

Biosíntesis de nanopartículas de oro usando un extracto acuoso de residuos de café (*Coffea arabica*) de Tochimilco, Puebla

Biosynthesis of gold nanoparticles using an aqueous extract of *Coffea arabica* residues from Tochimilco, Puebla

Samuel Gil-Mota , Ma. Elena Ramos-Casselis , Manuel Sánchez-Cantú , Nancy Tepale 

¹ Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

ABSTRACT

The biosynthesis of gold nanoparticles (AuNPs) from agro-industrial waste emerges as an eco-friendly and high-value strategy, employing natural compounds to generate advanced materials with significant potential. In this work, AuNPs were synthesized using tetrachloroauric (III) acid trihydrate ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) as the precursor agent at concentrations of 0.5, 1, and 2 mM. An aqueous extract of *Coffea arabica* residues (outer skin, pulp, and parchment) from Tochimilco, Puebla, was employed as the reducing agent. All reactions were carried out at 25 °C. The characterization of the AuNPs was carried out using UV-Visible spectroscopy. In the spectra, an absorption band between 510 and 570 nm was observed, revealing the formation of nanoparticles (NPs). Dynamic Light Scattering (DLS) was used to determine particle size distribution, reporting sizes between 5 and 10 nm. In addition, the presence of phenolic compounds and their effect on antioxidant activity of the aqueous extract and AuNPs was tested. Regarding the antioxidant activity, the coffee residue extract presented an inhibition percentage of 69.7 ± 2.0 %; however, the AuNPs significantly decreased to 5.9 ± 1.5 %. This behavior suggests that phenolic compounds were consumed during the reaction.

Keywords: Gold nanoparticles, biosynthesis, residues, *Coffea arabica*, antioxidants, phenols.

RESUMEN

La biosíntesis de nanopartículas de oro (AuNPs) a partir de residuos agroindustriales surge como una estrategia ecoamigable y de alto valor, ya que aprovecha compuestos naturales para generar materiales avanzados con gran potencial. En este trabajo se sintetizaron AuNPs usando ácido tetracloroáurico trihidratado ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) como agente precursor a diferentes concentraciones (0.5, 1 y 2 mM), y como agente reductor fue empleado el extracto acuoso de residuos (cáscara, pulpa y pergamino) de café (*Coffea arabica*) proveniente de Tochimilco, Puebla. Todas las reacciones se llevaron a 25 °C. La caracterización de las AuNPs se llevó a cabo usando espectroscopia UV-Visible. En los espectros se observó una banda de absorción localizada entre 510 y 570 nm, revelando la formación de las nanopartículas (NPs). Para determinar la distribución de tamaño de partícula se utilizó la técnica de dispersión de luz dinámica (DLS), la cual reportó tamaños entre 5 y 10 nm. Adicionalmente, se comprobó la presencia de

compuestos fenólicos y su efecto en la actividad antioxidante, tanto del extracto acuoso de los residuos de café como de las AuNPs. Con respecto a la actividad antioxidante, el extracto de los residuos de café presentó un porcentaje de inhibición de 69.7 ± 2.0 %; sin embargo, las AuNPs disminuyeron hasta 5.9 ± 1.5 %. Este comportamiento sugiere que durante la reacción se consumieron los compuestos fenólicos presentes en el extracto.

Palabras clave: Nanopartículas de oro, biosíntesis, residuos, *Coffea arabica*, antioxidantes, fenoles.

INTRODUCCIÓN

Las AuNPs son nanomateriales relevantes gracias a las propiedades fisicoquímicas que adquieren debido a su tamaño. En este sentido, la relación que existe entre su área superficial y volumen es una de las principales razones en el aumento de su reactividad y cambio de propiedades magnéticas, ópticas y eléctricas. Estas propiedades han impulsado su uso en diversas áreas como en la medicina, electrónica, mecánica, óptica, aeroespacial, textil, etc. (Hosne Asif y Hasan, 2018; Subhan *et al.*, 2021).

La síntesis química de nanomateriales emplea compuestos inorgánicos u orgánicos que suelen ser clasificados como peligrosos y tóxicos, provocando que la elaboración de estos materiales sea perjudicial para el medio ambiente (Reverberi *et al.*, 2017). Por ende, la búsqueda de un proceso amigable con el medio ambiente, además de económico y eficiente, conlleva a los métodos de síntesis verde. Estos métodos se basan en la reducción de iones metálicos empleando recursos naturales que contienen un alto poder antioxidante (Mondal *et al.*, 2020). En especial, los extractos de plantas (raíces, tallos, hojas, semillas, frutos) han demostrado su eficacia como agentes reductores en la síntesis de AuNPs debido a la presencia de compuestos bioactivos como carbohidratos, alcoholes, compuestos fenólicos, alcaloides, flavonoides, terpenoides y proteínas (Akintelu *et al.*, 2021; Nuñez-Delgado *et al.*, 2023).

Keijok *et al.* (2019) usaron el extracto de granos de café, específicamente de la especie *Coffea arabica*, para elaborar AuNPs. Mediante la caracterización por espectroscopia UV-Visible, reportaron la presencia de una banda de absorción máxima entre 533 y 556 nm, relacionada con la formación de las NPs. Mediante Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) observaron NPs cuasi esféricas con un tamaño de 14

*Autor para correspondencia: Nancy Tepale

Correo-e: nancy.tepale@correo.buap.mx

Recibido: 24 de julio de 2024

Aceptado: 5 de febrero de 2026

Publicado: 25 de marzo de 2026

± 3 nm. Los autores también analizaron la distribución de tamaño de partícula a través de la técnica DLS reportando un tamaño de 500 nm. Adicionalmente, Abbasian y Jafarizadeh (2020), usaron el extracto de granos de café para la elaboración de AuNPs. A través de espectroscopia UV-Visible, estos autores observaron una banda de absorción máxima en 561 nm, y mediante TEM determinaron un tamaño de 300 nm. Finalmente, los investigadores midieron la actividad antioxidante con el método DPPH, observando un porcentaje de inhibición de 9.1%, señalando una baja actividad antioxidante. Cabe recalcar que ambos estudios se centraron en el grano de café, dejando de lado la mayor parte del fruto, la cual está compuesta por material orgánico valioso que permanece subutilizado en la investigación y la industria.

Por lo anterior, tanto las propiedades antioxidantes del fruto del café como su potencial uso en procesos verdes de síntesis de materiales han despertado interés en investigadores que buscan aprovechar al máximo las virtudes de esta baya. En México, el cultivo de café se lleva a cabo a gran escala. El café se produce en 14 estados de la República; no obstante, el 90% de la producción se concentra en Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca (Sagarpa, 2020). Durante el proceso de obtención de café se generan una serie de subproductos o residuos, que en muchas ocasiones son subutilizados, lo que potencialmente los convierte en elementos de interés para la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Chaves-Ulate y Esquivel-Rodríguez, 2019). Sin embargo, la generación excesiva de residuos de este producto presentan problemáticas ambientales (González-Vázquez *et al.*, 2023). La cáscara y la pulpa son residuos que se generan en volúmenes significativos (Terán-Rivera *et al.*, 2023).

Chaves-Ulate y Esquivel-Rodríguez (2019) recopilaron y analizaron información sobre la actividad antioxidante en residuos de café (cáscara, pulpa, piel). Las investigadoras destacan que los residuos contienen alta concentración de compuestos fenólicos, siendo los ácidos clorogénicos el componente principal (42 % del total), además de taninos condensados y diferentes tipos de antocianinas. Estos compuestos dotan a los residuos de café de una fuerte actividad antioxidante, abriendo la posibilidad de actuar como agente reductor en la síntesis de nanopartículas metálicas.

Bonilla-Nepomuceno *et al.* (2021) utilizaron extracto de pulpa de café como agente reductor en la elaboración de AuNPs (la síntesis se llevó a cabo a 85 °C durante 1 h). A través de espectroscopia UV-Visible los autores observaron una banda de absorción en 520 nm, y al aumentar la cantidad del precursor de oro se incrementó la absorbancia, sugiriendo un aumento en la producción de NPs. El tamaño promedio de las NPs oscilaba entre 5 y 22 nm. Cabe señalar que otros autores reportan la síntesis de AuNPs bajo condiciones que involucran un calentamiento considerable (Chen *et al.*, 2020; Alhumaydhi, 2022; Barnawi *et al.*, 2022). Estos métodos implican un alto consumo de energía, comprometiendo la sostenibilidad del proceso.

En el presente trabajo se sintetizaron AuNPs usando como agente reductor un extracto de residuos (combinación

de cáscara, pulpa y pergamino) de la variedad *Coffea arabica*, procedentes de un proceso de secado para la obtención de un café tipo "honey". Las reacciones se llevaron a cabo a 25 °C durante 4 h. Al realizarse a temperatura ambiente, la síntesis se alineó con la química verde, confirmando la efectividad del proceso bajo condiciones más ecoamigables. Para elucidar la formación de NPs y conocer su distribución de tamaños se emplearon las técnicas espectroscópicas UV-Visible y DLS, respectivamente. Además, se utilizó el método Folin-Ciocalteu para medir la cantidad de compuestos fenólicos existentes en los residuos de café. Por último, se midió la actividad antioxidante de los residuos de café y de las AuNPs, con los métodos DPPH y ABTS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos

Ácido tetracloroáurico (III) $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, pureza del 99.9 % de Sigma-Aldrich. Agua tridestilada proveniente de Hycel de México, S.A. de C.V. Los residuos de café pertenecientes a la especie *Coffea arabica* fueron proporcionados por un productor artesanal de café de la población de Tochmilco, Puebla. Estos fueron deshidratados y molidos, 22 % del residuo presentó un tamaño de partícula mayor a 0.335 mm, 49.5 % entre 0.335 y 0.214 mm; finalmente, el 28.5 % presentó un tamaño menor a 0.214 mm.

Obtención de extracto de residuos de café

El extracto de la especie *Coffea arabica* se obtuvo del residuo (cáscara, pulpa y pergamino) procedente del secado artesanal de café tipo "honey". El fruto del café se secó a la sombra durante 30 días volteándolo una vez al día, hasta obtener una humedad inferior al 10 %; posteriormente, se separó manualmente el residuo del grano, se molió y tamizó a un tamaño de 0.149 mm. A continuación, se mezcló 1 g de café con 100 mL de agua y se calentó hasta llegar a una temperatura de 88 °C durante 15 min (Barnawi *et al.*, 2022; Nuñez-Delgado *et al.*, 2023). Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró el sobrenadante utilizando papel Whatman de 0.2 μm . Finalmente se almacenó a 4 °C para su posterior uso.

Biosíntesis de nanopartículas de oro

La síntesis se llevó a cabo mezclando 5 mL de una solución acuosa de $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ a diferentes concentraciones (0.5, 1 y 2 mM) con 5 mL de la solución acuosa del extracto de los residuos de café, a 25 °C, con agitación constante, durante 4 h. Con base en la evidencia experimental, se ha demostrado que el empleo de bajas concentraciones de oro favorece la formación de AuNPs monodispersas (Rivas-Moreno *et al.*, 2022; Nuñez-Delgado *et al.*, 2023). Con respecto al pH, el extracto presentó un valor de 5.4, el de la solución acuosa de $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ fue de 2.7, mientras que el pH final de la reacción fue de 5.0.

Caracterización de nanopartículas

Las propiedades ópticas de las AuNPs se estudiaron y analizaron mediante espectroscopia UV-Visible, utilizando un

espectrofotómetro GENESYS 10S (Thermo Scientific) a 25°C, empleando una celda de cuarzo con un paso óptico de 1 cm. El diámetro hidrodinámico se midió con un sistema de dispersión dinámica de la luz (DLS; Malvern Zetasizer Nano ZS, Malvern Instruments Worcestershire, UK) equipado con un láser He-Ne ($\lambda = 633$ nm) con 4.0 mW de potencia y modo de retrodispersión. Para estas mediciones, fue necesario diluir la muestra (50 μ L de AuNPs con 1600 μ L de agua tridestilada). Después la muestra se sometió a sonicación durante 5 min para dispersar a las nanopartículas.

Evaluación de compuestos fenólicos totales en extracto de residuo de café

Para llevar a cabo la cuantificación de compuestos fenólicos presentes en los residuos del café se usó el método Folin-Ciocalteu con ligeras modificaciones (Singleton *et al.*, 1999). Se tomaron 50 μ L de extracto de café, se mezclaron con 250 μ L de Folin-Ciocalteu al 50 % (m/v), y la solución se dejó reposar por 8 min. Posteriormente, la mezcla de ambas soluciones se neutralizó con 1250 μ L de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 5 % (m/v). Finalmente, se obtuvo la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 725 nm con un espectrofotómetro UV-Vis Jenway brand, 7305. Se empleó ácido gálico como estándar y los resultados se expresaron en mg ácido gálico/100 g muestra seca (mg de AG/100 g MS) $y=1.9196x+0.1124$; $R^2 = 0.977$

Actividad antioxidante en extracto y nanopartículas de oro

Método DPPH

Para analizar la actividad antioxidante se utilizó el método DPPH con algunas modificaciones (Brand-Williams *et al.*, 1995). El porcentaje de inhibición del extracto se obtuvo mezclando 100 μ L de extracto de los residuos de café con 900 μ L de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) con una concentración de 0.1 mM en metanol. Posteriormente, para obtener el porcentaje de inhibición de las AuNPs se mezclaron 100 μ L de las NPs con 900 μ L de DPPH con una concentración de 0.1 mM en metanol. Ambos procesos se realizaron a temperatura

ambiente por 30 min en ambiente oscuro (Montiel-Martínez *et al.*, 2021). A continuación, se midió la absorbancia de las mezclas a una longitud de onda de 517 nm empleando un espectrofotómetro UV-Vis Jenway brand, 7305. Los resultados se expresaron midiendo la absorbancia al control (metanol) (A_0) y a las muestras (A_1), el cálculo del porcentaje de inhibición se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación (Ecuación 1) (Gomes das Neves *et al.*, 2019).

$$\text{Porcentaje de inhibición (\%)} = \left[\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] * 100 \quad (1)$$

A_0 = Absorbancia del control.

A_1 = Absorbancia de la muestra.

Método ABTS

El método ABTS se utilizó con ligeras modificaciones (Re *et al.*, 1999). Se elaboró una disolución utilizando 5 mL de agua destilada y 0.0033 g de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ más 0.0194 g de reactivo ABTS. Esta disolución se dejó reposar por 16 h en oscuridad y a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo de reposo se mezcló la solución obtenida con etanol puro logrando obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.002 nm a 754 nm. Por otro lado, en un tubo de ensayo se agregaron 80 μ L de solución con AuNPs y 3920 μ L de la solución ABTS/etanol. Finalmente, se midió su absorbancia inicial a 754 nm, se dejó reposar por 7 min y de nuevo se midió la absorbancia a 754 nm. Los resultados fueron expresados como porcentaje de inhibición.

Análisis de datos

Los resultados se realizaron por triplicado y se expresaron como el valor promedio $\pm$ Desviación Estándar, DE. Los datos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de medias por el método de Tukey con un intervalo de confianza de 95%, con el programa Minitab Statística Vs 19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra el espectro UV-Vis de la síntesis de las NPs empleando una solución de oro 0.5 mM. En el gráfico

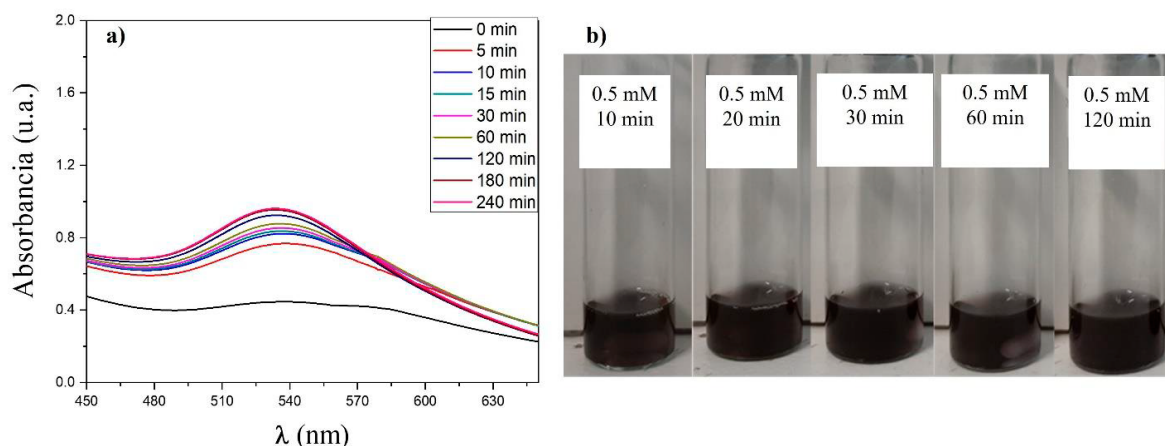


Figura 1. (a) Espectro UV-Vis de las AuNPs sintetizadas con HAuCl_4 0.5mM. (b) Soluciones que contienen AuNPs a diferentes tiempos.

Figure 1. (a) UV-Vis spectrum of the AuNPs synthesized with 0.5mM HAuCl_4 . (b) Solutions containing AuNPs at different time intervals.

se aprecia la formación de una banda ancha con un máximo en 540 nm, la cual indica la presencia de AuNPs (Picollo *et al.*, 2019). La reacción se siguió durante 4 h y durante la síntesis se observó un cambio de color en los primeros segundos de la reacción, de amarillo a violeta. Debido al tamaño de las nanopartículas, y mayor proporción de átomos en la superficie, los electrones de la superficie pueden interactuar con la radiación electromagnética de formas muy complejas que dependen de su forma y tamaño (Semwal *et al.*, 2023). Este fenómeno se conoce como resonancia de plasmón de superficie (Cruz *et al.*, 2012), el cual hace que las AuNPs absorban y dispersen la luz de forma muy eficiente en una longitud de onda que oscila entre 510 y 570 nm (Picollo *et al.*, 2019; Bonilla-Nepomuceno *et al.*, 2021).

En la Figura 2 se presenta la absorbancia vs longitud de onda de las AuNPs sintetizadas con una solución de oro 1 y 2 mM; en ambas reacciones la absorbancia aumentó con el tiempo. Este comportamiento es similar al reportado por Alhumaydhi *et al.* (2022) quienes sintetizaron AuNPs usando extracto de *Pistacia chinensis*. Los autores señalan que una absorbancia mayor representa una mayor concentración de NPs en la disolución. Por su parte, Bonilla *et al.* (2020) emplearon extracto de la pulpa de *Coffea arabica* con grandes cantidades de ácido tetracloroáurico (3, 4, 5 %). Los investigadores a través de UV-Vis observaron un plasmón en 520 nm

con absorbancia máxima de 1.2 u.a., valor similar a la absorbancia máxima de las AuNPs obtenidas en este trabajo, pero con mayor cantidad del precursor metálico. Por otra parte, la síntesis que empleó una solución de oro a 1 mM (Fig. 2a) exhibió un ligero estrechamiento de la banda, sugiriendo una morfología mayoritariamente esférica con poca presencia de aglomeraciones. Durante la reacción se presentó el cambio de color a violeta oscuro después de 30 min, indicando de manera visual la presencia de AuNPs (Fig. 2b). Para la muestra sintetizada con una solución de oro 2mM, se observó que la banda de absorción (541 nm) es ancha y se forma a los 120 min, sugiriendo que las NPs podrían presentar aglomeraciones (Fig. 2c). El color violeta se verificó después de 60 min (Fig. 2d). A través de la técnica de espectroscopia UV-Visible es posible correlacionar la presencia de AuNPs con el cambio de color apreciado visualmente en las muestras.

La Figura 3 presenta la absorbancia en función del tiempo de las tres muestras. Las AuNPs preparadas con la solución de oro 0.5 mM, a los 5 min de iniciar la reacción exhibieron altos valores de absorbancia (0.7 u.a), sugiriendo que la formación de NPs es rápida. En el caso de las AuNPs sintetizadas con las soluciones de oro 1 y 2 mM, al inicio, la absorbancia presenta un valor de 0.3 y 0.1 u.a., respectivamente. Sin embargo, la muestra sintetizada con la solución de oro 1 mM, después de 200 min, exhibe la mayor absorbancia. Resultados similares

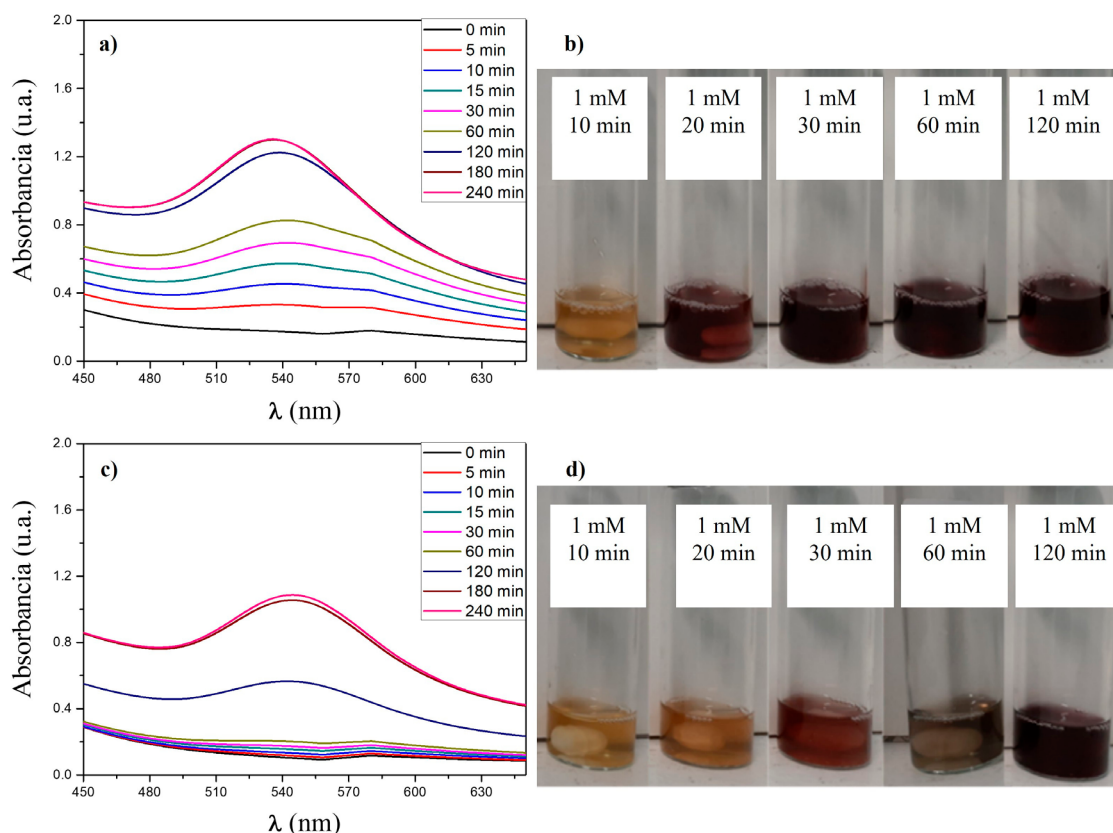


Figura 2. Espectro UV-Vis de las AuNPs sintetizadas con de HAuCl_4 (a) 1 mM y (c) 2 mM. (b, d) Cambio de color de las AuNPs realizadas con una solución de oro 1 y 2 mM, respectivamente.

Figure 2. UV-Vis spectrum of the AuNPs synthesized with (a) 1 mM and (c) 2 mM HAuCl_4 . (b, d) Color change of AuNPs made with 1 and 2 mM gold solution, respectively.

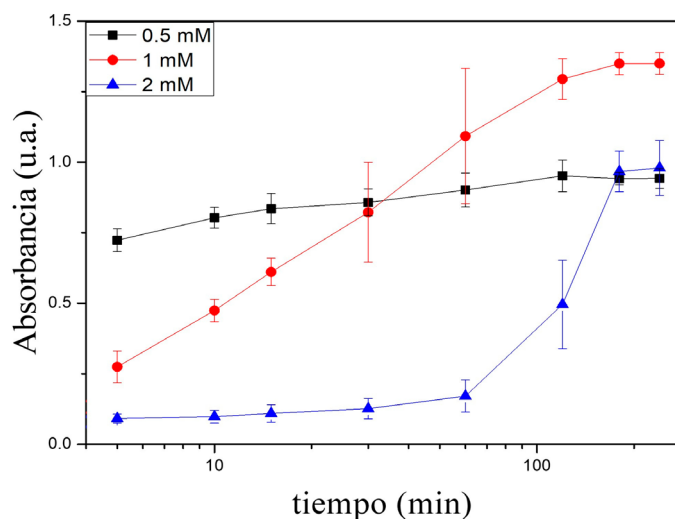


Figura 3. Absorbancia vs tiempo de las AuNPs sintetizadas con solución de oro 0.5, 1 y 2 mM. Las líneas continuas son ayudas visuales. Las barras de error indican las desviaciones estándar (DE) para las medidas tomadas por triplicado.

Figure 3. Absorbance vs time of the AuNPs synthesized with 0.5, 1 and 2 mM gold solution. The solid lines are visual aids. Error bars indicate standard deviations (SD) for measurements taken in triplicate.

fueron reportados por Chen *et al.* (2020), donde los autores utilizaron raíces de *Scutellaria baicalensis* para la formación de AuNPs variando la concentración de solución de oro. Ellos observaron que a mayor concentración de sal metálica la absorbancia máxima aumenta, señalando un aumento en la concentración de las AuNPs obtenidas.

En la Figura 4 se presenta la longitud de onda de la banda con absorbancia máxima vs. tiempo. Los resultados indican que la longitud de onda de las tres muestras disminuye

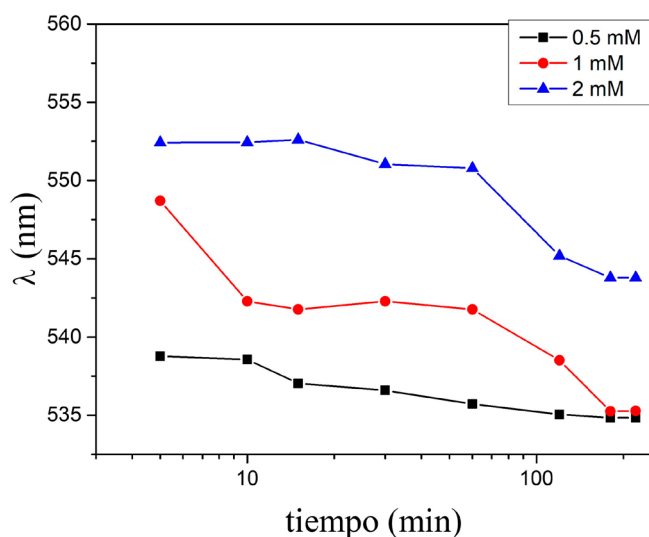


Figura 4. Longitud de onda vs. tiempo de las soluciones realizadas con solución de oro a 0.5, 1 y 2 mM.

Figure 4. Wavelength vs. time of the solutions made with gold solution at 0.5, 1 and 2 mM.

con el tiempo, sugiriendo un desplazamiento hacia el azul. Este comportamiento es similar al reportado por Barnawi *et al.* (2022), quienes sintetizaron AuNPs utilizando extracto de limón. Según los autores este fenómeno se presenta cuando los orbitales de los electrones se alejan entre sí debido al tamaño pequeño de las partículas. De acuerdo con la información obtenida, las AuNPs con mayor disminución en el tamaño de partícula fueron las que utilizaron una concentración de solución de oro 0.5 mM y 1 mM. Nuñez-Delgado *et al.* (2023) registraron longitudes de onda similares en AuNPs con tamaños menores a 50 nm y sintetizadas con el extracto de la planta *Hippocratea excelsa*.

El análisis de tamaño se realizó mediante la técnica DLS en función de la intensidad y número (Fig. 5). Con respecto a intensidad (Fig. 5a), los resultados muestran dos señales, sugiriendo la formación de partículas de dos tamaños (10 y 100 nm, aproximadamente). Sin embargo, al analizar las mismas muestras con respecto a número (Fig. 5b), se aprecia una mayor presencia de partículas con un diámetro entre 5 y 10 nm (Rivas-Moreno *et al.*, 2022).

Evaluación de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante en el extracto de los residuos de café

La cuantificación de compuestos fenólicos totales presentes en el extracto de los residuos de café se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu. En primera instancia, se observó el cambio de color característico ante la presencia de compuestos fenólicos en la muestra, ya que la solución pasó de un color amarillo intenso característico del reactivo Folin-Ciocalteu a un color azulado (Singleton *et al.*, 1999). El contenido de compuestos fenólicos totales fue de 22.9 ± 0.47 mg AG/100 g MS. Resultados similares fueron reportados por Cruzalegui *et al.* (2021), quienes determinaron la cantidad de compuestos fenólicos totales presentes en la pulpa de café (*Coffea arabica*) deshidratada, de 50 a 120 mg AG/100 g MS.

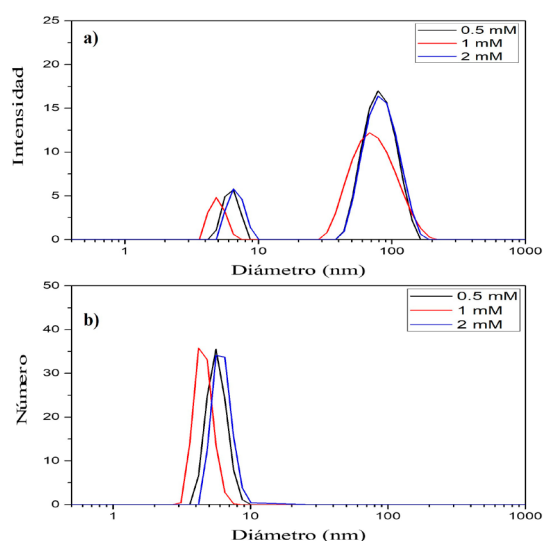


Figura 5. DLS en (a) intensidad y (b) número de AuNPs sintetizadas con $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: 0.5mM (negro), 1mM (rojo) y 2mM (azul).

Figure 5. DLS in (a) intensity and (b) number of AuNPs synthesized with $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: 0.5mM (black), 1mM (red), and 2mM (blue).

Estos valores dependieron de la zona donde fue recolectada la muestra de café y el tratamiento de secado que se le realizó, cabe destacar que estos resultados fueron obtenidos con pulpa. Asimismo, se han realizado otros trabajos, específicamente en residuos de pulpas de cereza del café, como el de Heeger *et al.* (2017). Este estudio se centró en la elaboración de bebidas con dichos residuos por extracción acuosa. De igual modo, cuantificaron el contenido total de polifenoles, cuyos valores se encontraron entre 4.9 y 9.2 mg equivalentes de ácido gálico (AG)/g MS.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de actividad antioxidante al extracto de los residuos de café mediante el método DPPH. Aquí se aprecia una fuerte actividad antioxidante de 69.75 ± 2.05 % de inhibición. Estos resultados concuerdan con los expuestos por Valdez *et al.* (2018) quienes obtuvieron un porcentaje de inhibición de la pulpa de café de la especie *Coffea arabica* de 70.97 ± 9.59 %. También presentan similitud con la investigación realizada por Gomes das Neves *et al.* (2019), en la cascarilla del café, quienes obtuvieron porcentajes de inhibición que oscilaron entre 81.37 % y 86.29 %. En este sentido, el empleo de altas temperaturas en el tostado o deshidratado, podría ocasionar la disminución de la actividad antioxidante. Sin embargo, y de acuerdo con Pérez-Hernández *et al.* (2013), la actividad antioxidante puede mantenerse aun cuando se usan altas temperaturas debido a la formación de nuevos compuestos antioxidantes, como las melanoidinas procedentes de la reacción de Maillard.

Para realizar la medición de actividad antioxidante en las AuNPs se seleccionaron las muestras con una concentración de oro 0.5mM y 1mM debido a que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos con concentraciones de 0.5mM y 2mM.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos por el método DPPH, en donde se apreció que las NPs sintetizadas con una solución de oro 0.5 mM presentaron mayor porcentaje de inhibición (5.98%), sugiriendo la presencia de compuestos fenólicos en la superficie de las NPs o en la solución (Pérez-Hernández *et al.*, 2013). Posiblemente algunos compuestos fenólicos, como los ácidos clorogénicos o el ácido protocatecuico que representan más del 80 % del contenido total de polifenoles (Heeger *et al.*, 2017), no reaccionaron debido a la baja concentración de solución de oro. De forma similar, Abbasian y Jafarizadeh (2020) obtuvieron AuNPs utilizando 10 mL de extracto de granos de café de la especie *Coffea arabica* y 10 mL de solución de oro a una

Tabla 1. Porcentaje de inhibición de AuNPs utilizando los métodos DPPH y ABTS.

Table 1. Percentage of inhibition of AuNPs using the DPPH and ABTS methods.

Concentración de HAuCl_4	Inhibición al Radical DPPH (%)	Inhibición al radical ABTS (%)
0.5 mM	5.98 ± 1.58^a	3.52 ± 0.34^a
1 mM	0.99 ± 0.63^b	2.49 ± 0.43^b

Los valores corresponden a las medias $\pm$ DE, con DE de tres réplicas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

concentración de 1 mM; los investigadores realizaron pruebas de actividad antioxidante mediante la técnica DPPH y obtuvieron un porcentaje de inhibición de 9.1%.

Respecto a la actividad antioxidante usando la técnica ABTS, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las NPs sintetizadas a concentraciones de 0.5 mM y 1 mM. Las NPs con valor más alto (3.52 %) fueron las que utilizaron una solución de oro 0.5 mM. Esto concuerda con los bajos porcentajes de inhibición reportados por Sanna *et al.* (2014), quienes obtuvieron AuNPs utilizando tres polifenoles obtenidos de plantas y frutos, los cuales fueron de 6, 8 y 15 %. Los compuestos fenólicos desempeñan un doble papel en la síntesis verde de nanopartículas: 1) actúan como agentes reductores al ceder electrones para formar NPs metálicas y 2) actúan como agentes estabilizantes recubriendo a las NPs para evitar su aglomeración. Al inicio, el extracto exhibe una alta actividad antioxidante debido a que los fenoles están libres; sin embargo, estos se consumen durante la reacción y simultáneamente funcionalizan la superficie de las NPs. En consecuencia, las NPs resultantes mantienen una capacidad antioxidante intrínseca gracias a este recubrimiento, transformando un residuo biológico en un material avanzado.

CONCLUSIONES

En este trabajo se reportó la biosíntesis de nanopartículas de oro empleando un extracto acuoso de residuos de café. La síntesis se realizó a temperatura ambiente, confirmando su viabilidad bajo condiciones más amigables con el medio ambiente. De manera visual se observó un cambio de color amarillo a violeta oscuro, color característico de las AuNPs. Esto se confirmó utilizando la técnica de espectroscopía UV-Vis, en donde los espectros exhibieron bandas de absorción en un intervalo de 510 a 570 nm, señal característica de la presencia de las AuNPs. Por medio de un análisis DLS se mostró que las nanopartículas poseen un tamaño predominante entre 5 y 10 nm. Este trabajo demostró que los residuos de café pueden actuar como agentes reductores efectivos en la síntesis verde de AuNPs, y contribuir al aprovechamiento sustentable de subproductos agroindustriales. Por otra parte, aunque se identificó una reducción en la actividad antioxidante de las AuNPs respecto al extracto, las NPs conservan esta propiedad. Esto es un resultado directo de la funcionalización y estabilización proporcionada por los compuestos bioactivos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se realizó gracias al apoyo de proyectos VIEP 2024-2025.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

Abbasian, R. y Jafarizadeh-Malmiri, H. 2020. Green approach in gold, silver and selenium nanoparticles using coffee bean extract. *Open Agriculture*. 5: 761-767.

- Akintelu, S.A., Yao, B. y Folorunso, A.S. 2021. Bioremediation and pharmacological applications of gold nanoparticles synthesized from plant materials. *Heliyon*. 7.
- Alhumaydhi, F.A. 2022. Green synthesis of gold nanoparticles using extract of *Pistacia chinensis* and their in vitro and in vivo biological activities. *Journal of Nanomaterials*. 2022: 544475.
- Barnawi, N., Allehyani, S. y Seoudi, R., 2022. Biosynthesis and characterization of gold nanoparticles and its application in eliminating nickel from water. *Journal of Materials Research and Technology*. 17: 537–545.
- Bonilla-Nepomuceno, G., Ríos-Corripio, M.A., Gómez-Merino, F.C., Méndez-Rojas, M.Á., Arcila-Lozano, L.S., Hernández-Cázares, A.S. y Rojas-López, M. 2021. Analysis by response surface methodology of gold nanoparticles obtained by green chemical reduction using aqueous coffee pulp extract (*Coffea arabica*). *Canadian Journal of Chemistry*. 99.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28: 25–30.
- Chaves-Ulate, E.C. y Esquivel-Rodríguez, P. 2019. Chlorogenic acids present in coffee: Antioxidant and antimicrobial capacity. *Agronomía Mesoamericana* 30: 299–311.
- Chen, L., Huo, Y., Han, Y.X., Li, J.F., Ali, H., Batjikh, I., Hurh, J., Pu, J.Y. y Yang, D.C. 2020. Biosynthesis of gold and silver nanoparticles from *Scutellaria baicalensis* roots and in vitro applications. *Applied Physics A Materials Science and Processing*. 126.
- Cruz, D.A., Rodríguez, M.C., López, J.M., Herrera, V.M., Orive, A.G. y Creus, A.H. 2012. Nanopartículas metálicas y plasmones de superficie: una relación profunda. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 3: 67–78.
- Cruzalegui, R.J., Güivin, O., Fernández-Jeri, A.B. y Cruz, R., 2021. Caracterización de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de pulpa de café (*Coffea arabica* L.) deshidratada de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Perú). *Información Tecnológica*. 32: 157–166.
- Gomes das Neves, J.V., Borges, M.V., Silva, D. de M., Leite, C.X.D.S., Santos, M.R.C., de Lima, N.G.B., Lannes, S.C. da S. y da Silva, M.V. 2019. Total phenolic content and primary antioxidant capacity of aqueous extracts of coffee husk: Chemical evaluation and beverage development. *Food Science and Technology (Brazil)* 39: 348–353.
- González-Vázquez, B.M., Rosas-Morales, M., Castillo Hernández, D. y Ríos-Cortés, A.M. 2023. Aprovechamiento del bagazo de café, una alternativa para enriquecer alimentos a partir de residuos. *RD-ICUAP*. 9: 136–146.
- Heeger, A., Kosińska-Cagnazzo, A., Cantergiani, E. y Andlauer, W. 2017. Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of cascara beverage. *Food Chemistry*. 221: 969–975.
- Hosne Asif, A.K.M.A. y Hasan, Md.Z. 2018. Application of nanotechnology in modern textiles: A review. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 8: 2347–5161.
- Keijok, W.J., Pereira, R.H.A., Alvarez, L.A.C., Prado, A.R., da Silva, A.R., Ribeiro, J., de Oliveira, J.P. y Guimarães, M.C.C. 2019. Controlled biosynthesis of gold nanoparticles with *Coffea arabica* using factorial design. *Scientific Reports*. 9.
- Mondal, P., Anweshan, A. y Purkait, M.K. 2020. Green synthesis and environmental application of iron-based nanomaterials and nanocomposite: A review. *Chemosphere*. 259.
- Montiel-Martínez, B.M., Sánchez-Arzubide, M.G., Ramos-Cassellis, E., Luna-Guevara, J.J., Luna-Guevara, L. y Ibarra-Cantún, D. 2021. Propiedades de calidad físicoquímica y antioxidantes de un licor artesanal de toronjil (*Dracocephalum moldavica* L.). *Alianzas y tendencias BUAP*. 6: 75–92.
- Núñez-Delgado, C., Luna-Flores, A., Conde-Hernández, L.A., Flores-Aquino, E., Romero-López, A. y Tepale, N. 2023. Biosynthesis of gold nanoparticles using the aqueous extract of *Hippocratea excelsa* root bark. Antioxidant and photocatalytic evaluation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 22.
- Pérez-Hernández, L.M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L.Á. y Gámez Meza, N. 2013. Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesamiento de las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. *Biotecnia*. 1: 51–56.
- Piccolo, M., Aceto, M. y Vitorino, T. 2019. UV-Vis spectroscopy. *Physical Sciences Reviews*. 4.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*. 26: 1231–1237.
- Reverberi, A.P., Vocciante, M., Lunghi, E., Pietrelli, L. y Fabiano, B. 2017. New trends in the synthesis of nanoparticles by green methods. *Chemical Engineering Transactions*. 61: 667–672.
- Rivas-Moreno, F.K., Luna-Flores, A., Cruz-González, D., González-Coronel, V.J., Sánchez-Cantú, M., Rodríguez-López, J.L., Caudillo-Flores, U. y Tepale, N. 2022. Effect of pluronic P103 concentration on the simple synthesis of Ag and Au nanoparticles and their application in anatase-TiO₂ decoration for its use in photocatalysis. *Molecules*. 27.
- Sanna, V., Pala, N., Dessl, G., Manconi, P., Mariani, A., Dedola, S., Rasso, M., Crosio, C., Iaccarino, C. y Sechi, M. 2014. Single-step green synthesis and characterization of gold-conjugated polyphenol nanoparticles with antioxidant and biological activities. *International Journal of Nanomedicine*. 9: 4935–4951.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152–178.
- Subhan, M., Choudhury, K. y Neogi, N. 2021. Advances with molecular nanomaterials in industrial manufacturing applications. *Nanomanufacturing*. 1: 75–97.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Café, la bebida que despierta a México. [Consultado 07 octubre 2025] 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cafe-la-bebida-que-despierta-a-mexico>.
- Semwal, V., Jensen, O.R., Bang, O. y Janting, J. 2023. Investigation of performance parameters of spherical gold nanoparticles in localized surface plasmon resonance biosensing. *Micromachines*. 14.
- Terán-Rivera, S.C., Torres-Martínez, B. del M., Torrescano-Urrutia, G.R., Esqueda, M., Sánchez-Escalante, A. y Vargas-Sánchez, R.D. 2023. Residuos del procesamiento del fruto de café como fuente natural de antioxidantes para la industria cárnica. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 26.
- Valdez-Rodríguez, B., Oseguera-Sánchez, E., Fernández-López, L., Cerón-García, A., Abraham-Juárez, M.R. y Ozuna, C. 2018. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3: 692–696.