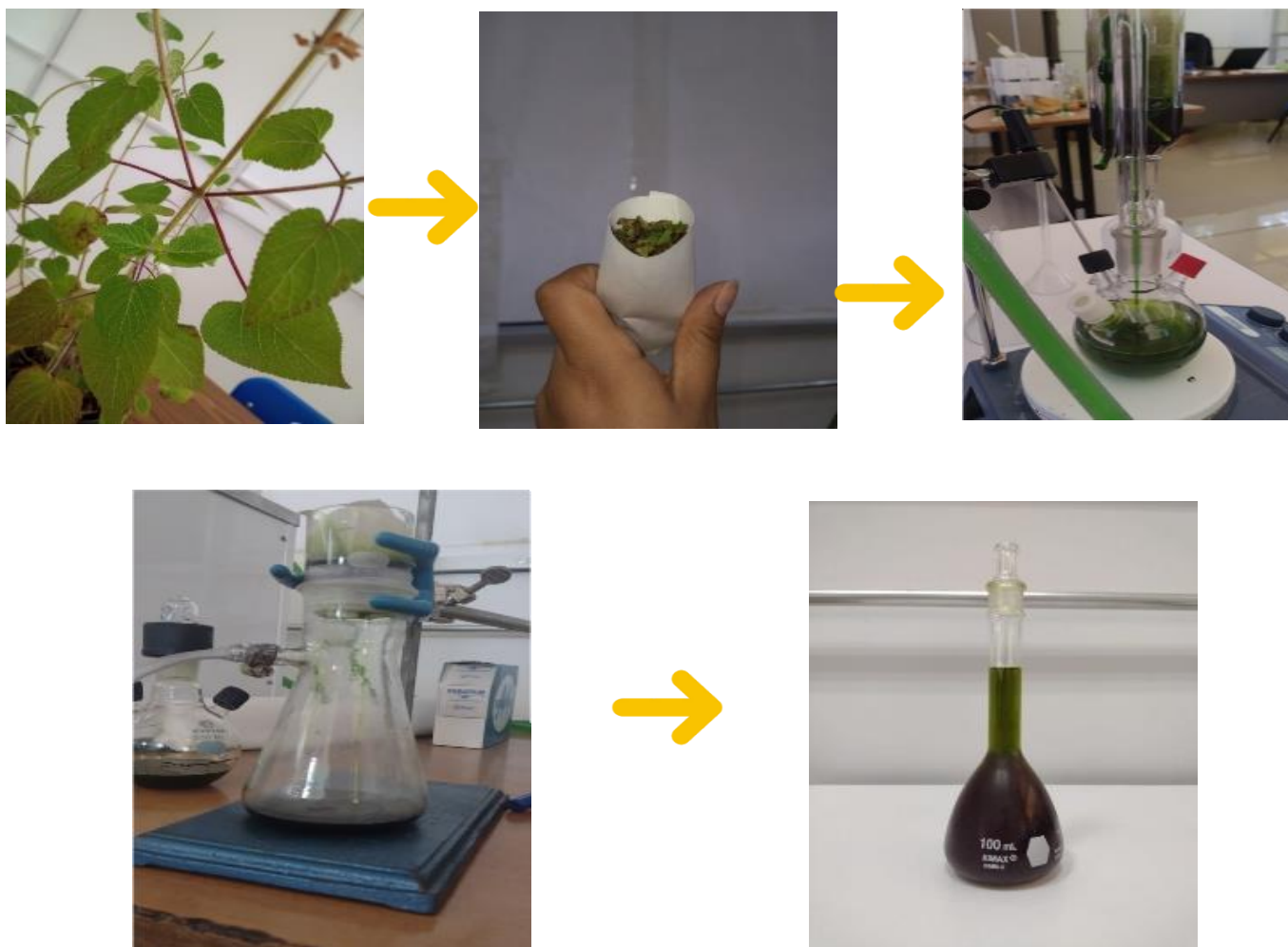


Figura 6. Esquema de la obtención del extracto reductor.

En la Figura 6 se muestra el proceso de obtención del reductor.

3.3 Síntesis de nanopartículas metálicas de Oro

Las nanopartículas de oro sintetizadas usando los extractos obtenidos a partir de *Brickellia Cavanillesii*, se llevó a cabo aprovechando las propiedades reductoras (atribuidas a los compuestos con grupos OH presentes en

metabolitos como flavonoides y polifenoles) del extracto obtenido. Este extracto reductor fue adicionado a la solución áurica que se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Solución áurica obtenida.

Se mezclaron 0.5ml de extracto etanólico aforado a 25 ml de agua destilada para adicionar 3 ml de 1.0 mM de solución de HAuCl_4 , la mezcla con el reductor, inicialmente fue puesta en reflujo a diferentes temperaturas (25-65 °C). Una vez estabilizada la temperatura se adicionó la solución áurica resultando la reducción de Au^{+3} a Au^0 . Se tomaron alícuotas a diferentes tiempos para su análisis correspondiente. Los metabolitos que se encuentran presentes en la solución reductora (azúcares, aminoácidos, fenoles, saponinas y terpenoides) [18, 24], permiten la reducción de los iones Au^{+3} . Inicialmente la síntesis de Np's de oro se manifiesta mediante el cambio de coloración de la solución, la cual vira súbitamente de color amarillo a violeta, a los pocos segundos de entrar en contacto los reactantes entre sí. Éste cambio nos indica una reducción rápida de los iones Au^{+3} a su forma metálica elemental Au^0 , generando probables sitios de nucleación con su posterior proceso de crecimiento para formar las nanopartículas de oro (AuNp's) (Figura 8).

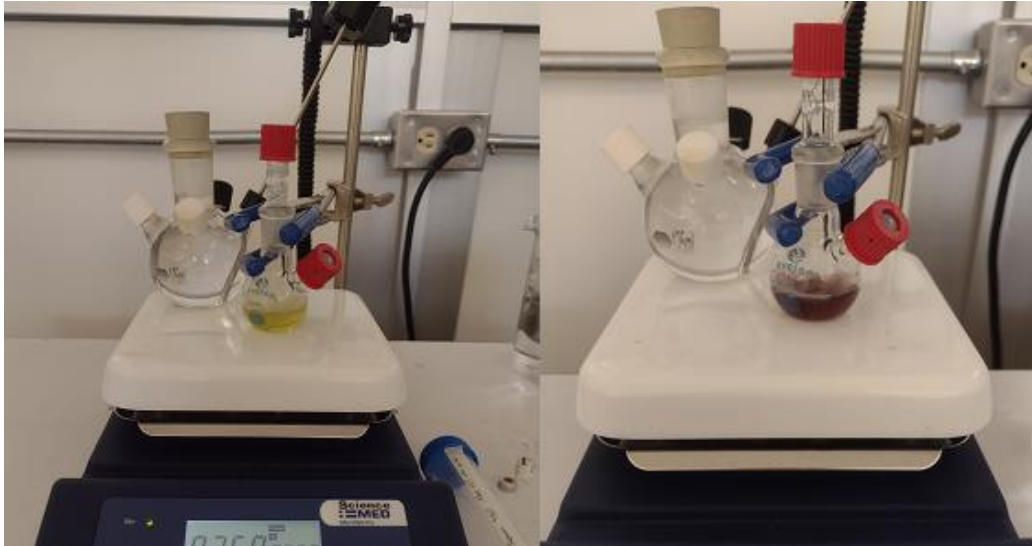


Figura 7. Síntesis de nanopartículas. A) Tiempo cero, B) 10 Minutos (Au NP's sintetizadas a 25 °C)

En la Figura 8 se muestra la síntesis de AuNP's sintetizadas a diferentes temperaturas, 25°C, 45°C y 65°C, presentando cambio de tonalidad de pasar del amarillo claro al rojo violeta en tiempos similares, se observa que a mayor temperatura el vire fue más rápido, lo que implica una reducción más rápida a las mismas condiciones de síntesis.

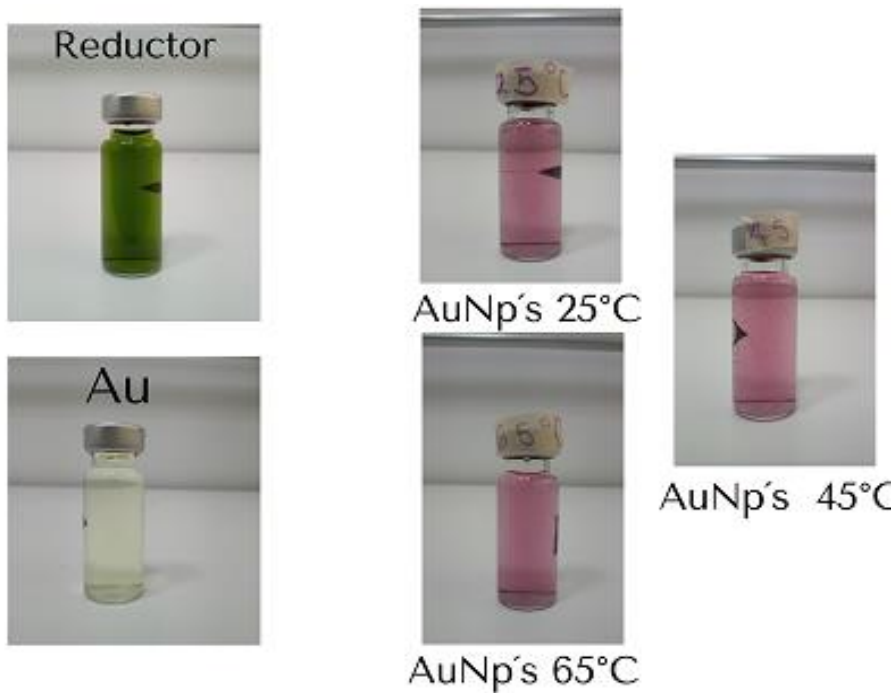


Figura 8. Síntesis de AuNP's a diferentes temperaturas.



Figura 9. Síntesis de nanopartículas de Au a diferentes volúmenes a 45 °C.

De igual manera se sintetizaron las AuNP's fueron sintetizadas a diferentes volúmenes a 45 °C, obteniéndose el cambio de coloración a similares tiempos independientemente del volumen de síntesis, como se muestra en la Figura 9.

Capítulo 4. Resultados y discusiones

4.1 Análisis por espectroscopia de UV-Vis de las nanopartículas de Au.

El seguimiento detallado de la reacción lo realizamos mediante la técnica de espectrofotometría UV-Vis que nos permite identificar la curva correspondiente a la resonancia del plasmón superficial (RPS) AuNp's a una longitud de onda de 540 nm [50], confirmándonos la presencia de estas nanoestructuras. Para este fin, el procedimiento lo realizamos extrayendo muestras de 1 mL a partir de la reacción, las cuales son aforadas a un volumen de 10 mL, deteniendo la reacción mediante un baño de agua fría inmediatamente, estas muestras extraídas fueron finalmente analizadas en el espectrofotómetro UV-Vis para proceder a graficarlas en su conjunto.

Se realizaron la síntesis de nanopartículas a diferentes temperaturas desde 25°C hasta 65°C, observándose la aparición de una banda cercana a los 540 nm, referidos al plasmón superficial de las nanopartículas de Au. Evidenciado por el cambio de tonalidad en la solución al pasar de un color verde a un color rojizo característico de las AuNp's menores de 20 nM.

La Figura 10 muestra las gráficas de espectroscopia de Uv-Vis correspondiente a las diferentes temperaturas de síntesis observándose un incremento de su intensidad a medida que se incrementa la temperatura de síntesis indicando una mayor densidad de Np's obtenidas.

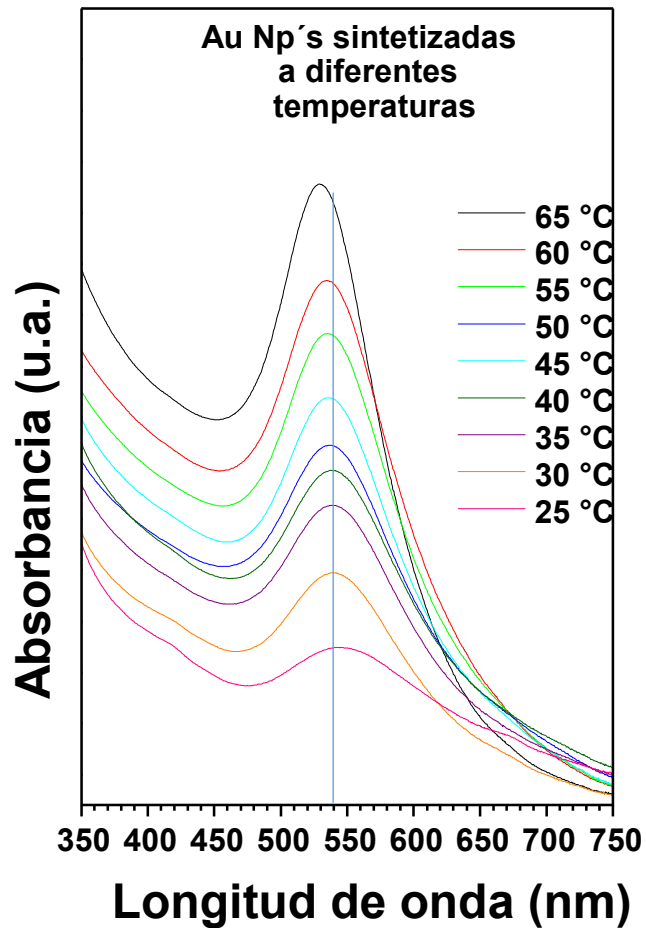


Figura 10. UV-Vis, AuNP's sintetizadas a diferentes temperaturas.

La Figura 11, muestra los espectros correspondientes a las muestras sintetizadas a 25 °C y a diferentes tiempos de síntesis, observándose una grafica con mayor absorción en función directa con el incremento de la densidad de partículas.

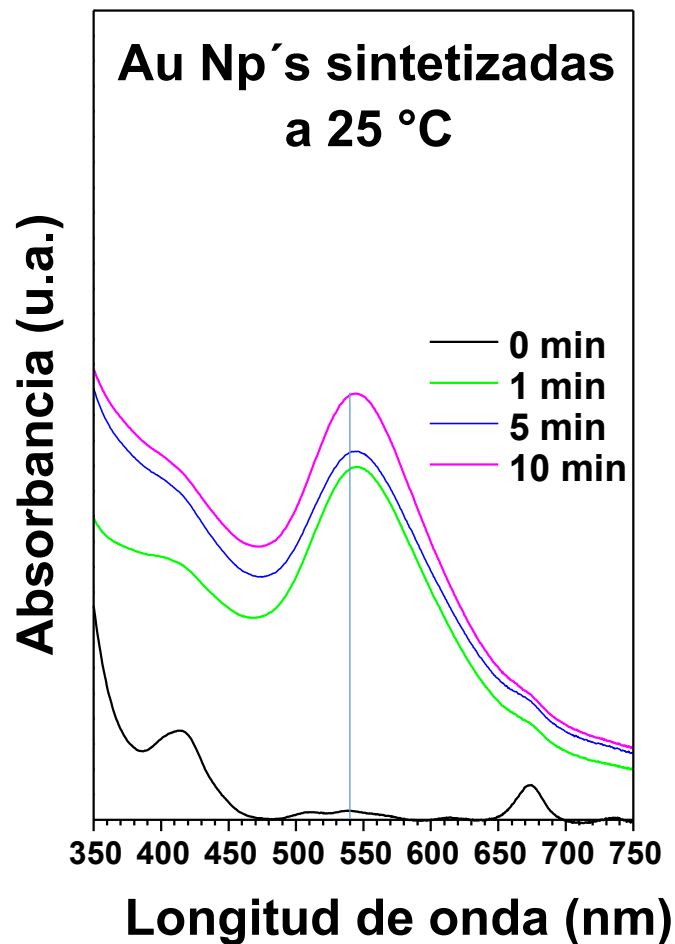


Figura 11. UV-Vis, AuNp's sintetizadas a 25 °C con diferentes tiempos de síntesis.

En la Figura 12, se muestra los espectros correspondientes a diferentes volúmenes de muestra después de 3 minutos de síntesis, observándose una mayor intensidad en la banda correspondiente al incremento del plasmón superficial de las AuNp's, además de un pequeño corrimiento en la banda hacia menores longitudes de onda señal de que los tamaños variaron como ha sido validado por diferentes autores.

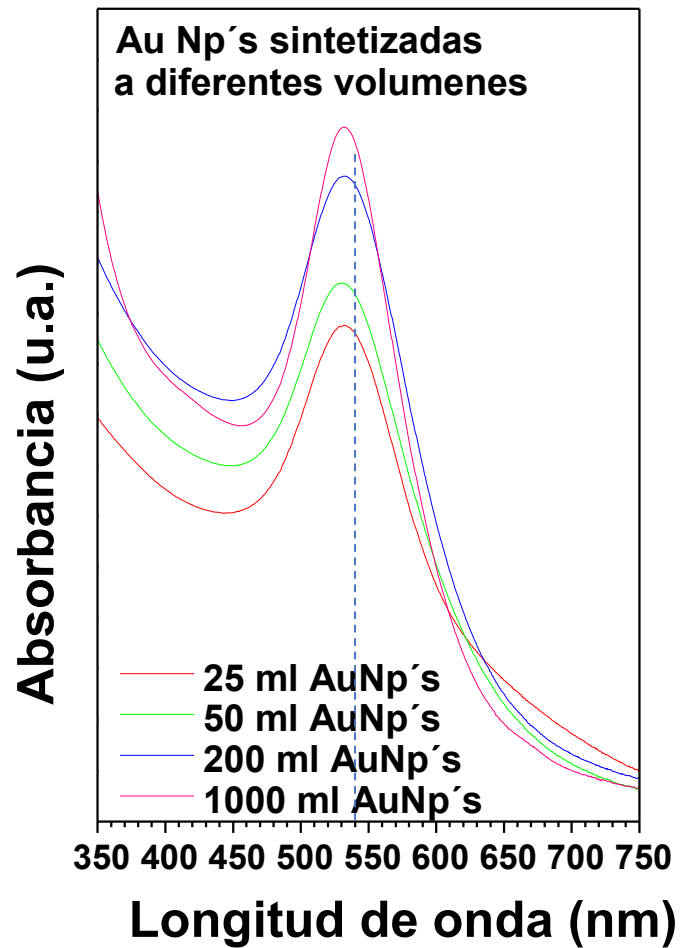


Figura 12. UV-Vis, AuNP's sintetizadas a 25 °C con diferentes volúmenes de síntesis.

En la Figura 13, se muestran los espectros correspondientes a la muestra sintetizada a 45 °C, después de 4 meses y después de 8 meses, se puede observar una similitud en la gráfica lo que es señal de la estabilidad de las muestras sintetizadas.

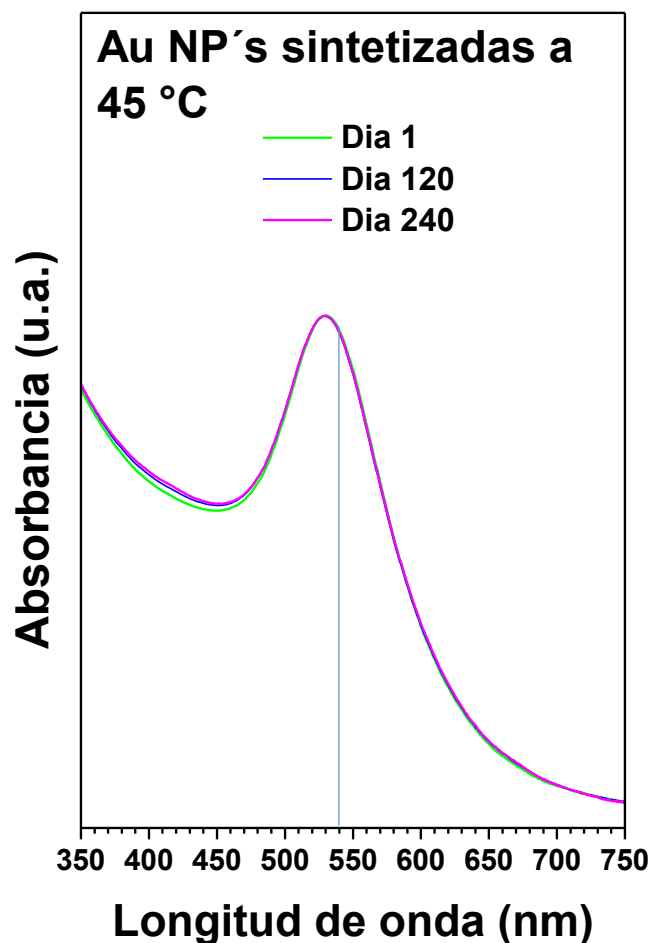


Figura 13. UV-Vis, AuNP's sintetizadas a 45 °C y su estabilidad al paso del tiempo.

4.2 Difracción electrónica de Rayos X de las nanopartículas de Au.

Para el análisis de difracción electrónica de rayos X; Se procedió a centrifugar 5 ml extraídos de una reacción de 3 minutos de síntesis a las temperaturas de 25 °C, 45 °C y 65 °C, para formar un pellet y secarlo, esta muestra bajo el análisis de difracción de rayos X (XRD) nos proporcionó el difractograma correspondiente, señalando la presencia de estructuras cristalinas de oro metálico con la configuración cúbica centrada en las caras (FCC) lo cual se hace evidente al observar en este difractograma las señales correspondientes a los planos [111], [200], [220], [311] y [222], denotando ángulos 2θ de 38.201°, 44.401°, 64.601°, 77.598° y 81.756°, según la carta cristalográfica Au (JCPDS

001-2616) (Figura14). Los resultados muestran una mayor cristalinidad conforme la temperatura de síntesis se ve incrementada.

Los análisis efectuados tanto por espectroscopia de UV-Vis y difracción de electrones de rayos X, muestran la reducción de los iones de Au.

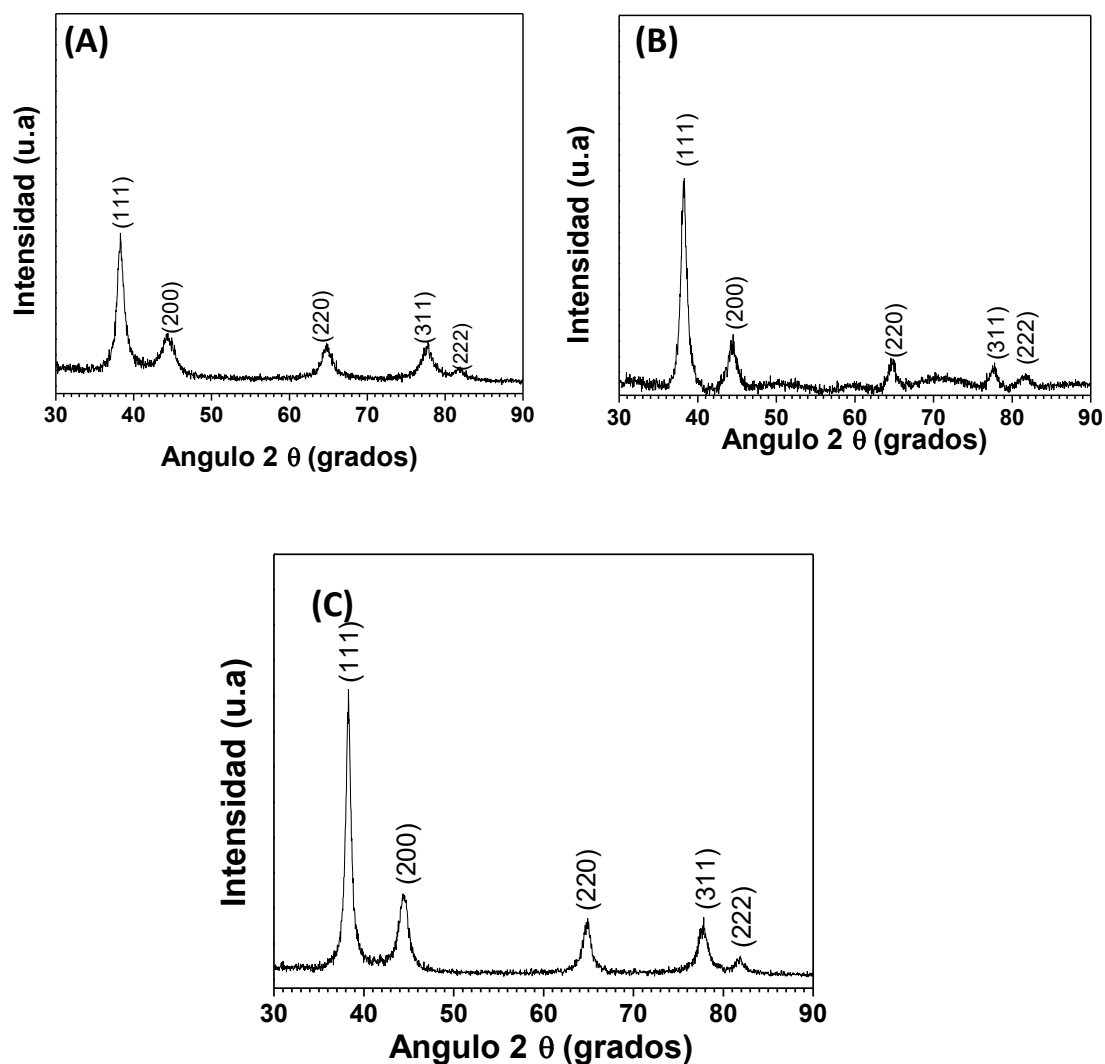


Figura 14. Análisis de difracción de rayos X a diferentes temperaturas de síntesis, A) 25 °C, B) 45 °C, C) 65 °C.

4.3 Microscopía electrónica de barrido por electrones secundarios (SEM).

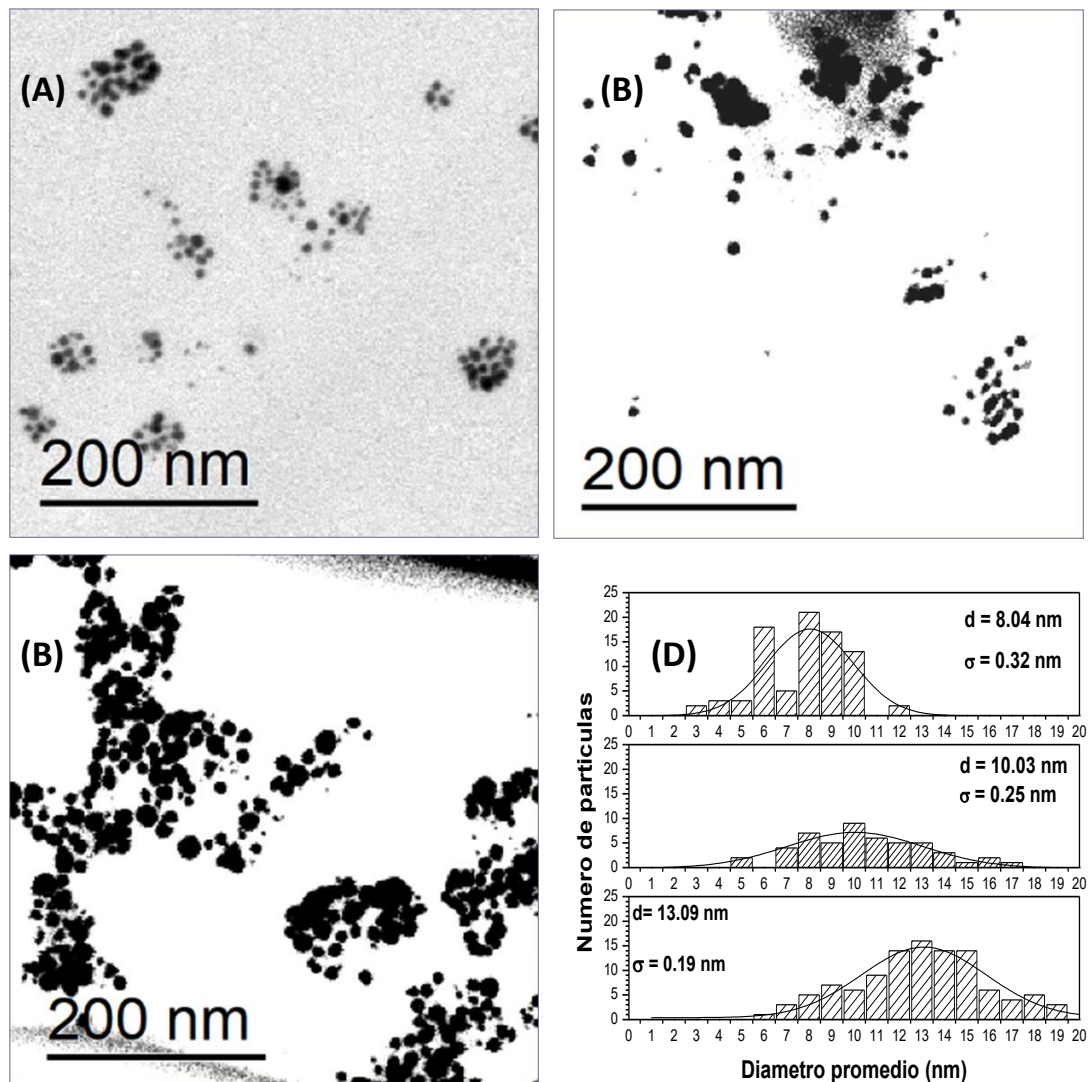


Figura 15. Micrografías tomadas de las muestras de nanopartículas sintetizadas a diferentes temperaturas utilizando Microscopía electrónica de barrido por electrones secundarios (SEM-LEI)

A) Nanopartículas de Au sintetizadas a 25 °C,

B) Nanopartículas de Au sintetizadas a 45 °C,

C) Nanopartículas de Au sintetizadas a 65 °C y

D) tamaño promedio de partícula determinado a partir de las micrografías respectivas.

En la Figura 15 se presentan las microfotografías de SEM para las muestras sintetizadas por 10 minutos y a) Sintetizadas a 25 °C, b) sintetizadas a 45 °C y

c) sintetizadas a 65 °C, podemos observar en las diferentes imágenes las nanopartículas de Au representadas por los puntos negros, y el tamaño del radio promedio de partícula determinado a partir del software, muestra un crecimiento conforme se va incrementando la temperatura de síntesis, presentado un tamaño de 8.04 nm para las muestras sintetizadas a 25 °C, este tamaño se incrementa a 10.03 nm cuando la temperatura de síntesis se incrementa a 45 °C para finalmente las muestras sintetizadas a 65 °C presentan un tamaño promedio de 13.09 nm. Este crecimiento es señal de que la energía suministrada esta relacionado con la velocidad de nucleación y crecimiento de las nanopartículas sintetizadas.

4.4 Actividad foto catalítica de las nanopartículas de Au, en la foto conversión de CO₂ hacia otros productos

Las Np's obtenidas fueron soportadas sobre el soporte de TiO₂, para mostrar si es que funcionan sinérgicamente e incrementan la actividad del semiconductor o no. La impregnación fue hecha para lograr 0.5 % en peso del nanopartículas. Las AuNp's y el TiO₂ fueron adicionadas en 100 mL de metanol y mezclados en un matraz de destilación dejándolo en un sistema de ultrasonido por una hora para posteriormente destilar la solución en el rotavapor por un promedio de 12 horas una vez seco el material ya se tiene listo el catalizador para probarlo en las reacciones seleccionadas.

La foto conversión de CO₂ se realizó a baja presión en un reactor Bach usando una celda de irradiación interna, se purgo con CO₂, para posteriormente burbujear 200 ml de agua destilada con CO₂ durante 60 minutos. Para posteriormente agregar 25 mg de material semiconductor se dispersó usando agitación vigorosa; y simultáneamente un sistema de enfriamiento se encendió para asegurar que la temperatura del agua fuera mantenido a 25 ° C durante la

prueba. El reactor es de vidrio (5,5 cm de diámetro y 200 mL de volumen solución), con un tubo de cuarzo concéntrico que contiene una alta presión Lámpara de Hg Pen-Ray ($\lambda = 254 \text{ nm}$, $2,2 \text{ mW cm}^{-2}$) utilizada como fuente de luz.

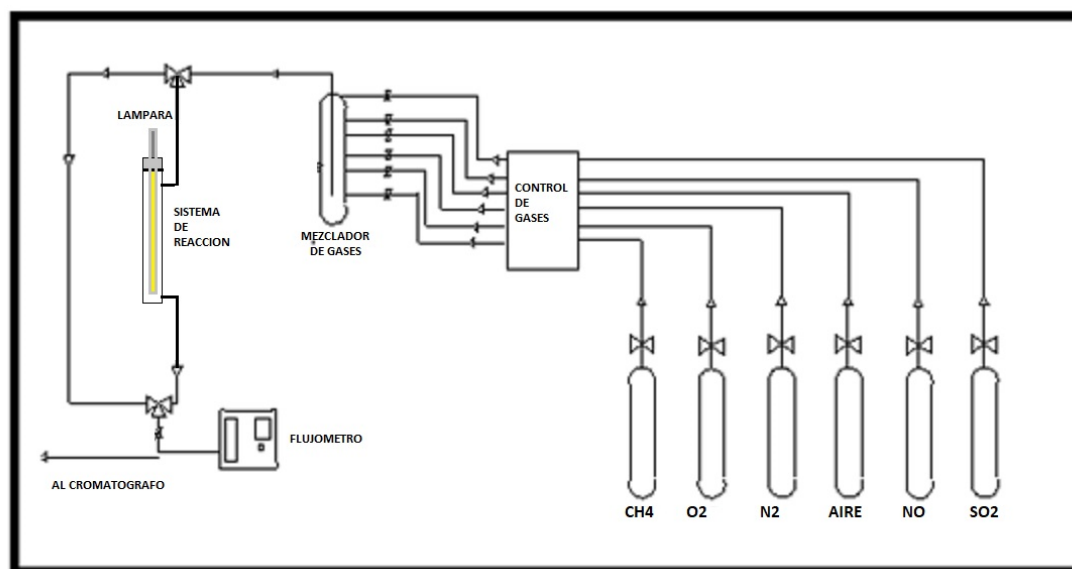


Figura 16. Sistema de reacción.

Los productos de solución fueron analizados cualitativamente en un cromatógrafo Perkin Elmer clarus 680 donde se determinó la producción de los productos resultantes.

Obteniéndose los siguientes resultados.

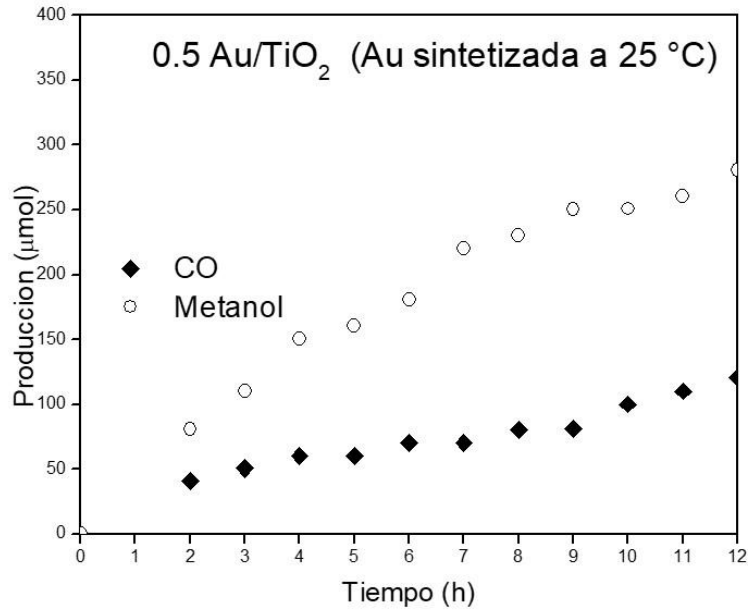


Figura 17. Foto conversión de CO₂ hacia otros productos.

Los resultados de la Figura 17 y 18 muestran una alta selectividad a metanol de las tres muestras probadas, donde las partículas sintetizadas a menor temperatura que implica que a menor tamaño de la partícula tenemos una mejor actividad del fotocatalizador porque se incrementan la cantidad de sitios activos.

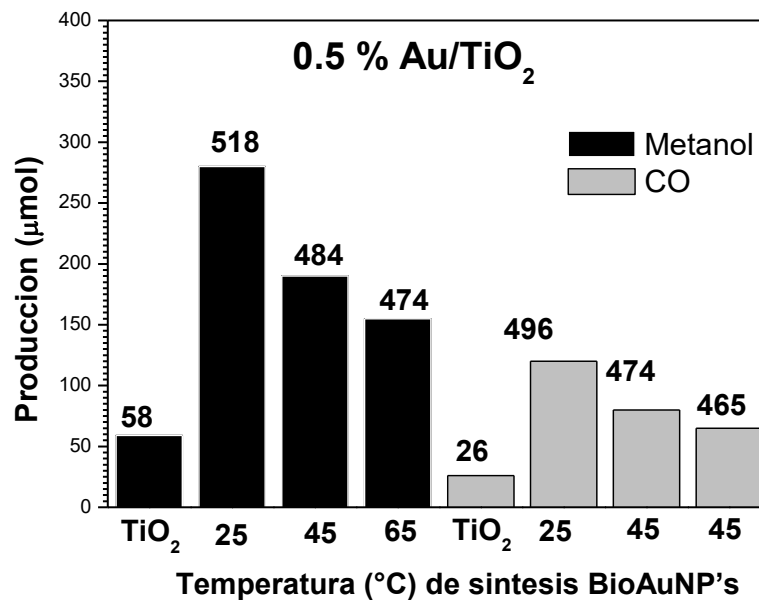


Figura 18. Foto conversión de CO₂ hacia otros productos de los materiales impregnados.

Capítulo 5. Conclusiones

En el desarrollo de la presente tesis, se exploró el potencial de los extractos etanólicos de la planta *Brickellia Cavanillesii* para la reducción a bajas temperaturas de iones de Au a partir de una solución de ácido cloroaurico (HAuCl_4), a baja temperatura de una manera limpia y rápida. Los resultados obtenidos nos demostraron una fuerte capacidad reductora del extracto obtenido presentando morfologías esféricas, con una fuerte cristalinidad desde las muestras sintetizadas a 25 °C, esta cristalinidad se incrementa conforme se incrementa la temperatura de síntesis de igual manera se incrementa el tamaño promedio obtenido. Los resultados muestran una fuerte estabilidad al paso del tiempo lo que permitirá diferentes aplicaciones en un futuro. Por otra parte, se requiere cantidades pequeñas del reductor obtenido lo que se traduce en una fuerte capacidad reductora. Con base en lo anterior podemos afirmar que se logró el objetivo de sintetizar nanopartículas metálicas de Oro de una manera limpia, rápida, efectiva y a baja temperatura.

Bibliografía

- [1] Daniel, M.-C., & Astruc, D. (2004). Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications Toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology. *ChemInform*, 35(16). doi:10.1002/chin.200416213
- [2] Debjani Nath, Pratyusha Banerjee. Green nanotechnology-A new hope for medical biology. ELSEVIER. 2013. ISSN: 997-1014
- [3] Evaluación biológica de extractos orgánicos polares de *Agave angustifolia*
- [4] Romero-Cerecero O et al. Uso de plantas medicinales en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 en Morelos. *BLACPMA* 2009; 5: 380 – 388
- [5] Rani, M. P.; Padmakumari, K. P.; Sankarikutty, B.; Cherian, O. L.; Nisha, V. M.; Raghu, K. G. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2011, 62, 106– 110.
- [6] Efectos antibacterianos de las nanopartículas de cobre biosintetizadas utilizando pigmento de ciruela roja (*Pronus domestica*). Tovar-Corona, A., y otros. 2014, *Rev. Latinoamer. Quim.*, Vol. 42, pág. 93. ISSN: 0370-5943.
- [7] Perkampus, H.H., Introduction. In: *UV-VIS Spectroscopy and Its Applications*. (Springer Lab Manuals, Berlin, 1992)
- [8] E. Guitierrez Claudia. Las nanopartículas: pequeñas estructuras con gran potencial ¿Por qué el interés en estos materiales? ¿Qué aplicaciones tienen? ca. 2001.

- [9] Huo, Q. (2007). A perspective on bioconjugated nanoparticles and quantum dots. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(1), 1-10. [87]
- Selvan, S. T., Tan, T. T. Y., Yi, D. K., & Jana, N. R. (2009). Functional and multifunctional nanoparticles for bioimaging and biosensing. *Langmuir*, 26(14), 11631- 11641.
- [10] Universitat d'Alacant. <http://rua.ua.es/dspace/>. Nanomateriales para aplicaciones avanzadas. [En línea] 2006-2007. [Citado el: 24 de Mayo de 2014.] http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3857/1/paper_jgarcia.pdf.
- [11] He, S., Guo, Z., Zhang, Y., Zhang, S., Wang, J., & Gu, N. (2007). Biosynthesis of gold nanoparticles using the bacteria *Rhodopseudomonas capsulata*. *Materials Letters*, 61(18), 3984-3987.
- [12] Rai, M., & Duran, N. (Eds.). (2011). *Metal nanoparticles in microbiology*. Springer Science & Business Media.
- [13] Díaz del Castillo R. Felipe. *Introducción a los nanomateriales*. Laboratorio de Tecnología de Materiales. Cuautitlán (UNAM). 2012.
- [14] Rolnik, A.; Olas, B. *Las Plantas de la familia Asteráceas como agente de protección de la salud humana*
- [15] Das M., Shim K. H., Soo S. A., & Kee D. Y., (2011), *Toxicology and Environmental Health Sciences*, Vol. 3(4).
- [16] American Institute for Cancer Research(1996). *Dietary phytochemicals in cancer prevention and treatment*. Proceedings of the American Institute for Cancer Research 's Sixth Annual Research Conference. Washington, D.C., Aug. 31- Sep. 1, 1995. *Adv. Exp. Med. Biol.*, vol.401. Plenum Publishing Corp., New York, NY.

- [17] Alimentos funcionales o fitoquímicos, clasificación e importancia. Chasquibol, N., y otros. 2, 2003, Rev. Per. Quím. Ing. Quím., Vol. 5, págs. 9-20.
- [18] McMurry John. Química verde. En. Cengage Learning [et al.]. Química Orgánica. México, D.F. 8ª ed, ISBN: 978-0-8400-5444-9. p. 400-420.
- [19] Some interesting properties of metals confined in time and nanometer space of different shapes. El-Sayed, M-A. 2001, Acc. Chem. Res, Vol. 34, págs. 257-264.
- [20] Owen, T., Fundamentals of UV-Visible Spectroscopy: A Primer. (Agilent Technologies, Germany, 2000)
- [21] Daniel A. Cruz, Miriam C. Rodríguez, Juan M. López, Virginia M. Herrera, Alejandro G. Orive, Alberto H. Creus. Nanopartículas metálicas y plasmones de superficie: una relación profunda. Avances en Ciencias e Ingeniería. 2012-. ISSN: 0718-8706.
- [22] "La espectroscopia UV-Vis en la evaluación de la viabilidad de células de cáncer de mama", Latin-Amer. J. Phys. Educ., vol. 16, n.º 4, mayo de 2018.
- [23] Mitchell, D. R. G., Ball, C. J. A Quantitative X-ray Diffraction and Analytical Electron Microscopy Study of Serviceexposed 2.25Cr-1Mo Steels Materials Characterization 47 2001: pp. 17 – 26.
- [24] L. Zhu, K: S. Liang, B. Zhang, J. S. Bradley and A. E. Depristo, (1998). J. Catal., 167, 412

- [25] Cullity BD, Stock SR. Elements of X-ray Diffraction, Third Edition. New York: Prentice-Hall, 2001.
- [26] B. D. Cullity, Elements of X-Ray Diffraction, Second Edition, Addison Wesley, p 99- 102.
- [27] Bowen P. Particle size distribution measurement from millimeters to nanometers and from rods to platelets. J Dispers Sci Technol 2002;23:631–62.
- [28] José Luis Ortiz. Nanotecnología, proponen nuevo método para la caracterización de metales. [en línea], 2013. [Consulta 29-01-2016]. Disponible en:<[http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/snc/portal+informativo/opinion+y+analisis/firmas/dr.+jose+luis+ortiz+rosales/op\(17dic13\)joseluisortiz](http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/snc/portal+informativo/opinion+y+analisis/firmas/dr.+jose+luis+ortiz+rosales/op(17dic13)joseluisortiz)>
- [29] Timp, G. (1999) (Ed.). Nanotechnology, USA, 90-10
- [30] IBERO. Ramirez M. Esther, Para qué sirven las nanopartículas metálicas (en línea). Solis D. Juan José, 2014, [consulta: 18-01-2016].
- [31] Watt, I.M. (1985) The principles and practice of electron microscopy, New York, Cambridge University Press, 18 20-23. <https://books.google.com.ec/books?id=qIVpQgAACAAJ>
- [32] Australian Microscopy and Microanalysis Research Facility, “My Scope-training for advanced research” <http://www.ammrf.org.au/myscope/sem/background/> Accessed online on 3-5-2018.

- [33] Elia, P., Zach, R., Hazan, S., Kolusheva, S., Porat, Z. E., & Zeiri, Y. (2014). Green synthesis of gold nanoparticles using plant extracts as reducing agents. *International journal of nanomedicine*, 9, 4007.
- [34] Mondal, S., Roy, N., Laskar, R. A., Sk, I., Basu, S., Mandal, D., & Begum, N. A. (2011). Biogenic synthesis of Ag, Au and bimetallic Au/Ag alloy nanoparticles using aqueous extract of mahogany (*Swietenia mahogani* JACQ.) leaves. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 82(2), 497-504.
- [35] Shekhar Agnihotri, Soumyo Mukherji, Suparna Mukherji. Immobilized silver nanoparticles enhance contact killing and show highest efficacy: elucidation of the mechanism of bactericidal action of silver. *Nanoscale*, 2013, 5, 7328.
- [36] Angshuman pal, Sunil Shah, Surekha Devi. Microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles using ethanol as a reducing. *Materials Chemistry and Physics*, 114 (2-3), 530-532. 2009.
- [37] Aceptación de los fitofármacos por médicos y pacientes en clínicas de atención primaria. Romero, O., y otros. 2, México : s.n., Marzo-Abril de 2004, *Revista Médica del IMSS*, Vol. 42, págs. 125-130.
- [38] Evaluación del efecto antioxidante y quimioprotector de extractos fenólicos de semillas de manzana. González-Laredo, R.F., y otros. 1, Durango : s.n., EneroMarzo de 2007, *Grasas y Aceites*, Vol. 58, págs. 5-9.
- [39] Pardo, J. <http://www.ub.edu/>. Patentabilidad de los extractos vegetales. (En línea) Mayo de 2002. [Citado el: 12 de Junio de

2014.]http://www.ub.edu/centrepatents/pdf/doc_dilluns_CP/pardo_patenesextractosplantas.pdf.

- [40] Chávez, A. <http://www.mag.go.cr/>. Extractos vegetales con efecto fungicida, insecticida o nematocida. [En línea] 21 de Mayo de 2014. [Citado el: 13 de Agosto de 2014.] <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00146.pdf>.
- [41] Achika, J.; Arturo, D.; Gerardo, I.; Adedayo, A. Una revisión de los fitoconstituyentes y las propiedades medicinales relacionadas de las plantas de la familia Asteraceae. *IOSR J. Appl. química* 2014,7, 1–8.
- [42] Munim, A.; Varilla, MR; Tavakoli, H.; Hosseinian, F. Un análisis de la composición, los beneficios para la salud y el potencial de mercado futuro de la alcachofa de Jerusalén en Canadá. *J. Alimentos Res.* 2017,6, 69.
- [43] Koc, S.; Isgor, BS; Isgor, YG; Shomali Moghaddam, N.; Yildirim, O. El valor medicinal potencial de las plantas de la familia Asteraceae con enzimas de defensa antioxidante como objetivos biológicos. *Farmacía Biol.* 2015,53, 746–751.
- [44] Monroy-Ortiz C, Castillo-España P. *Plantas Medicinales utilizadas en el estado de Morelos*. Cuernavaca, Morelos: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2007.
- [45] Inhibidores de la α -glucosidasa de *Brickellia cavanillesii*. Sonia Escandón-Rivera, Martín González-Andrade, Robert Bye, Edelmira Linares, Andrés Navarrete, and Rachel Mata. *Revista de Productos Naturales* 2012 75 (5), 968-974 DOI: 10.1021/np300204p

- [46] Y. Zhang, W. Chu, AD Foroushani, H. Wang, D. Li, J. Liu, CJ Barrow, X. Wang, W. Yang, Nuevas nanoestructuras de oro para aplicaciones de sensores: una revisión, *Materials* 7 (2014) 5169–5201.
- [47] Y. Zhou, C. Wang, Y. Zhu, Z. Chen, Una nueva técnica de irradiación ultravioleta para la síntesis controlada por forma de nanopartículas de oro a temperatura ambiente, *Chem. Mate.* 11 (1999) 2310–2312.
- [48] Deline, AR, Young, WM, Nason, JA, 2018. Nanopartículas de TiO₂ marcadas con núcleo de oro para seguimiento del comportamiento en matrices complejas: síntesis, caracterización y demostración. *Reinar. Ciencia: Nano* 5 (4), 956–968.
- [49] B. Paul, B. Bhuyan, DD Purkayastha, S. Vadivel y S.S. Dhar (2016). Síntesis verde en un solo recipiente de nanopartículas de oro y estudios de sus actividades anticoagulantes y fotocatalíticas. *Mate. Letón.* 185, 143–147.
- [49] Haiss W., Thanh N. T. K., Aveyard J. & Ferning D. G. (2007), Determination of size and concentration of Gold nanoparticles from UV-Vis spectra. *Analytical Chemistry*, Vol. 79, No. 11, 4215-4221.