

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

Síntesis Verde de Puntos Cuánticos de Carbono a partir de Borra de *Coffea Arabica*: Comparación entre Pirólisis y Microondas

Autor: Katherine Elizabeth Guzmán Arízaga

Tutor: Gustavo Martínez

Milagro, 2026



Síntesis Verde de Puntos Cuánticos de Carbono a partir de Borra de *Coffea Arabica*: Comparación entre Pirólisis y Microondas

Green Synthesis of Carbon Quantum Dots from *Coffea Arabica* Residue: Comparison Between Pyrolysis and Microwaves

(Autor Corresponsal)

Katherine Elizabeth Guzmán Arízaga

keguzman@espe.edu.ec

ORCID: 0000-0001-5710-2751

Universidad Estatal de Milagro, Guayas, Ecuador
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

Ana Karina Villacrés Yépez

aavillacres2@espe.edu.ec

ORCID: 0009-0003-9808-6614

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

Lorena Valeria Moscoso Vallejo

lvmoscoso@espe.edu.ec

ORCID: 0009-0002-5042-2220

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

Milton Giovanni Quinga Socasi

mgquinga@espe.edu.ec

ORCID: 0009-0005-6420-6459

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

Víctor Rodríguez Masabanda

vhrodriguez1@espe.edu.ec

ORCID: 0009-0002-3719-3961

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

Aceptación: 24 de febrero de 2026

Publicación: 17 de marzo de 2026

Resumen

Los puntos cuánticos de carbono (CQDs) son nanomateriales fluorescentes ampliamente estudiados por su baja toxicidad y sus propiedades ópticas utilizadas en varias aplicaciones. Los residuos agroindustriales, como los de *Coffea arabica*, representan una fuente sostenible de carbono para la síntesis de nanomateriales dentro de estrategias de economía circular. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos rutas de síntesis verde, pirólisis y microondas asistida, en las propiedades estructurales y ópticas de CQDs obtenidos a partir de la borra de café. El precursor fue pretratado (24 horas) y posteriormente sometido a pirólisis térmica a 400°C en condiciones controladas, mientras que el método asistido por microondas empleó irradiación de 750 W a 200°C. Las muestras obtenidas se purificaron y caracterizaron mediante espectroscopia de fotoluminiscencia y difracción de rayos X. Los CQDs sintetizados por pirólisis presentaron emisiones azules (440-460 nm) y diámetros de partícula entre 10 y 12 nm, mientras que el método microondas produjo emisiones cercanas a 345 nm y diámetros de partícula ~8 nm. Los resultados indicaron que la pirólisis genera mayor fluorescencia, evidenciando su potencial en aplicaciones optoelectrónicas.

Palabras clave: Puntos Cuánticos de Carbono; Nanomaterial; Síntesis Verde; Residuo de Café; Pirólisis; Microondas; Fluorescencia

Abstract

Carbon quantum dots (CQDs) are fluorescent nanomaterials widely studied due to their low toxicity and remarkable optical properties, which enable their use in various applications. Agro-industrial residues, such as *Coffea arabica* waste, represent a sustainable carbon source for nanomaterial synthesis within circular economy strategies. The objective of this study was to evaluate the effect of two green synthesis routes, pyrolysis and microwave-assisted synthesis, on the structural and optical properties of CQDs obtained from spent coffee grounds. The precursor was pretreated for 24 hours and subsequently subjected to thermal pyrolysis at 400°C under controlled conditions, whereas the microwave-assisted method employed irradiation at 750 W and 200°C. The obtained samples were purified and characterized using photoluminescence spectroscopy and X-ray diffraction. CQDs synthesized via pyrolysis exhibited a blue emissions (440-460 nm) with particle diameters between 10 and 12 nm, whereas the microwave method produced emissions around 345 nm with particle diameters ~8 nm. The results indicated that pyrolysis produces higher fluorescence intensity, highlighting its potential for optoelectronic applications.

Keywords: Carbon Quantum Dots; Nanomaterial; Green Synthesis; Coffee Waste Valorization; Pyrolysis; Microwave-Assisted; Fluorescence





Introducción

Los puntos cuánticos de carbono (CQDs) se han convertido en una clase prometedora de nanomateriales de carbono con propiedades ópticas, químicas y electroquímicas excepcionales. Su alta biocompatibilidad y estabilidad química los han posicionado como materiales ideales para diversas aplicaciones, como la biomedicina, la optoelectrónica y los sensores ambientales ([Cui et al., 2021](#)).

Actualmente, se han propuesto múltiples rutas de síntesis para modular las propiedades estructurales y funcionales de los CQDs, incrementando así el interés por enfoques sostenibles basados en residuos agroindustriales ([Jiang et al., 2025](#); [Kang et al., 2020](#)). Los CQDs son caracterizados por su fluorescencia dependiente de excitación y de grupos funcionales tales como -OH, -COOH, -NH₂, y su comportamiento está estrechamente relacionado con el tamaño de partícula, los cuales introducen niveles electrónicos que condicionan el comportamiento óptico ([Cui et al., 2021](#); [Ozyurt et al., 2023](#)).

Por otro lado, la síntesis de CQDs se puede clasificar en dos enfoques principales: top-down y bottom-up. En los métodos top-down, los materiales de carbono se fragmentan mediante oxidación química, ablación láser o exfoliación electroquímica, lo que permite la producción de CQDs con estructuras bien definidas ([Liu, L. et al., 2020](#)). Por el contrario, los métodos bottom-up emplean precursores orgánicos como biomasa, polímeros o residuos mediante pirólisis, hidrotermólisis o síntesis asistida por microondas. Este último enfoque ha cobrado relevancia debido a su bajo costo, escalabilidad y contribución a la economía circular mediante la valorización de residuos industriales ([Jiang et al., 2025](#); [Nazar et al., 2024](#)). La pirólisis, al involucrar exposición térmica sostenida, puede favorecer un grado de carbonización mayor y formación de compuestos conjugados, lo cual puede asociarse con emisiones visibles intensas. Mientras que el calentamiento por microondas se caracteriza por calentamiento volumétrico, lo que puede promover nucleación rápida, tamaños menores y distribución distinta de estados de superficie emisivos ([Ozyurt et al., 2023](#)).

Químicamente, la síntesis de CQDs a partir de la borra de café implica procesos de deshidratación, condensación y aromatización térmica. Durante este proceso, las moléculas orgánicas suben a una reorganización estructural de dominios grafiticos que pueden estar parcialmente ordenados ([Ali & Bhowmik, 2025](#)).

Al pasar por esta condición, favorece la generación de redes conjugadas responsables de la emisión en la región visible, cuya intensidad y posición espectral dependen de la ruta térmica aplicada ([Coral-Velasco et al., 2024](#); [Ozyurt et al., 2023](#)).

La caracterización óptica de los CQDs se realiza comúnmente mediante espectroscopía UV-Vis y fotoluminiscencia (PL). En el espectro UV-Vis se identifican bandas típicas alrededor de 200–280 nm asociadas a transiciones $\pi \rightarrow \pi^*$ de enlaces C=C, y señales en 300–350 nm correspondientes a transiciones $n \rightarrow \pi^*$ de grupos carbonilo ([Crista et al., 2020](#); [Yi et al., 2022](#)). En la espectroscopía de fotoluminiscencia, los CQDs pueden presentar emisión azul en el rango de 440–460 nm cuando existe mayor grado de carbonización, mientras que desplazamientos hacia menores longitudes de onda (blue shift) suelen asociarse a tamaños de partícula reducidos y diferentes configuraciones electrónicas superficiales ([Vu et al., 2025](#)).

Estructuralmente, la difracción de rayos X (XRD) permite determinar el grado de ordenamiento cristalino. Los CQDs derivados de biomasa suelen mostrar un pico ancho entre 15°–25° (2 θ), característico de carbono amorfo o estructura turbostrática parcialmente grafitizada ([Banger et al., 2023](#)).

En los últimos años, diversos estudios han explorado la síntesis de CQDs a partir de residuos industriales, con el objetivo de promover procesos sostenibles y de bajo costo. Dentro de esta tendencia, la borra del café constituye un residuo abundante con alto contenido de carbono y compuestos aromáticos, lo que le convierte en un precursor ideal para la síntesis sostenible de los CQDs ([Ali & Bhowmik, 2025](#)).

Estudios recientes han demostrado la factibilidad de obtener CQDs a partir de residuos de café que tengan propiedades fluorescentes y potencial en aplicaciones químico-analíticas ([Nazar et al., 2024](#); [Xia et al., 2022](#)).

Aunque múltiples investigaciones han reportado la síntesis de CQDs a partir de residuos agrícolas, incluyendo borra de café, la mayoría se enfoca en una única ruta de síntesis. Estudios recientes han destacado la eficiencia del método asistido por microondas con aplicaciones en detección fluorescente ([Kang et al., 2020](#); [Nazar et al., 2024](#)), mientras que también se han explorado rutas



vinculadas a las pirólisis en residuos de café ([Suraj et al., 2024](#)). Sin embargo, todavía son limitados los trabajos que comparan de forma directa la pirólisis vs. microondas bajo condiciones controladas usando un mismo precursor específico.

Desde una perspectiva teórica, este estudio se fundamenta en la relación entre parámetros de síntesis, tamaño de partícula y comportamiento fotoluminiscente. Lo que este estudio permite es comparar rutas de síntesis y cómo los parámetros térmicos y el modo de calentamiento influyen en la formación de dominios carbonosos, estados de superficies. Desde el punto de vista práctico, valorizar borra de café para producir CQDs que contribuyan a la economía circular y habiliten el diseño de nanomateriales funcionales para futuras aplicaciones.

Para este contexto, la investigación se basa en la siguiente interrogante: ¿Cómo influyen los métodos de pirólisis y microondas en las propiedades ópticas y estructurales de los puntos de carbono sintetizados a partir de borra de café *Coffea arabica*? Se hipotetiza que el método de pirólisis generará CQDs con mayor intensidad de fluorescencia en la región visible debido a un mayor grado de carbonización y diámetros ligeramente superiores, mientras que el método asistido por microondas producirá partículas de menor tamaño con emisión desplazada hacia longitudes de onda más cortas.

En consecuencia, el objetivo de este estudio es comparar el efecto de las rutas de síntesis por pirólisis térmica y microondas en las propiedades estructurales y ópticas de QCDs obtenidos a partir de la borra del café.

Los objetivos específicos de este estudio son:

1. Analizar el efecto de cada método de síntesis en el tamaño y distribución de los CQDs obtenidos.
2. Caracterizar las propiedades ópticas de los CQDs mediante espectroscopía y difracción de rayos X.
3. Comparar las propiedades ópticas y estructurales de los CQDs mediante ambas rutas de síntesis.

Método

Enfoque metodológico

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental de carácter cuantitativo, orientado a evaluar las propiedades ópticas y estructurales de puntos cuánticos de carbono (CQDs) sintetizados a partir de la borra de café *Coffea arabica* mediante dos métodos.

Diseño de estudio

El presente estudio corresponde a un diseño experimental comparativo de laboratorio, orientado a evaluar el efecto de dos rutas de síntesis: Pirólisis y microondas asistida a partir del precursor orgánico de la borra de café *Coffea arabica*.

Tipo de estudio

El estudio está dentro de la clasificación como investigación experimental aplicada a ciencias de los materiales.

Materiales

Los materiales empleados fueron la borra de café como fuente de precursor carbonoso. Adicional: ácido cítrico, EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), hidróxido de sodio (NaOH 0,1 M) y agua tipo III, etanol absoluto y peróxido de hidrógeno al 20 %. Todos de grado analítico.

Muestra

La muestra está constituida por la borra de café *Coffea arabica* que fue recolectada de forma indistinta en las zonas de cafetería de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. El material fue recolectado, homogeneizado y se dejó listo para someterse a un proceso de tratamiento previo a la síntesis de QCDs.

Técnicas de Recolección de Datos

Los datos experimentales se obtuvieron mediante técnicas de caracterización fisicoquímica para evaluar las propiedades ópticas y estructurales de los CQDs sintetizados. La absorción óptica y la fotoluminiscencia se analizaron mediante espectroscopía UV-Vis y PL. La estructura cristalina se determinó por difracción de rayos X (XRD), mientras que el tamaño y la morfología de las nanopartículas se evaluaron mediante dispersión dinámica de luz (DLS) y microscopía electrónica de transmisión (TEM).





Instrumentos

Tabla 1

Equipos utilizados en el estudio de obtención de CQDs

Equipo	Modelo
Espectrofotómetro de fluorescencia	DUETTA Fluorescence Spectrometer
Espectrofotómetro UV-Vis	SPECORD® S600 – Analytik Jena
Analizador de tamaño por DLS	HORIBA LB-550
Microscopio electrónico de transmisión (TEM)	FEI Tecnai G2 Spirit Twin
Difractómetro de rayos X	EMPYREAN – PANalytical

En la Tabla 1 se detallan los equipos utilizados.

Procedimiento

- **Preparación del precursor.** Para cada ensayo experimental se emplearon 10 g de residuo seco. Los reactivos utilizados incluyeron ácido cítrico (2.5 g) y EDTA (0.5 g) como agentes promotores de carbonización y funcionalización superficial, hidróxido de sodio (NaOH 0.1 M) para el tratamiento alcalino, agua ultrapura grado 3 como solvente principal, etanol absoluto y peróxido de hidrógeno al 20 %. Todos los reactivos fueron de grado analítico y se utilizaron sin purificación adicional.

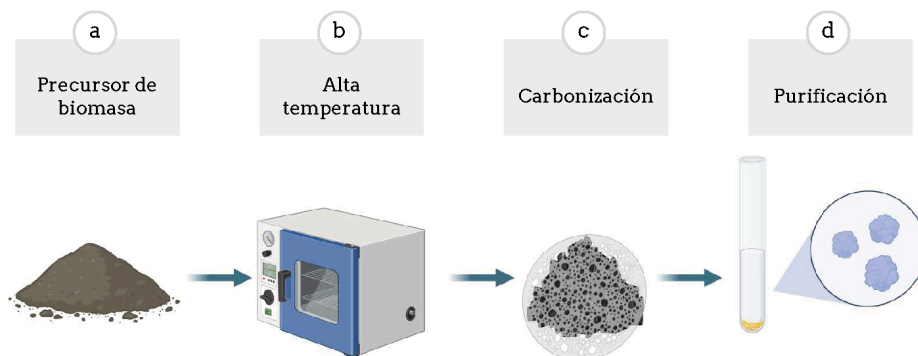
Previo al proceso de síntesis, la borra de café fue sometida a un pretratamiento con el objetivo de eliminar compuestos solubles, aceites residuales e impurezas orgánicas que pudieran afectar la formación de las nanoestructuras carbonosas. Para ello, 10 g de borra fueron mezclados con 100 mL de NaOH 0.1 M y agitados durante 2 minutos. Posteriormente, el material fue lavado repetidamente con agua ultrapura hasta alcanzar pH neutro. La muestra fue secada en estufa a 60 °C durante 24 horas y posteriormente molida hasta obtener un polvo fino y homogéneo, garantizando uniformidad en la etapa de carbonización (Banger et al., 2023).

- **Síntesis por pirólisis.** La síntesis térmica por pirólisis se realizó mezclando la borra seca previamente tratada con 2.5 g de ácido cítrico y 0.5 g de EDTA en 100 mL de agua destilada, formando una pasta homogénea. Esta mezcla fue transferida a un crisol con tapa y sometida a tratamiento térmico en un horno programable.

El calentamiento se llevó a cabo mediante una rampa inicial de 3 °C/min hasta 200 °C, seguida de un incremento de 5 °C/min hasta alcanzar 400 °C. Esta temperatura se mantuvo durante 4 horas para asegurar una carbonización adecuada. Durante este proceso ocurrieron reacciones de deshidratación, condensación y aromatización progresiva, favoreciendo la formación de dominios conjugados sp² dentro de una matriz carbonosa parcialmente ordenada, como se muestra en la Figura 1. Finalizado el tratamiento, el sistema fue enfriado de manera natural dentro del horno cerrado hasta alcanzar temperatura ambiente, con el fin de evitar tensiones térmicas en el material obtenido (Paczkowski et al., 2025).

Figura 1

Procesos de pirólisis para obtención de CQDs a partir de la borra del café

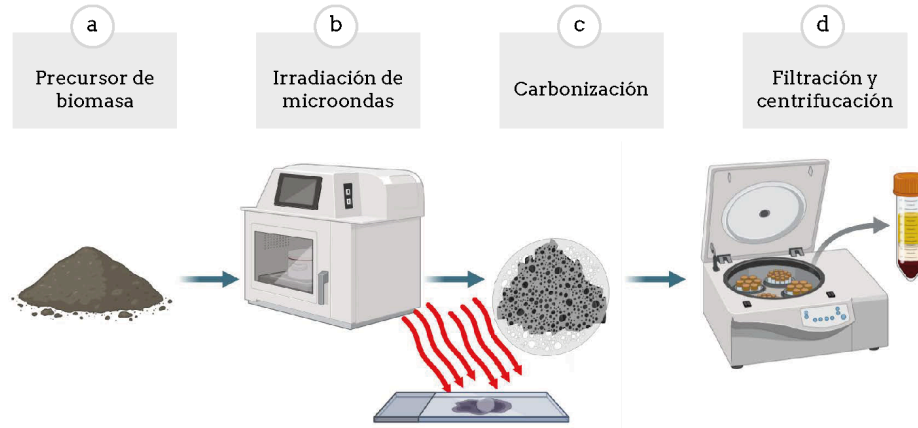




- **Síntesis asistida por microondas.** Para la síntesis asistida por microondas, la borra pretratada fue mezclada con los mismos precursores orgánicos en solución acuosa y sometida a irradiación controlada de 750 W a 200 °C y 5 minutos de reacción. Se esperó a que se enfriara y se procedió a la filtración, como se muestra en la Figura 2 (Fathi-karkan et al., 2025; Paczkowski et al., 2025).

Figura 2

Procesos de microonda asistida para obtención de CQDs a partir de la borra del café



- **Purificación de muestra.** El material carbonizado obtenido por ambos métodos fue triturado y dispersado en 100 mL de agua destilada para facilitar la separación de las fracciones solubles. La suspensión fue centrifugada a 10 000 rpm durante 15 minutos con el fin de eliminar partículas de mayor tamaño y fracciones no completamente carbonizadas. El sobrenadante fue recuperado cuidadosamente y, cuando fue necesario, se ajustó el pH a 7 para asegurar estabilidad coloidal. Las muestras finales fueron almacenadas en frascos ámbar para prevenir degradación inducida por luz.
- **Análisis de caracterización ópticas.** Las propiedades ópticas de los puntos de carbono fueron evaluadas mediante espectroscopía UV-Vis y espectroscopía de fotoluminiscencia (PL) modelo DUETTA Fluorescence Spectrometer. Las muestras de CQDs fueron confirmadas utilizando SPECORD® S600 de Analytik Jena. Los espectros UV-Vis fueron registrados en el rango de 200–600 nm con el objetivo de identificar bandas de absorción asociadas a transiciones electrónicas $\pi \rightarrow \pi^*$ de enlaces C=C, típicamente localizadas entre 200–280 nm, así como transiciones $n \rightarrow \pi^*$ de grupos carbonilo (C=O) en el intervalo de 300–350 nm. Estas señales confirman la presencia de sistemas conjugados responsables del comportamiento fluorescente. La fotoluminiscencia fue registrada empleando un espectrofotómetro de fluorescencia, determinándose la longitud de onda de emisión máxima (λ_{em}), la intensidad relativa de fluorescencia y posibles desplazamientos espectrales. Estos parámetros permitieron comparar el desempeño óptico entre las muestras sintetizadas por pirólisis y por microondas.
- **Análisis de caracterización estructural.** La distribución del tamaño hidrodinámico de las muestras fue analizada mediante dispersión dinámica de luz (DLS) empleando un analizador de distribución de tamaño HORIBA LB-550. Mientras que las imágenes de microscopía electrónica de transmisión (TEM) fueron obtenidas con el equipo FEI Tecnai G2 Spirit Twin. La estructura cristalina de los materiales fue analizada mediante difracción de rayos X en un rango angular de 10°–80° (2θ). La anchura e intensidad del pico asociado al plano (002) permitieron comparar el grado de ordenamiento estructural inducido por cada ruta de síntesis. Las mediciones se realizaron utilizando un difractómetro EMPYREAN de la marca PANalytical, en configuración θ - 2θ (generador-detector), utilizando un tubo de rayos X con radiación de cobre ($\lambda = 1.54059 \text{ \AA}$).

Resultados

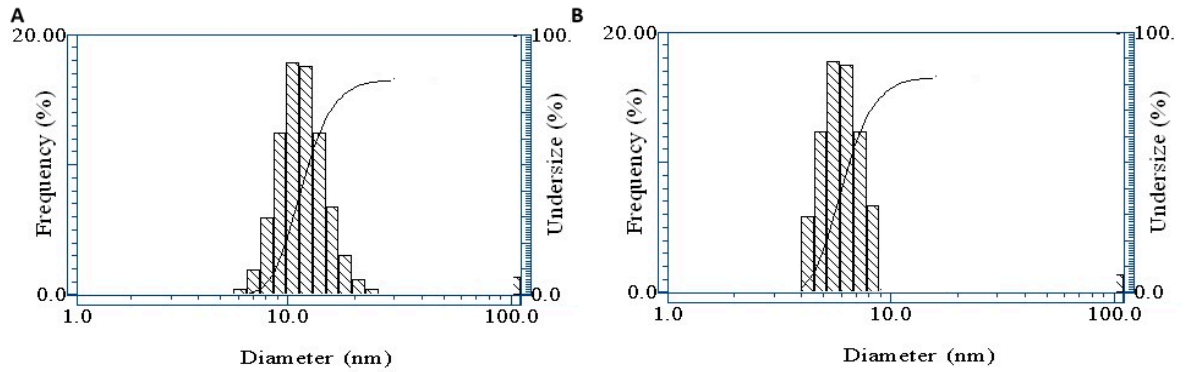
Análisis morfológico y distribución de tamaño

El análisis de tamaño hidrodinámico mediante DLS evidenció diferencias entre los dos métodos empleados. En el caso del material por pirólisis, oscilaron valores entre 10 a 12 nm con $\pm 7,1$ nm en desviación estándar.



Figura 3

Histogramas comparativos de distribución de tamaño de partícula (DLS), A, pirólisis, y B, por microondas asistida



En la Figura 3 se observa que los CQDs mediante irradiación por microondas mostraron distribución de tamaño considerablemente más estrecha con valores de 8 a 10 nm ± 9,2 nm. En términos comparativos, este método permitió obtener nanopartículas más pequeñas con mayor uniformidad en su distribución (ver Tabla 2).

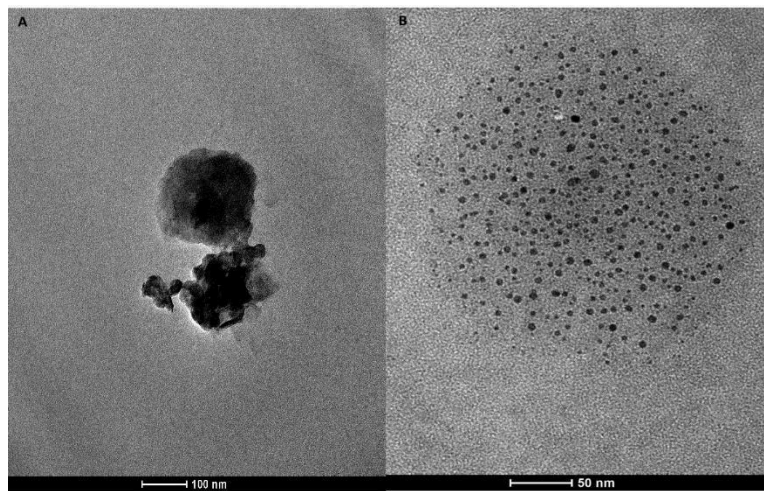
Tabla 2

Resumen de la distribución de tamaño de CQDs

Método de síntesis	Rango de Tamaño (nm)	Desviación estándar (nm)
Pirólisis	10-12	± 7,1
Microondas asistida	8-10	± 9,2

Figura 4

Micrografías TEM comparativas: (A) muestra un agregado compacto de partículas con morfología irregular y evidente aglomeración; (B) evidencia una distribución homogénea de nanopartículas esféricas, bien dispersas y de menor tamaño



En la Figura 4 se muestran las micrografías TEM; en la imagen A se observa una estructura agregada de mayor tamaño con morfología irregular y evidente coalescencia de partículas. Al indicar la escala de 100 nm, se evidencia la presencia de aglomerados y una posible fusión parcial durante el proceso de síntesis.

En contraste, la imagen B muestra otra distribución completamente homogénea de partículas esféricas con menor tamaño y claramente delimitadas y dispersas. Se presenta un consistente proceso de nucleación en condiciones controladas, lo que concuerda con los resultados obtenidos por DLS.



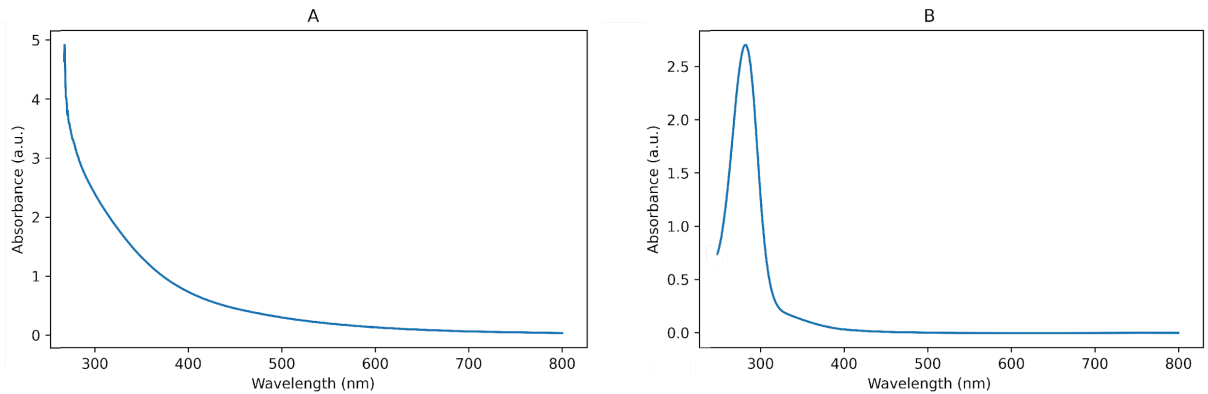
Propiedades ópticas

Absorción UV-Vis: En ambos métodos se observó una banda intensa en la región ultravioleta asociada a transiciones $\pi-\pi^*$ de dominios aromáticos. Sin embargo, el material obtenido por microondas presentó una absorción más definida alrededor de 280–300 nm, con mayor intensidad relativa y caída abrupta posterior, lo que sugiere una carbonización más controlada y formación más uniforme de núcleos conjugados.

Por el contrario, en la Figura 5 se muestra que los CQDs por pirólisis mostraron un decaimiento más progresivo en la absorbancia, indicando una distribución heterogénea de dominios estructurales.

Figura 5

Espectros de absorción UV-Vis comparativos: (A) pirólisis, (B) microondas asistida.

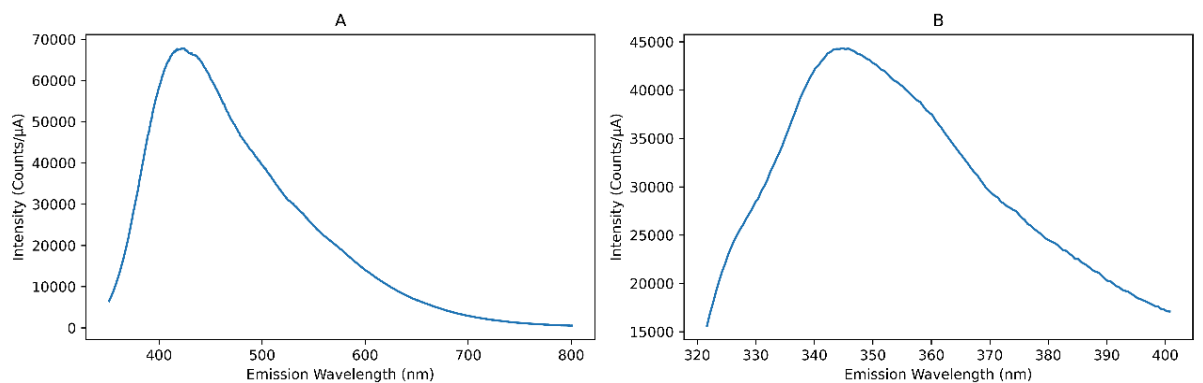


Espectro de Emisión: Bajo excitación a 320 nm, los CQDs presentaron un máximo de emisión centrado aproximadamente entre 430 y 440 nm, asociado a emisión en la región azul del espectro visible. La intensidad registrada fue elevada, lo que indicó un comportamiento fluorescente eficiente.

En la Figura 6 se observa que los CQDs sintetizados por microondas, excitados a 310 nm, mostraron un máximo de emisión desplazado a longitudes de onda menores (~345–350 nm). Este desplazamiento hacia el azul reveló la formación de partículas más pequeñas y con menor extensión de conjugación electrónica, consistente con el menor tamaño reportado por DLS en este método.

Figura 6

Espectros de emisión de CQDs obtenidos por diferentes métodos de síntesis comparativos: (A) pirólisis (B) microondas asistida

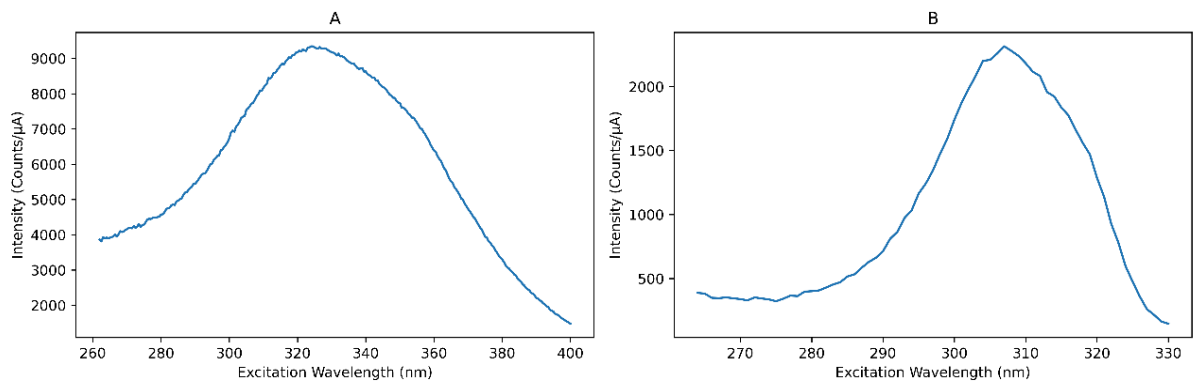


Espectro de Excitación: En la Figura 7 se muestra que el espectro de excitación del material sintetizado por microondas presentó un máximo cercano a 305–315 nm, en concordancia con la banda de absorción UV observada.

En el caso del método pirólisis, el máximo de excitación se ubicó en la región de 330–340 nm, evidenciando mayor extensión de sistemas conjugados en comparación con el método por microondas.



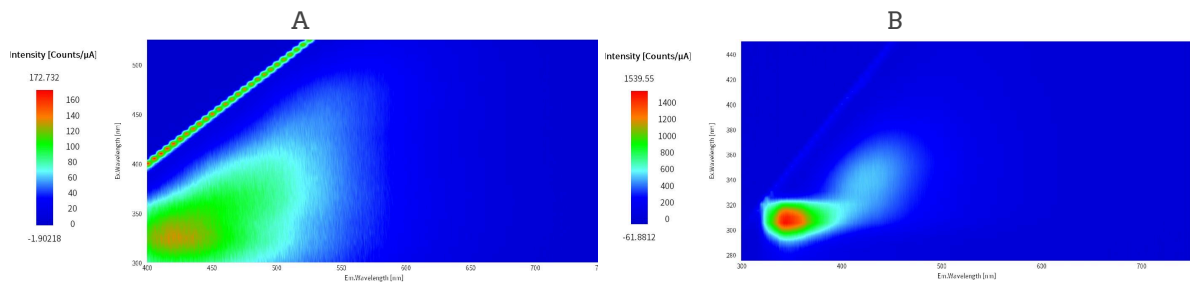
Figura 7
Espectros de excitación comparativos: (A) pirólisis, (B) Microondas asistida



Matriz Excitación-Emisión (EEM)

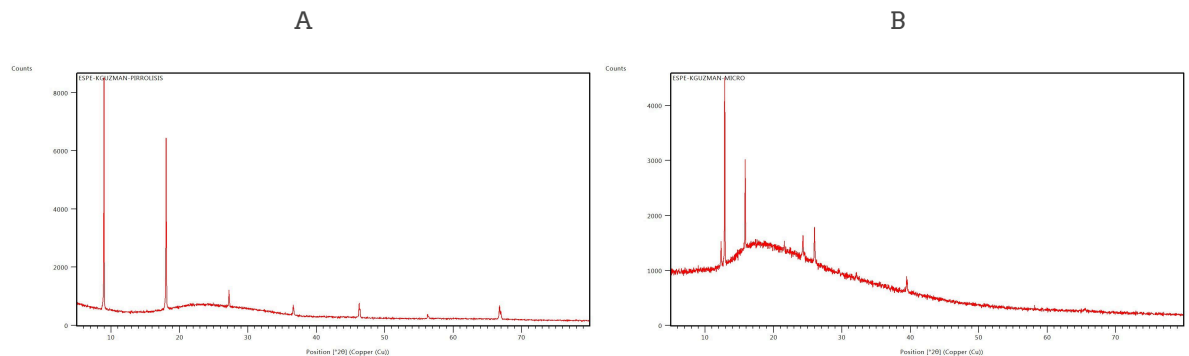
La matriz EEM del material obtenido por microondas mostró un máximo bien definido concentrado en la región azul, como se muestra en la Figura 8, con menor dispersión espectral, lo que sugiere una distribución más uniforme de centros emisivos. Y los CQDs obtenidos por pirólisis presentaron una mayor dispersión en la matriz EEM, indicando mayor heterogeneidad estructural y presencia de múltiples estados energéticos superficiales.

Figura 8
Matrices de excitación-emisión (EEM) comparativas: (A) pirólisis, (B) microondas asistida



Propiedades estructurales

Figura 9
Difractogramas XRD comparativos: (A) muestra correspondiente a la síntesis por pirólisis, con picos cristalinos intensos y bien definidos; (B) muestra obtenida por microondas, donde se observa un halo amorfo predominante con algunas reflexiones cristalinas superpuestas



En los patrones de difracción de rayos X obtenidos para los CQDs mostrados en la Figura 9, se muestra que los CQDs sintetizados por pirólisis y por irradiación asistida por microondas revelan diferencias estructurales significativas en términos de ordenamiento cristalino y contribución amorfa. En la



muestra obtenida por pirólisis, el difractograma se caracteriza por la presencia de reflexiones estrechas y de alta intensidad localizadas aproximadamente en $2\theta \approx 9^\circ, 18^\circ, 27-28^\circ, 37-38^\circ, 46-47^\circ, 56-57^\circ$ y $66-67^\circ$. Lo que indica un modelo cristalino o puede considerarse como subproductos generados durante el proceso térmico, superponiéndose a la contribución carbonosa.

Por el contrario, el patrón correspondiente a la muestra sintetizada por microondas presentó una contribución difusa significativa en la región comprendida entre 15° y 30° (2θ), generando un halo que se asemeja a los materiales carbonosos desordenados. Dicho comportamiento es acorde con la presencia de dominios grafiticos de bajo orden estructural.

En comparación, la pirólisis da lugar a un patrón dominado por reflexiones cristalinas bien definidas, evidenciando una mayor contribución de fases ordenadas dentro del sistema general, mientras que la síntesis por microondas favorece la formación de una matriz que es predominantemente amorfa o nanocristalina con un grado de orden estructural menor. Estas diferencias estructurales reflejan el impacto directo de las condiciones de síntesis en el desarrollo de dominios grafiticos, el grado de carbonización y la posible formación de subproductos cristalinos.

Tabla 3

Análisis comparativo a partir de la borra de café para la obtención de CQDs

Parámetro clave	Pirólisis	Microondas
Tamaño (DLS)	10-12 nm (mayor dispersión)	8 a 10 nm (más uniforme)
Morfología (TEM)	Tendencia a agregación	Partículas esféricas bien dispersas
Emisión máxima (PL)	~430-440 nm	~345-350 nm
Excitación máxima	~330-340 nm	~305-315 nm
Patrón XRD	Picos cristalinos definidos	Halo amorfo predominante
Estructura global	Mayor contribución cristalina residual	Predominantemente amorfa

El resumen comparativo se aprecia en la Tabla 3.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que la ruta de síntesis influye de manera determinante en la estructura y propiedades fotoluminiscentes de CQDs. Aunque los dos métodos permitieron dichas propiedades, las diferencias observadas en tamaño, orden estructural y comportamiento óptico pueden evidenciar mecanismos de formación distintos ([Liu, J. et al., 2020](#)).

En términos morfológicos, la síntesis por microondas generó partículas más pequeñas y menos dispersas que la pirólisis, la cual produjo un rango más amplio. Este comportamiento puede explicarse debido al mecanismo térmico involucrado, puesto que la utilización de la pirólisis requiere de un calentamiento progresivo y de un mayor tiempo de residencia térmica, facilitando que ocurran fenómenos de coalescencia y de crecimiento secundario. A diferencia del calentamiento volumétrico rápido, propio del microondas, que induce nucleación casi instantánea, lo que limita el crecimiento y favorece mayor uniformidad dimensional ([Xia et al., 2022](#)).

Estas diferencias estructurales se reflejan directamente en las propiedades ópticas. La muestra obtenida por microondas presentó emisión desplazada hacia menores longitudes de onda (~345-350 nm), mientras que la pirólisis mostró emisión en la región azul más profunda (~430-440 nm). El corrimiento espectral observado puede asociarse al tamaño del dominio conjugado y a la densidad de estados superficiales emisivos ([Banquer et al., 2023](#); [Saboorizadeh et al., 2021](#)). El comportamiento dependiente de la excitación en ambas muestras es consistente con la presencia de múltiples estados energéticos superficiales, ampliamente reportados para CQDs.

La muestra obtenida por pirólisis demostró que, al variar la longitud de onda de excitación, se experimenta una dispersión mayor en la posición de los máximos de emisión, sugiriendo que hay una distribución en los centros emisivos, lo que podría ocasionarse por una carbonización más prolongada. En contraste, el proceso de microondas asistida, mostró un comportamiento espectral más uniforme, probablemente a causa de la nucleación rápida durante la formación de nanopartículas ([Chen et al., 2022](#); [Ozyurt et al., 2023](#)).

Desde el punto de vista estructural, el análisis por XRD mostró diferencias claras en el grado de orden



interno. La muestra sintetizada por microondas presentó un halo amorfo predominante en la región 15–30° (2 θ), característico de carbono desordenado con dominios grafiticos de bajo orden, comportamiento típico de CQDs con estructura amorfa. Este carácter amorfo ha demostrado que la desorganización estructural favorece la generación de estados electrónicos localizados responsables de la fluorescencia ([Safamariyam et al., 2025](#); [Sen & Sarma, 2026](#); [Wang et al., 2025](#)).

En contraste, la muestra obtenida por pirólisis mostró reflexiones cristalinas más definidas, lo que indica mayor contribución de fases ordenadas dentro del sistema global. Este fenómeno puede atribuirse al mayor tiempo y temperatura de exposición térmica, que favorecen la reorganización estructural y la posible formación de dominios más estables. Sin embargo, una mayor cristalinidad no implica mejor desempeño fotoluminiscente, ya que la emisión de CQDs está fuertemente asociada a defectos y estados superficiales más que a redes grafiticas perfectamente ordenadas ([Liu, J. et al., 2020](#); [Liu, L. et al., 2020](#); [Liu, O. et al., 2025](#)).

Esta investigación aporta evidencia sobre la relación entre parámetros de síntesis térmica y las propiedades fotoluminiscentes de los CQDs derivadas de la biomasa. En particular, la comparación entre los dos métodos demuestra que el control de la temperatura y del mecanismo de calentamiento influye directamente en el tamaño de partícula, la organización estructural y la posición espectral de la emisión fluorescente. Ahora, desde el punto de vista tecnológico, estos hallazgos pueden utilizarse como una estrategia para modular las propiedades ópticas según la aplicación que se requiere dar. Lo cual resulta fundamental para aplicaciones en sensores fluorescentes, bioimagen y dispositivos optoelectrónicos ([Bhosle et al., 2022](#); [Zhao et al., 2023](#)).

Entre las principales fortalezas de este estudio se encuentra la comparación experimental directa de dos rutas de síntesis ampliamente utilizadas para la obtención de los CQDs, empleando el mismo precursor carbonoso derivado de la biomasa residual. Sin embargo, existen ciertas limitaciones que deben considerarse, como el número de ensayos experimentales, siendo estos limitados debido a que no se realizaron réplicas experimentales. Esto puede restringir el alcance estadístico sobre los factores significativos de cada método. Ya que futuras investigaciones podrían basarse en diseños experimentales factoriales como diseños 2k fraccionados con puntos centrales y axiales con el fin de evaluar de manera más robusta la variabilidad experimental. Otros estudios podrían incorporar técnicas complementarias como espectroscopia Raman, FTIR o microscopía electrónica de alta resolución para comprender el mecanismo de formación de CQDs.

En conjunto, la pirólisis favorece la formación de dominios carbonosos con emisiones fluorescentes más intensas en la región visible, mientras que el microondas tiende a generar nanopartículas de menor tamaño con imágenes espectrales con menores longitudes de onda.

Conclusiones

Este trabajo comparó dos rutas de síntesis de puntos cuánticos de carbono (CQDs) a partir de borra de café (*coffea arabica*), así como sus propiedades ópticas y estructurales. Los resultados demostraron que los dos métodos permiten la obtención de nanomateriales fluorescentes. Sin embargo, el proceso asistido por microondas favoreció la formación de nanopartículas de un tamaño menor y de distribución más uniforme. Por su parte, la pirólisis generó materiales más dispersos en los estados emisivos, lo cual podría relacionarse con variaciones en el grado de carbonización y en la oxidación superficial.

El análisis presenta un enfrentamiento experimental directo entre los métodos sintéticos que usan el mismo precursor carbonoso. En consecuencia, esto permitió observar la diferencia en la distribución de

tamaños, el comportamiento fotoluminiscente y el ordenamiento estructural de los CQDs. Esta metodología ayuda a conocer la relación entre las condiciones de síntesis y las propiedades funcionales del material elaborado a partir de residuos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la síntesis por pirólisis fue el método más favorable para la obtención de una mayor intensidad de emisión fluorescente. La muestra obtenida por esta ruta mostró un pico de emisión centrado en 430–440 nm, que fue mayor que el obtenido por síntesis de microondas. Si bien el método por microondas permitió la obtención de partículas de menor tamaño y mayor homogeneidad, la pirólisis presentó un mejor desempeño óptico, por lo que sería más adecuado si se pretende mejorar la respuesta fluorescente.



No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones metodológicas. La caracterización estructural se basó principalmente en la difracción de rayos X, lo que permite identificar el grado de ordenamiento general del carbono, pero no proporciona información detallada sobre defectos que pueden presentarse a nivel estructural o dominios grafiticos a nanoescala.

En investigaciones futuras, se recomienda el uso de técnicas complementarias de caracterización, tales como Raman y XPS, que permitan obtener más información sobre los defectos estructurales y los estados electrónicos superficiales responsables de la emisión fluorescente. De igual forma, se podría caracterizar el desempeño de los CQDs obtenidos en aplicaciones posibles como sensores ambientales o sistemas optoelectrónicos. Además, sería pertinente evaluar el efecto de otros parámetros de síntesis, como la temperatura, el tiempo de reacción o el uso de diferentes precursores de biomasa con respecto a la optimización de las propiedades funcionales del material.

Referencias

- Ali, M. A., & Bhowmik, S. (2025). Bioactive compounds in coffee husk: Extraction, functional properties, applications, and sustainable approach in circular economy. *RSC Sustainability*, 3(10), 4410–4425. <https://doi.org/10.1039/D5SU00531K>
- Banger, A., Gautam, S., Jadoun, S., Jangid, N. K., Srivastava, A., Pulidindi, I. N., Dwivedi, J., & Srivastava, M. (2023). Synthetic Methods and Applications of Carbon Nanodots. *Catalysts*, 13(5), 858. <https://doi.org/10.3390/catal13050858>
- Bhosle, A. A., Banerjee, M., Hiremath, S. D., Sisodiya, D. S., Naik, V. G., Barooah, N., Bhasikuttan, A. C., Chattopadhyay, A., & Chatterjee, A. (2022). A combination of a graphene quantum dots–cationic red dye donor–acceptor pair and cucurbit[7]uril as a supramolecular sensor for ultrasensitive detection of cancer biomarkers spermine and spermidine. *Journal of Materials Chemistry B*, 10(40), <https://doi.org/10.1039/D2TB01269C>
- Chen, M., Liu, C., Zhai, J., An, Y., Li, Y., Zheng, Y., Tian, H., Shi, R., He, X., & Lin, X. (2022). Preparation of solvent-free starch-based carbon dots for the selective detection of Ru³⁺ ions. *RSC Advances*, 12(29), 18779–18783. <https://doi.org/10.1039/D2RA03277E>
- Coral-Velasco, D. A., Correa, L. F., Sánchez, Ó. J., & Gómez, J. A. (2024). Process design and techno-economic assessment of cellulolytic enzymes production from coffee husk through process simulation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(7), 8353–8373. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03130-8>
- Crista, D. M. A., El Mragui, A., Algarra, M., Esteves Da Silva, J. C. G., Luque, R., & Pinto Da Silva, L. (2020). Turning Spent Coffee Grounds into Sustainable Precursors for the Fabrication of Carbon Dots. *Nanomaterials*, 10(6), 1209. <https://doi.org/10.3390/nano10061209>
- Cui, L., Ren, X., Sun, M., Liu, H., & Xia, L. (2021). Carbon Dots: Synthesis, Properties and Applications. *Nanomaterials*, 11(12), 3419. <https://doi.org/10.3390/nano11123419>
- Fathi-karkan, S., Nasiri, S., Hasannia, M., Rahdar, A., Nouri, M., Najafi, M., Basiri, A., Tehrani, F. S., Hashemi, S. M., & Romanholo Ferreira, L. F. (2025). Green carbon dots and theranostic applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 108, 106861. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2025.106861>
- Jiang, N., Tao, Y., Wang, R., Zhao, X., Ren, J., Jiang, C., Xu, Z., Zhuang, X., & Shi, C. (2025). Sustainable Conversion of Coffee Ground Waste into Carbon Dots for Sensing Food Antioxidants. *Foods*, 14(22), 3922. <https://doi.org/10.3390/foods14223922>
- Kang, C., Huang, Y., Yang, H., Yan, X. F., & Chen, Z. P. (2020). A Review of Carbon Dots Produced from Biomass Wastes. *Nanomaterials*, 10(11), 2316. <https://doi.org/10.3390/nano10112316>
- Liu, J., Li, R., & Yang, B. (2020). Carbon Dots: A New Type of Carbon-Based Nanomaterial with Wide Applications. *ACS Central Science*, 6(12). <https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c01306>
- Liu, L., Wang, Y., Sun, F., Dai, Y., Wang, S., Bai, Y., Li, L., Li, T., Zhang, T., & Qin, S. (2020). “Top-down” and “bottom-up” strategies for wafer-scaled miniaturized gas sensors design and fabrication. *Microsystems & Nanoengineering*, 6(31). <https://doi.org/10.1038/s41378-020-0144-4>
- Liu, Q., Chen, H., Mi, R., Min, X., Fang, M., Wu, X., Huang, Z., & Liu, Y. (2025). Biomass-Derived Carbon Dots: Preparation, Properties, and Applications. *Nanomaterials*, 15(16), 1279. <https://doi.org/10.3390/nano15161279>
- Nazar, M., Hasan, M., Wirjosentono, B., Gani, B. A., & Nada, C. E. (2024). Microwave Synthesis of Carbon Quantum Dots from Arabica Coffee Ground for Fluorescence Detection of Fe³⁺, Pb²⁺, and Cr³⁺. *ACS Omega*, 9(18), 20571–20581. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02254>



Ozyurt, D., Kobaisi, M. A., Hocking, R. K., & Fox, B. (2023). Properties, synthesis, and applications of carbon dots: A review. *Carbon Trends*, 12, 100276.

<https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100276>

Paćzkowski, P., Kyshkarova, V., Nikolenko, V., Arkhipenko, O., Melnyk, I., & Gawdzik, B. (2025). Microwave-Assisted Preparation of Coffee-Based Activated Carbons: Characteristics, Properties, and Potential Application as Adsorbents for Water Purification. *Molecules*, 30(20), 4123.

<https://doi.org/10.3390/molecules30204123>

SaboORIZADEH, B., ZARE-DORABEI, R., & SHAHBAZI, N. (2021). Green synthesis of carbon quantum dots and their application as a fluorometric sensor for highly selective determination of 6-mercaptopurine in biological samples. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 129, 389–395.

<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.09.015>

Safamariyam, E., Synumol, K. P., Panicker, A. J., Sha, M. S., Roshan, S., Dakua, S. P., Chandrasekar, V., Singh, A. V., & Sadasivuni, K. K. (2025). An Insight Into Unveiling Nano Luminescence for Industrial Dye Detection. *Journal of Fluorescence*, 35(9), 8257–8268.

<https://doi.org/10.1007/s10895-025-04151-y>

Sen, B., & Sarma, H. (2026). Carbon quantum dots as multifunctional nanomaterials for sustainable optoelectronic biosensing and green photonics. *Communications Materials*, 7(47).

<https://doi.org/10.1038/s43246-025-01056-y>

Suraj, P., Sreekumar, S., Arun, P., & Muraleedharan, C. (2024). Feasibility study of coffee husk char-derived carbon dots to enhance solar photovoltaic-thermal applications. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 179, 106509.

<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2024.106509>

Vu, T. T., Hoang, B. L., Hoang, T. H., Pham, V. D., Dao, T. N., Trinh, T. H. T., & Nguyen, D. C. (2025). Green synthesis and multi-Gaussian analysis of carbon quantum dots from orange peels: Optical properties, phonon interactions, and Huang-Rhys factor characterization. *Scientific Reports*, 16(478).

<https://doi.org/10.1038/s41598-025-29913-3>

Wang, Y., Wang, Q., Liu, W., Xin, X., & Zhao, B. (2025). A Review on the Synthesis of Carbon Dots and Their Applications in Environmental Analysis. *Crystals*, 15(5), 384.

<https://doi.org/10.3390/cryst15050384>

Xia, L., Li, X., Zhang, Y., Zhou, K., Yuan, L., Shi, R., Zhang, K., & Fu, Q. (2022). Sustainable and Green

Synthesis of Waste-Biomass-Derived Carbon Dots for Parallel and Semi-Quantitative Visual Detection of Cr(VI) and Fe³⁺. *Molecules*, 27(4), 1258. <https://doi.org/10.3390/molecules27041258>

Yi, H., Liu, J., Yao, J., Wang, R., Shi, W., & Lu, C. (2022). Photoluminescence Mechanism of Carbon Dots: Triggering Multiple Color Emissions through Controlling the Degree of Protonation. *Molecules*, 27(19), 6517.

<https://doi.org/10.3390/molecules27196517>

Zhao, N., Song, J., Ye, H., & Zhao, L. (2023). A pH-dependent N, P co-doped carbon dots as fluorescent probe for malachite green assay and its visual application based on fluorescent hydrogel kit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 221, 112985.

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112985>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Financiación

Todos los costos asociados a la realización de este estudio fueron cubiertos por el autor. No se recibió financiación, subvención ni patrocinio externo.

Agradecimientos

Se agradece a las instituciones y personas que facilitaron la realización de este estudio, así como a los participantes que brindaron su colaboración. Se reconoce el apoyo técnico y logístico recibido, que fue fundamental para el desarrollo adecuado de la investigación.

© El/Los autor(es) 2026. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 (CC BY 4.0), que permite el uso, la distribución, la adaptación y la reproducción en cualquier medio o formato, siempre que se otorgue el crédito adecuado al/los autor(es) y a la fuente, se incluya un enlace a la licencia y se indique si se han realizado cambios.

Las imágenes u otro material de terceros incluidos en este artículo están cubiertos por la licencia Creative Commons del artículo, salvo que se indique lo contrario en una línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons y el uso previsto no está permitido por la legislación vigente o excede el uso permitido, será necesario obtener autorización directamente del titular de los derechos.

Puede consultarse una copia de la licencia en: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

La renuncia a la dedicación al dominio público de Creative Commons (CC0 1.0); <http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> Se aplica a los datos disponibles en este artículo, salvo indicación contraria en la línea de crédito correspondiente.





scienceevolution

REVISTA



Perú, 24 de febrero de 2026

CARTA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO

Autores:

Katherine Elizabeth Guzmán Arízaga
Ana Karina Villacrés Yépez
Milton Giovanni Quinga Socasi
Víctor Rodríguez Masabanda
Lorena Valeria Moscoso Vallejo

Saludos cordiales;

Por medio de la presente me dirijo a ustedes, en mi calidad de Editor en Jefe de la Revista de Investigación Científica e Interdisciplinaria, con el propósito de notificarles que su artículo científico, titulado: **"Síntesis Verde de Puntos Cuánticos de Carbono a partir de Borra de Coffea Arabica: Comparación entre Pirólisis y Microondas"**, ha sido aceptado para ser publicado en la **Revista Scienceevolution** en el volumen 5,1 (período enero a marzo), correspondiente al primer trimestre del año 2026.

ISSN: 2810-8728 (en línea)

Editorial: SCIENCEEVOLUTION INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EDITORIAL & COMUNICACIONES S.A.C.S.

RUC: 20612331180

DOI Prefijo: 10.61325

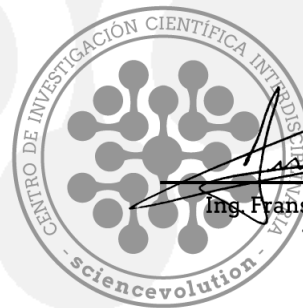
ARK: <https://n2t.net/ark:/55066/>

URL: <https://revista.scienceevolution.com>

Conoce más sobre nuestras >>> [Indexaciones Internacionales](#)

Constancia, que se expide a los veinticuatro días de febrero de dos mil veintiséis.

Atentamente,



Ing. Fransy Paol Caveró Bossio
Editor en Jefe

Se deja constancia de que el autor da su conformidad a todos los términos y condiciones establecidos por [Revista Scienceevolution](#), incluyendo las políticas editoriales, de revisión, publicación, acceso abierto, derechos de autor, entre otras, las cuales podrán ser modificadas por el Comité Editorial según las necesidades operativas de la revista (infórmese en la sección de Políticas de la Revista: <https://revista.scienceevolution.com/>).



<https://revista.scienceevolution.com>

editorial@scienceevolution.com

(+51) 901 458 348

ISSN: 2810-8728 (En línea)

SCIENCEEVOLUTION INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EDITORIAL & COMUNICACIONES S.A.C.S.

RUC: 20612331180



ACREDITACIÓN INTERNACIONAL



BUENAS PRÁCTICAS EDITORIALES



INDEXACIÓN INTERNACIONAL



LICENCIA DERECHOS DE AUTOR 4.0

