



Cuernavaca, Mor., a 25 de enero de 2022.

**DRA. MARÍA ELENA NICHÓ DÍAZ**  
**DRA. MARÍA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS**  
**DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS**  
**DRA. MARÍA LUISA GARCÍA BENTANCOURT**  
**MTRA. GENOVEVA BUSTOSRIVERA BAHENA**  
**P R E S E N T E**

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** de la **TESIS** Titulada:

Síntesis verde de nanopartículas de Cobre empleando fitoextractos de *Ocimum sanctum* (albahaca morada) y *Jacaranda mimosaeifolia* (jacaranda).

Que presenta la **C. ADBEELY BETSUA JIMÉNEZ CARRASCO**, del programa educativo de **QUÍMICO INDUSTRIAL**.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA**

**D I C T A M E N**

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNANDEZ**  
**DIRECTORA DE LA FCQeI**  
**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTAMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	<b>DRA. MARÍA ELENA NICHÓ DÍAZ</b>	
	<b>DRA. MARIA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS</b>	
	<b>DRA. ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS</b>	
	<b>DRA. MARÍA LUISA GARCÍA BETANCOURT</b>	
	<b>MTRA. GENOVENA BUSTOSRIVERA BAHENA</b>	

VALH / vdv

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209,  
Tel. (777) 329 70,00, Ext. 7039/ fcqei@uaem.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

#### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2022-01-25 22:21:21 | Firmante**

VAB0ESk/uAR0DscHKcwx9xUGPhAtRt/Bb183f/QGjcOVTh+E5yq8q9seiNzbCo0GqQKC6l/kWXaaLLSOqkHKRb9686VafPfvhz/iQUxbEDIHvFEUkntwrRoBB/BF/3l0dlZYGj  
uo5jOQ68yvlnOJxnit6pocUZxH+NUoSth5csy0seeNCC5O7EzQij4+5kzGsNU0o3CpdoNZij9C5cN9Z4moFIdRcEdg6mkRL51dBmW1rN98+5ktcK/ajZRrYQWenNFvkvsMQI9  
UwSilehb+Vta2p78D36lHnoOILENwVeOxsPjkd29TyiREg7o38jXP+kfEpecUHCa5uMbrlFxUA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**5KjhcQV79**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/DPyqqtBoINlq5HYUJDWc0unPyaWQ1RKA>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**GENOVEVA BUSTOS RIVERA BAHENA | Fecha:2022-01-27 10:38:28 | Firmante**

QWTQjFawdush9z7G1VYP6DAGjoCbZ/4F8DiA7P7k3kRMzIRkX2PsWJ5hAndBV2V1ltqjAn3m1WeqX1I0BdYYBNW7kunS76U6SgZlvmX7oXCDs81uoXaQC/Lpyp0Q07ixdADi8l1+dFLwY4mVLCFAULnUuDxhuuqjKiMcnQtG0fqGUVLExZ2kfJZQcw+31H3ogrWEc93Hj2Na+s+6rll/dqCA+fvLSdJp+3924eN99YzZYPZrZTp2IQHfGQRAgjX2JV6ARgXy2R6ZMvLf4SD2NsyounT+F0mhzJnLbdDDCUeo4601NmHTZM4BOaYzlb/3Rq/LnYl49w+7GA4XcFow==

**MARIA ELENA NICHÓ DIAZ | Fecha:2022-01-27 14:43:21 | Firmante**

cMHgVb1zeuqfQrcZcJ9rX7OyMyHG4kodYE1b1370ZUr3laeUm1MUPafhH3V3W7r0TOHUJfzJ7VnZIFE0kthhb09JeR/U3BSYJeo0qZ33AZYFS4hd3ktefvT05JpScfEdmggguYkF/MjNvRj2V0f/0tkaB/l1QTRrBsw0Hx/6E4sTkt/PYWuOCpOKiz84mSfxRscTbPGiGMieN2MXjrussg71Ejy/MX2MzxWtIB3btmSBisyhtZQWv8Hf6K5Ya6r+chlRgzOIHKJoviMYrUCHdwlCSc4hTtexTL0v34Sx/PVUPOHVZK851knCaZf67DQ27c6ok7HaXMOY3i5CAV9Qg==

**MARIA GUADALUPE VALLADARES CISNEROS | Fecha:2022-01-27 17:20:32 | Firmante**

X9DlmmJaTPs293l/yuw9DVoolSEJhqngWeZUhx6LcPSbD3eZcbBs74d87HRnZYf2cwjUe0BTG4DFaL3d7hHPVIAvXxh3SUIjsbswMMvt4faSAX2HNoi30pPLigAx8CcGw171wzmnKsUsthtBmI9Y65JdM1SOY2rBBPuG6WdNMZdsTxbLNSD7BilulJ9d3cl8eXlv13Bvr4Nez1+AkjYkWzEI8Hf+yEW+bPkmnAd9i+LQVmgSb7vRSMLrZWUbxABG3y4gA4zBOAD0GpGDorb9WByPb11UCINer5bck8g+Cofw3+kPiaxVfIiauj6wVcrHQFGf5iM8aAEf/g5mhVMrZA==

**MARIA LUISA GARCIA BETANCOURT | Fecha:2022-01-28 09:33:50 | Firmante**

O2dA7EEbrNRabFCYHNDZ8197GXR9GImd9MmeQSAAdVg0HiOvTWTKAF7RgZlplvK+iXUZfYj3CGPC7GrDowgEvV+PGjZgSQirF+Mve8qL+GqS2L/y++7vHJscF+hY4BuLEWgxCRsWcfuQtE9pManJtlolKqGNt5TtyW5cyVYEZ0aZD5BNSy3pYRvYd0fH4izsAjIH3HQ+3Nzl+qE/vkaDH/oOlp79sKQ6T3xMXZBPEOMWHYdy6i6zEJA567HDQdtdlPJGNv957ScCu5DufYwnIsXJJsJ1d9IEffoJQiOZ0x++KC1mjVgHYBjx+Y+8wF4RvfNNBh9S0H+dOUu7oArA==

**ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS | Fecha:2022-01-30 20:05:39 | Firmante**

qCRLEHqzAlm/o5y7IS4BnLqFOZk0l1fCw+Za0PDqV/80Nbv9F6jPdhSy2AYSdxFGrzvY7Z08VfnFjgJfhG1xga9RDRP59T531stjADH6JTfB4WIFeOTa+GYWUMChKI37Alwn3mdR+1/Z5OTRnlUTFIFjgZ200OcYkXP3Mvr0F7VAfll3hEe+jd0uCGpluyrqENmJ8wGTIY0wxfN+0pU+hXWWD0NrpZ9Y8MBFP98/RFoIXs1Q3SjvRTpUuiG9KR0X0zdye2HjSnKcXOUQ2KjckQnzKbFmzmCEd1pAcpdulwEJNBnLwQHEvctSrN3XdTi4Ya3diDShOf8cngzFdXNg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



AlabpC2fK

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/072rXeutfijIKkX5RNTJTYGUcZFWM0ip>





FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

Síntesis verde de nanopartículas de Cobre empleando  
fitoextractos de *Ocimum sanctum* (albahaca morada) y  
*Jacaranda mimosaeifolia* (jacaranda).

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

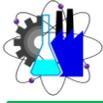
Q U Í M I C O   I N D U S T R I A L

P R E S E N T A:

ADBEELY BETSUA JIMÉNEZ CARRASCO

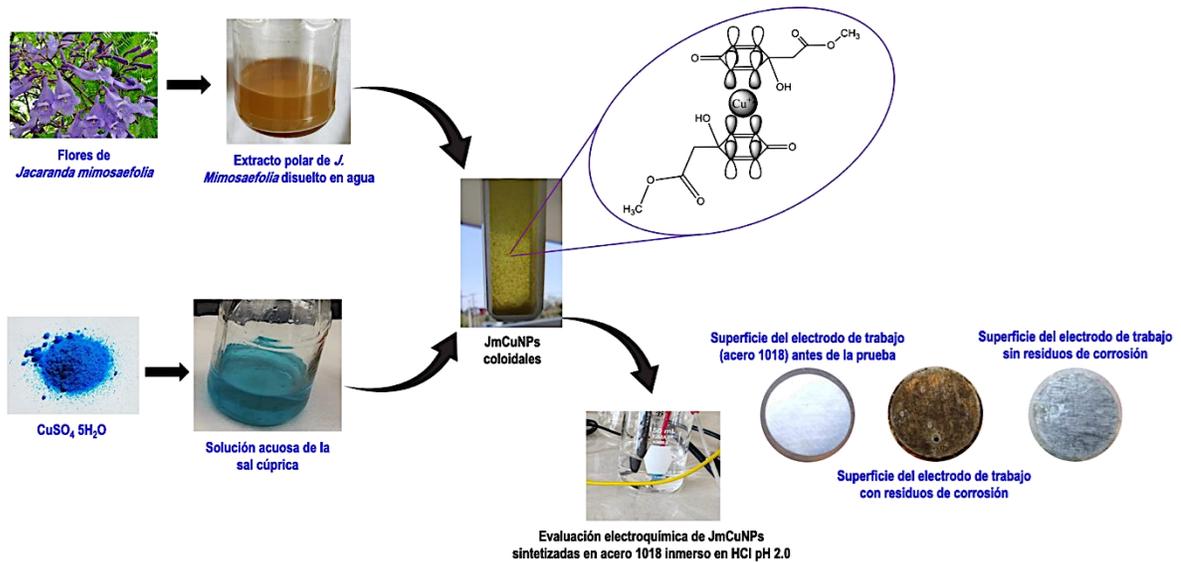
DIRECTORA

Dra. María Guadalupe Valladares Cisneros



## PRESENTACIÓN

El presente proyecto de investigación para sustentar la tesis de Licenciatura de Químico Industrial de **Adbeely Betsua Jiménez Carrasco** se realizó en el Laboratorio de Investigación de Productos Fitoquímicos Bioactivos de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Bajo la dirección de la Dra. María Guadalupe Valladares Cisneros, responsable del laboratorio.





---

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

Quiero expresar mi agradecimiento a la directora de esta tesis, Dra. María Guadalupe Valladares Cisneros, por todo el esfuerzo, tiempo y dedicación que ha mostrado hacia mí y a este trabajo, quien, con sus conocimientos, apoyo moral y su valiosa amistad me guio a cada una de las etapas de mi carrera profesional. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad.

Agradezco a mis padres, por darme la vida, por darme una infancia llena de felicidad, por haberme brindado su comprensión, paciencia y apoyo incondicional, por sus consejos y por creer en mí siempre, por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio.

Gracias a mi madre por ser mi confidente y amiga, por escucharme y siempre tener algo que decirme, por prestarme su hombro para desahogarme en llanto, porque siempre ha estado en el momento preciso para extenderme su mano.



---

A mi padre por ser un ejemplo mío, por ser mi cómplice en tantas travesuras, por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mis amigos de la universidad Delizaiel y Jesús, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.



---

## DEDICATORIA

A Dios:

Por haber estado conmigo a cada paso que doy, por haberme dado fuerza y sabiduría, guiándome para la realización de este estudio, por dame salud y actitud para cumplir mis metas.

A mis padres:

**José Luis Jiménez Molina**

**Amalia María Carrasco González**

Quienes fueron mi principal fuente de apoyo, mi aliento cuando más necesitaba de ellos, por haberme brindado su amor, paciencia y apoyo incondicional desde el inicio de este proyecto, ya que forman un pilar muy importan en mi vida.

A mi hermano y su esposa:

**Luis Iván Jiménez Carrasco**

**Nicole Silva Luna**

Que siempre me alentaron y dieron ánimos al realizar este proyecto. Han llenado mi corazón con la luz de su espíritu dejando que cumpla esta meta.



---

A mi sobrino:

**Luis Atl Jiménez Silva**

Por ofrecerme su amor, cariño incondicional y darme alegrías en esta etapa de mi vida.

A mi novio:

**Jesús Quezada Urbina**

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste ayudándome y motivándome hasta donde tus alcances lo permitieran incluso más.

A mi mascota:

**Jimina**

Mientras escribía esta tesis se pasaba horas tumbada a mis pies dándome calor y compañía.



## RESUMEN

Se estudió el potencial reductor del extracto acuoso de las partes aéreas de *Ocimum sanctum* (albahaca morada) y del extracto metanólico de las flores de *Jacaranda mimosaeifolia* (jacaranda) para la síntesis verde de nanopartículas coloidales de Cobre (CuNPs).

La adaptación de la metodología de síntesis de CuNPs a partir de extractos acuosos empleando fitoextractos orgánicos, lo que permitió establecer una nueva metodología de síntesis que resultó ser sencilla, económica y amigable con el medio ambiente. Por lo que el fitoextracto de jacaranda permitió la formación de CuNPs (JmCuNPs) coloidales a pH neutro, temperatura ambiente y en condiciones estáticas en un tiempo de 24 h de reacción. Sin embargo, las JmCuNPs lograron ser formadas desde un pH de 4 hasta un pH 10. Las JmCuNPs fueron visualizadas con un máximo de absorción en UV-Vis de 420 nm.

La evaluación preliminar de las JmCuNPs como agentes inhibidores verdes de la corrosión en acero 1018 inmerso en HCl a pH 2, demostró que son estables y que ejercen un efecto de protección sobre el material metálico.



---

## ABSTRACT

The reductive potential of aqueous extract from stems of *Ocimum sanctum* (albahaca morada) and methanol extract from flowers of *Jacaranda mimosaeifolia* (jacaranda) were study in green chemistry synthesis of cupper colloid nanoparticles (CuNPs).

The methodology of synthesis of CuNPs employed aqueous extracts was adapted using organic phytoextracts, that allowed to establish a new synthesis methodology it was turned out to be simply, cheap, and environment friendly. The jacaranda phytoextract permitted to form colloid CuNPs (JmCuNPs) at neutral pH, room temperature in static conditions in 24 has time reaction. However, JmCuNPs could be synthetized at pH from 4 until 10. The JmCuNPs was visualized by UV-Vis spectroscopy with a maximum pick of absorption at 420 nm.

The preliminary evaluation of JmCuNPs as green corrosion inhibitors on 1018 steel immersed in HCl at pH 2, shown that are stables and give protection on metal surface.



---

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Nanotecnología .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Nanomateriales .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Nanopartículas .....</b>	<b>8</b>
2.3.1 Síntesis de nanopartículas.....	9
2.3.1.1 Método top-down:.....	10
2.3.1.2 Método bottom-up: .....	10
2.3.1.3 Síntesis verde.....	13
2.3.2 Caracterización de nanopartículas.....	14
2.3.2.1 Espectrofotometría Ultravioleta-Visible.....	15
2.3.2.2 Ley de Lambert-Beer.....	15



---

2.3.3	Nanocompositos .....	16
2.3.4	Toxicidad de nanopartículas .....	17
<b>2.4</b>	<b>Propiedades de las Nanopartículas de cobre.....</b>	<b>17</b>
2.4.1	Morfología de las CuNPs .....	18
2.4.2	Propiedades biológicas .....	18
2.4.3	Propiedades químicas.....	19
<b>2.5</b>	<b>Síntesis verde de Nanopartículas de cobre.....</b>	<b>19</b>
2.5.1	Metales .....	19
2.5.2	Cobre.....	20
2.5.2.1	Química del cobre.....	20
2.5.3	Empleo de estabilizantes. ....	21
2.5.4	Reductores.....	21
2.5.5	Naturales .....	22
2.5.6	<i>Ocimum sanctum</i> .....	22
2.5.6.1	Clasificación y descripción botánica.....	23
2.5.6.2	Composición química de <i>Ocimum sanctum</i> . ....	24
2.5.7	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> . ....	25
2.5.7.1	Clasificación y descripción botánica.....	25
2.5.7.2	Composición Química de <i>J. mimosaeifolia</i> .....	27
<b>2.6</b>	<b>Aplicaciones de las nanopartículas de cobre.....</b>	<b>29</b>
2.6.1	Protectores de la corrosión. ....	29
2.6.2	Técnicas electroquímicas.....	32
2.6.2.1	Curvas de polarización. ....	32
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>36</b>
5.1	Objetivo general.....	36

---



---

<b>5.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>Estado del arte sobre nanopartículas .....</b>	<b>37</b>
<b>6.2</b>	<b>Metodología experimental.....</b>	<b>38</b>
6.2.1	Materiales.....	38
6.2.2	Equipos.....	40
6.2.3	Obtención del extracto para la síntesis de nanopartículas.....	42
6.2.3.1	Extracto acuoso de hojas de <i>Ocimum sanctum</i> .....	42
6.2.3.2	Extracto metanólico de la flor de <i>Jacaranda mimosaeifolia</i> .....	44
6.2.4	Síntesis de las nanopartículas de cobre (CuNPs) a pH neutro .....	44
6.2.4.1	Utilizando extracto de <i>O. sanctum</i> (OsCuNPs).....	44
6.2.4.2	Utilizando el extracto de la flor de <i>J. mimosaeifolia</i> (JmCuNPs).....	45
6.2.5	Detección de las CuPNs verdes sintetizadas a pH neutro a través de espectrofotometría UV-Vis. ....	46
6.2.6	Influencia del pH en la síntesis de las JmCuNPs.....	47
6.2.6.1	pH ácido.....	47
6.2.6.2	pH básico .....	48
6.2.7	Evaluación de las JmCuNPs como agentes inhibidores de la corrosión de metales. ....	48
6.2.7.1	Curvas de polarización potenciodinámica.....	49
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>7.1</b>	<b>Estado del arte relacionado con nanopartículas sintetizadas con métodos verdes. ....</b>	<b>51</b>
<b>7.2</b>	<b>Nanopartículas obtenidas con extractos naturales. ....</b>	<b>52</b>
7.2.1	CuNPs utilizando el extracto acuoso de las hojas de <i>O. sanctum</i> a pH neutro. ....	52
7.2.2	CuNPs utilizando el extracto metanólico de las flores de <i>J.mimosaeifolia</i> a pH neutro. ....	55

---



---

7.2.3	Influencia del pH en la síntesis de las JmCuNPs.....	58
7.2.4	Evaluación de las JmCuNPs como inhibidores de la corrosión. ....	61
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>81</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Técnicas de caracterización de nanopartículas.

**Tabla 2.** Síntesis de nanopartículas de cobre con diferentes formas a través de método de reducción química.

**Tabla 3.** Análisis de metodologías verdes para síntesis de GNPs.

**Tabla 4.** Parámetros electroquímicos obtenidos mediante Curvas de Polarización del acero 1018 inmerso en una solución HCl pH 2 a 25°C.



---

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Micrografía obtenida en el microscopio electrónico de barrido SEM de nanopartículas de ZnO.

**Figura 2.** Micrografía obtenida en el microscopio electrónico de barrido SEM de los nanotubos de carbono multicapa después del tratamiento ácido.

**Figura 3.** Micrografía obtenida en el microscopio electrónico de barrido SEM de películas delgadas de CZTS preparadas bajo la secuencia Cu/Sn/Zn.

**Figura 4.** Fractura intergranular de un policristal sometido a tracción.

**Figura 5.** Técnicas de síntesis de nanomateriales basados en carbono.

**Figura 6.** Esquema que representa la síntesis por reducción química.

**Figura 7.** Esquema que representa la síntesis por método coloidal.

**Figura 8.** Esquema que representa la síntesis por método de precipitación.

**Figura 9.** Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata.

**Figura 10.** *Ocimum sanctum*.

**Figura 11:** Estructura de los flavonoides.

**Figura 12.** *Jacaranda mimosaeifolia*.

**Figura 13.** Estructura de los ácidos presentes.

**Figura 14.** Métodos de Control de la Corrosión.

**Figura 15.** Gráfica de Tafel.

**Figura 16.** Obtención extracto acuoso de *Ocimum sanctum*.



---

**Figura 17.** Diagrama de síntesis de Nanopartículas con extracto de *Jacaranda mimosaeifolia*.

**Figura 18.** Espectrofotómetro UV-visible Perkin Elmer modelo Lambda 365.

**Figura 19.** Espectrofotómetro UV-visible Baoshishan modelo 721.

**Figura 20.** Celda electroquímica convencional de tres electrodos.

**Figura 21.** Potenciostato Gill AC.

**Figura 22.** Síntesis de nanopartículas verdes empleando Cobre y *Ocimum sanctum*.

**Figura 23.** Formación de nanocompositos a las 72 h.

**Figura 24.** Espectro de UV-Vis de las CuOsGNps.

**Figura 25.** Nanopartículas de Cobre [15 mM] con diferentes concentraciones de extracto metanólico de *Jacaranda mimosaeifolia* al inicio de la reacción.

**Figura 26.** Nanopartículas de Cobre [15 mM] con diferentes concentraciones de extracto metanólico de *Jacaranda mimosaeifolia* a las 24 h de tiempo de reacción.

**Figura 27.** Espectros UV de las muestras de nanopartículas de cobre (CuSO<sub>4</sub>) y extracto de *Jacaranda mimosaeifolia*.

**Figura 28.** Nanopartículas de Cobre [15 mM] y *J. mimosaeifolia* en diferentes pH ácidos en fase acuosa a las 24 horas en fase de reposo.

**Figura 29.** Nanopartículas de Cobre en diferentes pH básicos en fase acuosa al inicio de la reacción.

**Figura 30.** Formación de nanocompositos con un pH de 10 a los 20 minutos de reacción.

**Figura 31.** Espectroscopia UV-Vis de la síntesis de Nanopartículas de cobre a diferentes pHs (4, 5, 6, 8, 9 y 10).



---

**Figura 32.** Curvas de Polarización Potenciodinámica de acero 1018 en HCl pH 2 a 25 °C y con el empleo de JmCuNPs.

**Figura 33.** Electrodo de trabajo (acero 1018) antes y después de los experimentos de Polarización Potenciodinámica.



---

## ABREVIATURAS

0D	Cero dimensional.
1D	Unidimensional.
2D	Bidimensional.
3D	Tridimensional.
Ag	Plata.
AgCl	Cloruro de plata.
AgNO <sub>3</sub>	Nitrato de plata.
Au	Oro.
cm	Centímetros.
CP	Curvas de polarización.
CPP	Curvas de polarización potenciodinámica.
Cu	Cobre.
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 3 H <sub>2</sub> O	Nitrato de cobre trihidratado.
CuCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	Cloruro de cobre (II) dihidrato.
CuNPs	Nanopartículas de cobre.
CuSO <sub>4</sub>	Sulfato de cobre.
DEA	Dietanolamina.
DLS	Luz dinámica.
Ecorr	Potencial de corrosión.
EDX	Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva.
ESR	Espectroscopía por resonancia de espín electrónico.



---

g/L	Gramo por litros.
GCuNPs	Nanopartículas verdes de cobre.
GNPs	Nanopartículas verdes.
h	Horas.
HAuCl <sub>4</sub>	Ácido cloroáurico.
HCl	Ácido clorhídrico.
Hz	Hertz.
Icorr	Intensidad de corrosión.
<i>J. mimosaeifolia</i>	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> .
JmCuNPs	Nanopartículas de cobre con <i>Jacaranda mimosaeifolia</i> .
kHz	Kilo Hertz.
m	Metros.
m <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	Metro cuadrado por centímetro cúbico.
mA	Miliamperio
mg/ml	Miligramos por mililitro.
ml	Mililitros.
mM	Milimolar.
mV/s	Milivolts/segundo
N	Normal.
NaBH <sub>4</sub>	Borohidruro de sodio.
Nm	Nanómetros.
No	Número.
NPs Ag	Nanopartículas de plata.

---



---

NPs Mo	Nanopartículas de molibdeno.
NPs	Nanopartículas.
NSL	Litografía por nanoesferas.
<i>O. sanctum</i>	<i>Ocimum sanctum</i> .
OsCuNPs	Nanopartículas de cobre con <i>Ocimum sanctum</i> .
ppm	Partes por millón.
SEM	Microscopio electrónico de barrido.
TEM	Microscopía electrónica de transmisión.
TGA	Análisis termogravimétrico.
TiOSO <sub>4</sub>	Sulfato de titanilo.
UV-VIS	Ultravioleta-visible.
VSSA	Área superficial por volumen específico.
W	Watt.
Bc	Coeficiente de Tafel catódico.
Ba	Coeficientes de Tafel anódico.



---

## 1 INTRODUCCIÓN

Los constantes avances en la tecnología, así como en la fabricación de nuevos materiales y dispositivos en dimensiones nanométricas, han hecho que hoy en día la nanotecnología capte un gran interés y se proyecte como una solución prometedora a los problemas en el campo científico y tecnológico [1].

En este respecto, la síntesis de nanopartículas ha atraído el interés de investigadores alrededor del mundo en mejorar las metodologías de síntesis que permitan prepararlas con tamaño y forma controlados, como el método por descomposición térmica [2]. Así mismo, son probados diferentes agentes de acoplamiento o reductores en técnicas electroquímicas, microemulsión y reducción química [3].

La mayoría de estas metodologías implican el uso de productos químicos de riesgo biológico. El incremento gradual en la contaminación ambiental ha hecho que la comunidad científica tome conciencia y enfoque sus esfuerzos hacia la búsqueda de nuevas alternativas para la obtención de estas nanopartículas con metodologías limpias que eviten problemas de contaminación ambiental.

Se ha considerado que la síntesis verde representa una de estas alternativas limpias, presumiblemente no tóxica y amigable con el medio ambiente, igualando e incluso sobrepasando las expectativas de las nanopartículas sintetizadas por los otros métodos tradicionales [4].

En la síntesis verde de nanopartículas se encuentra el uso de hongos, bacterias, plantas y sus extractos como agentes de reducción. La reducción de sales



---

de cobre empleando productos naturales es un método de síntesis verde que resulta ser sencillo, accesible y ambientalmente amigable para obtener nanopartículas de cobre [5]. Las cuales pueden ser ampliamente estudiadas en diversas aplicaciones entre las que destacan antibacterianas, como sensores biológicos, en dispositivos electrónicos y ópticos, así como en recubrimientos [6].

En este trabajo se llevó a cabo la síntesis verde de las nanopartículas de cobre empleando extractos vegetales como agentes reductores. Por lo que se realizaron dos diferentes síntesis de nanopartículas de cobre, empleando el extracto acuoso de las hojas de *Ocimum sanctum* (albahaca morada) y el extracto metanólico de las flores de *Jacaranda mimosaeifolia* (jacaranda), como agentes reductores del sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ).



### 2.1 Nanotecnología

En 1959 en una reunión de la Sociedad Estadounidense de Física en el Instituto de Tecnología de California (CalTech, por sus siglas en inglés: California Institute of Technology), el físico Richard Feynman fue el primer investigador en presentar el concepto “Nanotecnología”, describiéndolo como un proceso en el cual se podría manipular y controlar moléculas[7]. El término “nanotecnología” fue usado por primera vez hasta 1974 por Norio Taniguchi, un investigador de la Universidad de Tokio, quien a su vez distinguió el término como la capacidad de manejar materiales a nivel nanométrico [8].

Actualmente el término nanotecnología abarca el diseño (forma y tamaño) y caracterización (conocimiento de las propiedades físico químicas) de la materia a escala nanométrica; para la creación, manipulación y aplicación hacia dispositivos, estructuras y sistemas complejos [8].

Para comprender el quehacer de la nanotecnología es indispensable considerar los cambios que ocurren en las propiedades químicas y físicas de la materia, a escala nanométrica [9]. Estos cambios están asociados al tamaño nanoscópico, están asociados con los electrones confinados en regiones pequeñas del espacio denominados orbitales, y en los estados energéticos que estos guardan, los cuales estos se encuentra cuantizados [10].



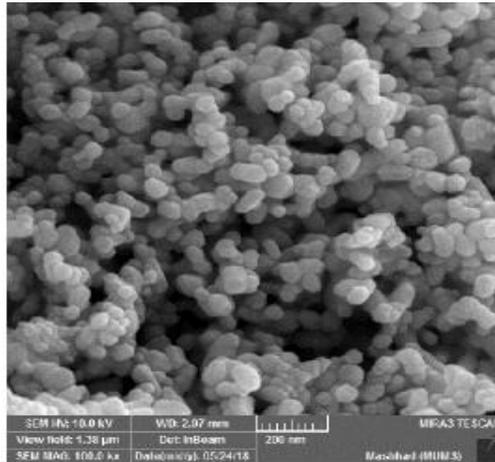
---

## 2.2 Nanomateriales

De acuerdo con la definición de la Organización Internacional de Normas (ISO, por sus siglas en inglés: International Organization for Standardization) los nanomateriales son aquellos cuyo tamaño se encuentra en una escala cercana a los 100 nm y pueden presentar propiedades físicas y químicas diferentes a las sustancias que le dan origen [11]. Se ha observado que los nanomateriales presentan mayor reactividad química en su superficie, por lo que un nanomaterial que presenta un menor tamaño incrementa el área de superficial global [12]. El término nanomaterial abarca todos aquellos materiales desarrollados en la escala nanométrica y estos pueden ser de tipo cerámico, metálico, polimérico, o bien una combinación de entre ellos [12].

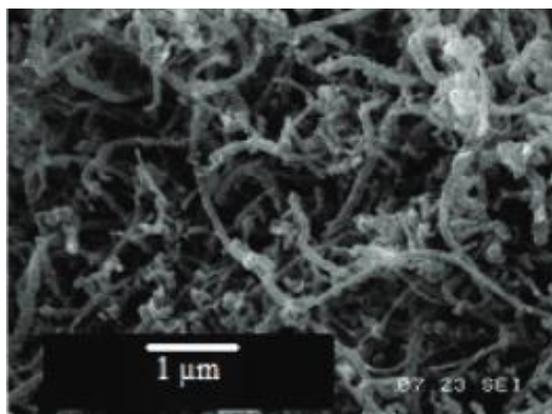
Para que un material sea considerado nanomaterial es necesario que éste posea por lo menos una dimensión en escala nanométrica (1 a 100 nm), existen diversos materiales que van desde escalas 0D hasta 3D, para comprender mejor las dimensiones de los materiales a continuación, se presentan ciertas definiciones y ejemplos de su clasificación.

**Cero dimensional (0D).** Son aquellos nanomateriales que tienen tamaño nanométrico en sus tres dimensiones es decir son menores o iguales a 100 nm ( $X = Y = Z$ ). En éstos se clasifican las nanopartículas, fullerenos y puntos cuánticos [13]. Como ejemplo se presenta la Figura 1 que corresponde a la micrografía de barrido electrónico de nanopartículas de ZnO.



**Figura 1.** Micrografía obtenida en el microscopio electrónico de barrido SEM de nanopartículas de ZnO. [14]

**Unidimensional (1D).** Tienen una longitud variable, conservan dos dimensiones en escala nanométrica. En éstos se clasifica a los nanotubos, nanoalambres y nanofibras [13]. Como ejemplo se presenta la Figura 2 que corresponde a la micrografía de barrido electrónico de los nanotubos de carbono multicapa después del tratamiento ácido.

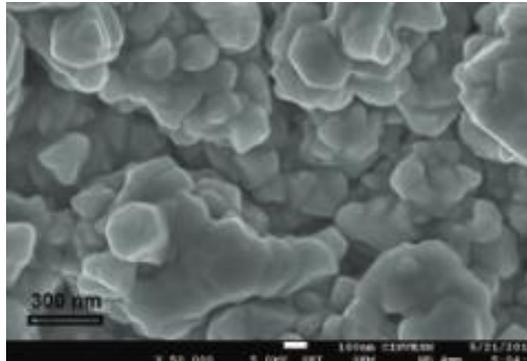


**Figura 2.** Micrografía obtenida en el microscopio electrónico de barrido SEM de los nanotubos de carbono multicapa después del tratamiento ácido.[15]



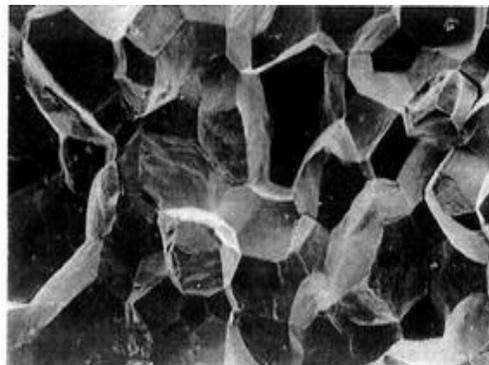
---

**Bidimensional (2D).** Estos nanomateriales presentan sólo una dimensión a escala nanométrica, por ejemplo: Nanorecubrimientos, películas delgadas y el grafeno [13]. Como ejemplo se presenta la Figura 3 que corresponde a la micrografía de barrido electrónico de películas delgadas de CZTS.



**Figura 3.** Micrografía obtenida en el microscopio electrónico de barrido SEM de películas delgadas de CZTS preparadas bajo la secuencia Cu/Sn/Zn. [16]

**Tridimensional (3D).** Según la definición de nanomaterial dada con anterioridad, no se deberían incluir en la categoría de nanoestructuras, ya que todas sus dimensiones son mayores a 100 nm [13]. Como ejemplo se presenta la Figura 4 que corresponde a la micrografía de barrido electrónico de la fractura intergranular de un policristal sometido a tracción.



**Figura 4.** Fractura intergranular de un policristal sometido a tracción. [17]



---

Algunas de las características importantes a considerar en un nanomaterial se describen a continuación [18],[19], [11].

- *Tamaño*: rango de escala entre 1 y 100 nanómetros.
- *Distribución del tamaño*:

Se basa en la concentración de alrededor de la media o mediana del tamaño y no en la concentración en masa.

- *Área superficial por volumen específico*:

Un material con un VSSA menor a  $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  es definido como nanomaterial; sin embargo, para VSSA inferiores todavía existe la posibilidad de que una fracción esté por encima de  $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ .

- *Características físico-químicas*:

Fase cristalina, cristalinidad y pequeñas estructuras, potencial redox, fotocatalisis, potencial para la formación de radicales y solubilidad en agua.

- *Diferencias entre agregados y aglomerados*:

Los primeros son formados a partir de nanopartículas primarias que establecen fuertes enlaces entre sí, mientras que los segundos, se forman a partir de materiales de mayor tamaño, frágiles en estructura.

- *Características orgánicas e inorgánicas*:

Los nanomateriales «suaves o blandos» son orgánicos y a menudo son biodegradables y no biopersistentes. Los nanomateriales artificiales, en gran parte inorgánicos e insolubles, se denominan «duros», no son biodegradables y son potencialmente biopersistentes.



---

## 2.3 Nanopartículas

De acuerdo con la IUPAC (por sus siglas en inglés: International Union of Pure and Applied Chemistry) define nanopartícula como una partícula de cualquier forma con dimensiones en el rango de 1-100 nm [20].

Las nanopartículas poseen propiedades químicas y físicas, éstas dependen de su composición, masa, volumen y diversos parámetros que son definidos conforme al método de síntesis. Las propiedades más importantes se describen a continuación [21]:

- Propiedades ópticas.

Su tamaño nanométrico limita el grosor de la capa de electrones comunes de los metales; este fenómeno genera efectos cuánticos. Cuanto más pequeñas sean las partículas, mayor será la eficiencia de absorción de éstas.

- Uniformidad.

Los racimos, agregados o filamentos, es decir, los conjuntos moleculares o atómicos que forman nanopartículas se definen por la interacción de fuerzas entre las moléculas o átomos de una partícula y las fuerzas de interacción entre partículas.

- Funcionalización.

Las nanopartículas de cualquier tipo se pueden vincular a entidades microbiológicas de forma aleatoria, a través de procesos naturales que ocurren en la atmósfera, el agua o en la superficie de la Tierra.

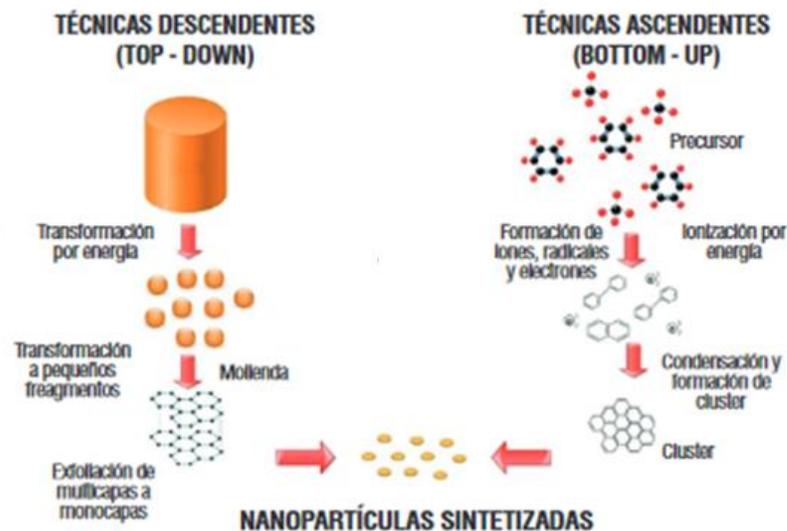
- Confinamiento cuántico.



Los cambios en las propiedades dependientes del tamaño también incluyen el confinamiento cuántico (cuando los electrones en un material se encuentran restringidos a moverse en una región muy pequeña del espacio se dice que están confinados), un fenómeno que causa propiedades espontáneas de semiconductividad, conductividad o aislamiento eléctrico.

### 2.3.1 Síntesis de nanopartículas.

La síntesis de la materia a escala nanométrica actualmente se lleva a cabo mediante dos estrategias diametralmente opuestas: por un lado, se encuentran las técnicas descendentes o “top-down” y por otro, las técnicas ascendentes o “bottom-up” [22]. En la Figura 5 se describen las características generales de ambas técnicas.



**Figura 5.** Técnicas de síntesis de nanomateriales basados en carbono (Modificado de [23]).



---

### 2.3.1.1 Método top-down:

Se inicia fragmentando o dividiendo el material macroscópico hasta llegar al tamaño nanométrico. Para ello se usan métodos físicos como la molienda o el desgaste, la fusión y ebullición hasta lograr la volatilización de los átomos y finalmente se realiza la condensación de los componentes volatilizados, hasta obtener una serie de ensambles que van siendo controlados con precisión al tamaño deseado [23].

Las técnicas más utilizadas son la molienda y la litografía , por ejemplo, para la obtención de nanopartículas de molibdeno (NPs Mo) se utiliza el método de molienda [24], para producir arreglos ordenados de las nanopartículas de plata (NPs Ag) con propiedades plasmónicas se utiliza la técnica de litografía por nanoesferas (NSL) siendo una variante de esta [25].

### 2.3.1.2 Método bottom-up:

Este método se basa en la construcción de estructuras y objetos a partir de componentes atómicos y moleculares. Pequeñas estructuras son ensambladas para construir estructuras de mayor tamaño, por ejemplo, el empleo del método de sol-gel y de precursores tales como el  $\text{TiOSO}_4$  permite obtener nanopartículas de dióxido de titanio con un tamaño de 10 nm [26].

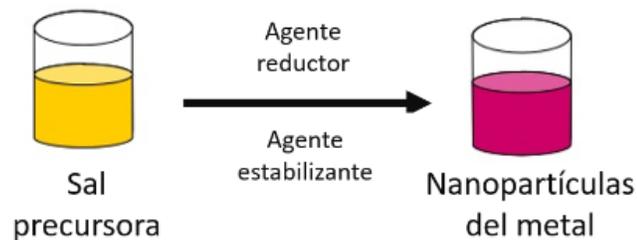
En el método "bottom-up", se encuentran aplicadas diferentes metodologías como reducción electroquímica, sol-gel, reducción química, generación de coloides y precipitación; las tres últimas de estas técnicas se describen a continuación.



---

– Reducción química:

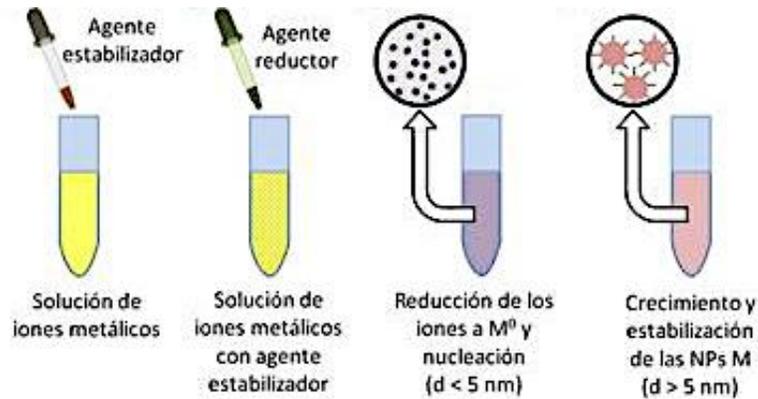
Método de síntesis que se basa en la pérdida de electrones de un átomo (agente reductor) y la ganancia de éstos por otro de los átomos (agente oxidante), para la obtención de nanopartículas (NPs). Este proceso consiste en colocar la sal precursora y el agente reductor en solución para dar paso a los procesos de oxidación o reducción, finalmente obteniendo la formación de NPs como se muestra en la Figura 6, tal es el caso de la obtención del cobre (Cu). La descripción detallada de la formación de NPs mediante este método de síntesis se presenta en el capítulo 4.



**Figura 6.** Esquema que representa la síntesis por reducción química (Obtenido de [5]).

– Coloidal:

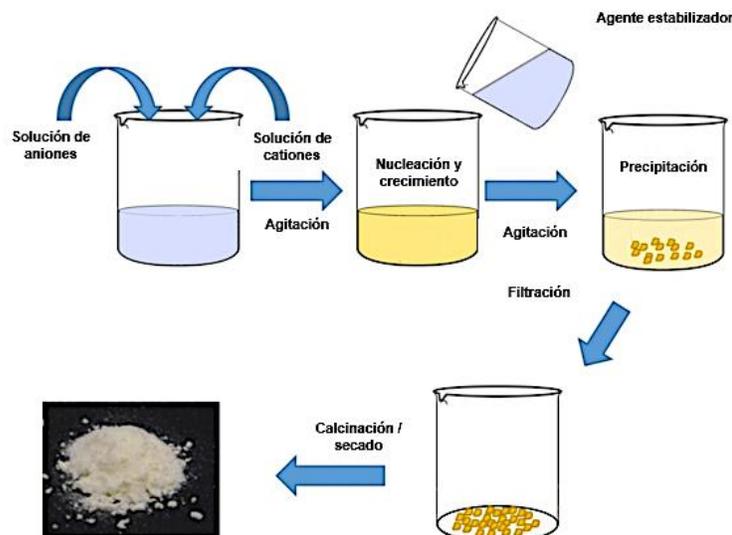
Este método consiste en disolver una sal del precursor a preparar, un reductor y un estabilizante en un líquido como se muestra en la Figura 7. El tamaño promedio, la distribución de tamaños y la morfología de las nanopartículas pueden ser controlados variando la concentración de los reactantes, del reductor y del estabilizante, así como de la naturaleza del medio dispersante. Por este método se pueden formar dispersiones estables por periodos de tiempo muy largos [27].



**Figura 7.** Esquema que representa la síntesis por método coloidal. (Modificado de [28]).

#### – Precipitación

La precipitación ocurre después de la adición de un no solvente a una solución de polímero en cuatro mecanismos de pasos: sobresaturación, nucleación, crecimiento por condensación y crecimiento por coagulación que conduce a la formación de nanopartículas o agregados de polímero [29].



**Figura 8.** Esquema que representa la síntesis por método de precipitación.



### 2.3.1.3 Síntesis verde.

La producción de nanopartículas utiliza materiales tóxicos como son los solventes y surfactantes que pueden afectar el medio ambiente. La síntesis verde es una técnica alternativa presumiblemente no tóxica, amigable con el medio ambiente [23], permite la formación de nanoestructuras metálicas a partir del uso de bacterias, hongo, plantas o sus extractos [30] (Figura 9). Se basa en la reducción de metales mediante especies naturales que pueden reemplazar los agentes químicos reductores. Asimismo, su uso en algunas ocasiones iguala o sobrepasa las expectativas de las nanopartículas sintetizadas por métodos físicos y químicos, en cuanto a costo y características de las nanopartículas obtenida

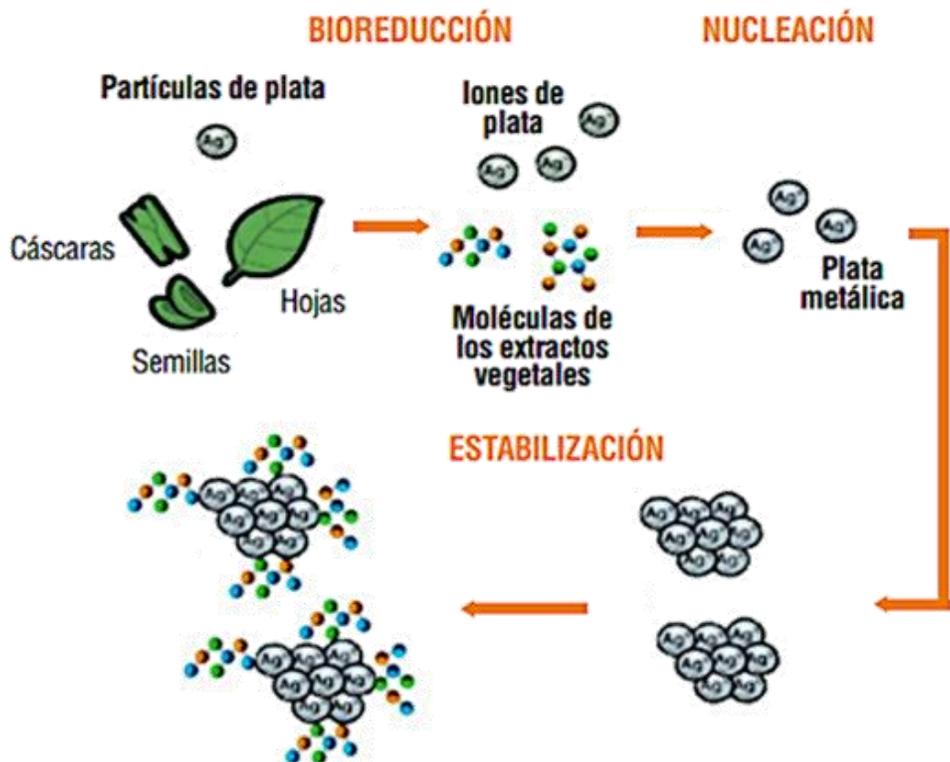


Figura 9. Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata (Modificado de [23]).



### 2.3.2 Caracterización de nanopartículas.

La caracterización es un aspecto importante para conocer la morfología de la nanopartícula, tamaño y propiedades. A través de lo cual se puede controlar su síntesis y su aplicación de nanopartículas. En la tabla 1, se describen las diferentes técnicas para la caracterización de nanopartículas.

**Tabla 1.** Técnicas de caracterización de nanopartículas

Técnica	Objetivo	Principio	Cita
<b>Microscopia electrónica de transmisión (TEM).</b>	Determinar las posiciones atómicas en las estructuras que la materia puede tener y para ciertos objetivos relacionarlas con las propiedades de los materiales	Forma imágenes que resultan de la interacción de los electrones como radiación con el objeto o muestra	[31]
<b>Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDX)</b>	Tener información de composición, hasta un nivel atómico, se puede obtener con la adición de un detector EDS a un microscopio electrónico	Se basa en la detección de la radiación X que emite el material excitado por un haz de electrones enfocado en un área muy pequeña.	[32]
<b>Luz Dinámica (DLS)</b>	Determinar el tamaño promedio de partícula y de la distribución de tamaños, para partículas disueltas o suspendidas en un líquido.	Se basa en el "Efecto Doppler". Cuando la luz láser incide en un medio conteniendo partículas que se mueven, la frecuencia de la luz dispersada por estas partículas en movimiento se corre un poco;	[33]
<b>Análisis termogravimétrico (TGA)</b>	Medir la variación de masa de una muestra.	Mide la cantidad y rapidez del cambio en peso de una muestra en función de la temperatura y/o del tiempo en una atmósfera controlada.	[34]
<b>Espectrofotometría UV</b>	Determinar la concentración de un compuesto en solución.	Se basa análisis de la cantidad de radiación electromagnética (en el rango de longitudes de onda del ultravioleta y visible) que puede absorber o transmitir una muestra en función de la cantidad de sustancia presente.	[35]



---

### 2.3.2.1 Espectrofotometría Ultravioleta-Visible

La espectrofotometría ultravioleta-visible (UV-VIS) se basa en la absorción de radiación electromagnética en el rango de longitudes de onda en el rango 160-780 nm. Esta técnica se fundamenta en la capacidad de las moléculas en solución de absorber la radiación incidente de una frecuencia determinada en el rango de longitudes de onda de UV-VIS [36].

Cuando la luz considerada como energía es absorbida por una molécula se origina un salto desde un estado energético basal o fundamental, E1, a un estado de mayor energía (estado excitado), E2. Y sólo se absorberá la energía que permita el salto al estado excitado. Cada molécula tiene una serie de estados excitados o bandas que la diferencian de otras moléculas [37].

Las moléculas en la forma excitada liberan la energía absorbida cuando regresa al estado de energía fundamental, como consecuencia, la absorción a distintas longitudes de onda que presenta una molécula, es decir, su espectro de absorción constituye un indicador de su identidad. Esta técnica es comúnmente usada para la detección de grupos funcionales, detección de impurezas, análisis cualitativo y cuantitativo de analitos [37].

### 2.3.2.2 Ley de Lambert-Beer.

La ley Lambert-Beer nos permite relacionar la cantidad de luz absorbida con la concentración de la muestra y el espesor del medio. Se cumple para cualquier proceso de absorción en cualquier zona del espectro y se basa en que cada unidad



---

de longitud a través de la cual pasa la radiación absorbe la misma fracción de radiación [38].

La ley de Lambert Beer dice “la intensidad de un haz de luz monocromática, que incide perpendicularmente sobre una muestra, decrece exponencialmente con la concentración de la muestra” [38]. La expresión final para la ley de Lambert-Beer se expresa en la Ecuación 1.

$$A = \varepsilon * c * l \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde  $\varepsilon$  es la absortividad molar y es una constante característica para cada sustancia,  $c$  es la concentración de la muestra y  $l$  el espesor.

### **2.3.3 Nanocompositos**

Se entiende comúnmente como nanocompósitos a los materiales formados por una combinación de un material sólido, matriz, y una fase nanodimensional (de 1, 2 o 3 dimensiones menores a 100 nm) [39].

Hay diferentes tipos de nanocompósitos, los constituidos por una matriz metálica y un agente de relleno de tamaño nanométrico, una matriz cerámica y la fase dispersa de tamaño nanométrico, o una matriz polimérica y el agente de relleno nanométrico [40]. Las propiedades del nanocompuesto dependerán de los materiales que lo formen, de sus propiedades individuales y de su morfología y características interfaciales [39].



---

### **2.3.4 Toxicidad de nanopartículas**

En la actualidad se encuentran miles de artículos científicos sobre nanopartículas, pero, salvo algunas excepciones, esas investigaciones carecen de estudios sobre toxicidad debido que la nanotoxicología es una disciplina muy reciente que surgió a principios de la primera década de este siglo que contribuye al desarrollo de una nanotecnología segura [41].

La Nanotoxicología, caracteriza y cataloga los efectos tóxicos causados por los nanomateriales [42]. Pretende entender, predecir y prevenir los riesgos que presentarían la utilización de los nanomateriales.

Para tener una idea de la toxicidad de una nanopartícula, se contemplan varios aspectos tales como: el tiempo de exposición a ésta, concentración, propiedades fisicoquímicas tales como su tamaño y forma, actividad catalítica, área superficial, carga superficial, estructura cristalina, entre otros [43].

### **2.4 Propiedades de las Nanopartículas de cobre**

Las nanopartículas de cobre son de gran interés tanto en teoría como en la tecnología de la creación de nuevos materiales. Sus potenciales están basados en las propiedades únicas de materiales en el estado “nano” [44].

Las nanopartículas de cobre, como la mayoría de los metales a escala nanométrica, se sintetizan a partir de reacciones redox en disolución [45]. Tienen principalmente la capacidad de ceder y captar electrones, y tienen la posibilidad de interactuar con la luz, moléculas, virus y bacterias [46].



Las nanopartículas de cobre continúan recibiendo atención debido a su alta conductividad eléctrica, alto punto de fusión, bajo comportamiento de migración electroquímica, excelente soldabilidad y bajo costo de material [47].

#### 2.4.1 Morfología de las CuNPs

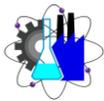
Se sostiene que la variación de la sal del precursor y el agente reductor para la síntesis de NPs<sub>Cu</sub> influye el tamaño y la morfología de la nanoestructura, como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Síntesis de nanopartículas de cobre con diferentes formas a través de método de reducción química

Agente reductor	Sal precursora	Tamaño de Partícula	Forma	Cita
Borohidruro de sodio (NaBH <sub>4</sub> )	Cloruro de cobre (II) dihidrato CuCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	7 nm	Semiesférica	[48]
Extractos de raspo de uva.	Nitrato de cobre trihidratado Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 3 H <sub>2</sub> O	2.97 nm.	Esférica	[49]
Dietanolamina DEA	Nitrato cúprico trihidratado Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 3 H <sub>2</sub> O	10 nm	Cúbicas	[50]

#### 2.4.2 Propiedades biológicas

La actividad antimicrobiana de las nanopartículas de cobre es una función del área de superficie en contacto con los microorganismos. Se ha demostrado una relación inversa entre el tamaño de las nanopartículas y su actividad antimicrobiana, donde las nanopartículas en el rango de tamaño de 1-10 nm han mostrado tener la mayor actividad antibacteriana [9].



---

Estudios recientes han demostrado el uso de nanopartículas de Cu como agente bactericida frente a ciertos microorganismos patógenos como: *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus* y otros [51].

### 2.4.3 Propiedades químicas

Uno de los aspectos más desafiantes en la síntesis de nanopartículas de cobre es su alta tendencia a la oxidación, porque el cobre es extremadamente sensible al aire u oxígeno debido a que las fases de óxido son termodinámicamente más estables [52].

Los efectos de superficie en los nanomateriales son de gran importancia, ya que se tiene un incremento notable en el área superficial por unidad de volumen y en las energías libres superficiales en comparación a los sólidos volumétricos. El incremento en la energía libre superficial afecta propiedades como temperatura de fusión y reactividad química [47].

## 2.5 Síntesis verde de Nanopartículas de cobre.

### 2.5.1 Metales

Se llama metales a los elementos químicos situados a la izquierda y centro de la tabla del sistema periódico. Se clasifican en metales alcalinos y alcalinotérreos de los grupos I y II A, los metales de transición y los grupos III y IV A [53].

Una característica esencial de los metales es que sus sales en disolución suelen formar iones electropositivos, es decir cationes. Desde el punto de vista

---



---

físico presentan gran dureza y tenacidad, un intenso y característico brillo, unas excelentes propiedades mecánicas (ductibilidad, maleabilidad, etc.) y una elevada capacidad como conductores del calor y de la electricidad. Estas características determinan una larga vida útil, una gran resistencia y una fácil manipulación y transformación [54].

## 2.5.2 Cobre

El cobre es un metal maleable y dúctil, excelente conductor del calor y la electricidad, y su capacidad funcional se altera muy poco con la exposición al aire seco. Si se encuentra en una atmósfera húmeda con anhídrido carbónico, se cubre con una capa verde de carbonato [55]. Químicamente el cobre tiene como símbolo químico **Cu**, una masa molar de 63.55 g/mol, una densidad de 8.94 g/cm<sup>3</sup>, configuración electrónica (Ar)3d<sup>10</sup>4s<sup>1</sup>, por lo que los números de oxidación que puede tomar son: Cu<sup>+1</sup> y Cu<sup>+2</sup>.

### 2.5.2.1 Química del cobre.

Los complejos de cobre (II) pueden ser de tipo 1 con el característico color azul intenso, presentan una banda de absorción muy intensa a 600 nm y con un coeficiente de absorción molar elevado. Los complejos de cobre (II) tipo 2 son también paramagnéticos, pero poseen un espectro electrónico típico, mientras que los complejos de cobre (II) tipo 3 resultan diamagnéticos ya que están constituidos por un par de iones cobre(II) sometidos a un fuerte acoplamiento anti ferromagnético, presentan una banda de absorción muy intensa a 330 nm, pero no

---



---

pueden ser detectados por ESR (espectroscopía por resonancia de espín electrónico)[56].

### **2.5.3 Empleo de estabilizantes.**

Las nanopartículas metálicas presentan un área superficial muy grande con respecto a su masa, por lo que tienen un exceso de energía libre superficial en comparación a su energía de formación, haciéndolas termodinámicamente inestables. Ellas deben ser estabilizadas tanto cinética como termodinámicamente por agentes protectores. [57].

En los procesos de síntesis de nanopartículas, las sustancias que actúan como estabilizadores controlan tanto la velocidad de reducción de los iones metálicos como el proceso de agregación de los átomos metálicos. La agregación comprende un amplio rango de procesos físicos y químicos, incluyendo interacciones de corto y largo alcance, adsorción y desorción de iones y especies neutras, formación de enlaces químicos, etcétera [58].

### **2.5.4 Reductores.**

La reducción química de sales o complejos metálicos es el método más utilizado para la preparación de nanopartículas. Debido a éstos se emplearon agentes reductores en presencia de un agente estabilizante, las sales metálicas se reducen a nanopartículas metálicas que pueden dispersarse en diferentes disolventes [59].



---

Para la síntesis verde de nanopartículas se utilizan productos naturales como agentes reductores, de este modo se desarrollan métodos fiables, no tóxicos y respetuoso con el medio ambiente [22].

### **2.5.5 Naturales**

La síntesis verde de NPs destaca por ser un método que no hace uso de precursores tóxicos, en su lugar se emplean microorganismos como bacterias, levaduras y hongos, así como extractos de plantas [60], por ello los extractos contienen alcaloides, proteínas, enzimas, aminoácidos, alcoholes, terpenoides, flavonoides, polifenoles y glúcidos que son los responsables de la reducción de los iones metálicos [61].

### **2.5.6 *Ocimum sanctum*.**

La reducción de iones metálicos de Cu se realizó debido a la presencia de varios tipos de antioxidantes en las hojas de *Ocimum sanctum* llamada popularmente en el Caribe como basil, el género *Ocimum sanctum* provienen de la palabra griega “okimon”, que significa labio perfumado y oloroso en honor al aroma de sus hojas y “basilikon” cuyo significado es rey real (Figura 10). Está representado por más de 150 especies y tiene una amplia distribución geográfica por todas las regiones de clima tropical y subtropical [62].



---

### 2.5.6.1 Clasificación y descripción botánica

#### Clasificación científica.

- Clase: Magnoliopsida
- Nombre Científico: *Ocimum sanctum*
- Familia: Lamiaceae
- Género: *Ocimum*
- Especie: *sanctum*

Es una planta herbácea natural hasta de 50 cm de altura, toda la planta expele un olor aromático similar al clavo de olor, pertenece a la familia de las labiadas erecta y ramificada como se puede apreciar en la Figura 10. [63].

- Hierba de 50-150 cm de altura de base leñosa, aromática.
- Tallos erectos, muy ramificados y de indumento formado por pelos retrorsos y patentes, situados en los nudos y en el eje de la inflorescencia.
- Hojas 1,2-3,5 x 0,7- 1,75 cm, ovadas o elípticas, aserradas, acuminadas, agudas o brevemente cuneadas, punteado-glandulosas.
- Flores agrupadas en espigas o tenuemente blancas, sésiles, labiadas, reunidas en un panículo de 6 flores cada una.



Figura 10. *Ocimum sanctum* [62].

### 2.5.6.2 Composición química de *Ocimum sanctum*.

La composición química de *Ocimum sanctum* (albahaca morada) es muy compleja, contiene muchos nutrientes y otros compuestos biológicamente activos.

Los flavonoides son un grupo de pigmentos orgánicos que se encuentran en las hojas y flores de la albahaca, siendo uno de los grupos de productos naturales más estudiados por sus propiedades antioxidantes y bactericidas [64]. La estructura química general de los flavonoides se muestra en la Figura 11.

Los flavonoides están formados por dos anillos aromáticos bencénicos (A y B), un puente de tres átomos de carbono y un pirano (C) [65].

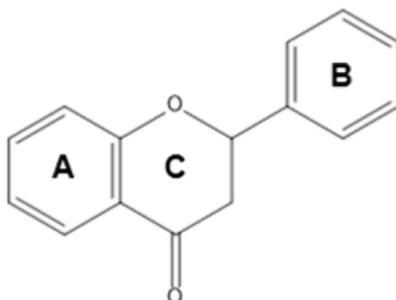


Figura 11. Estructura de los flavonoides (Modificado de [65]).



---

Tiene propiedades antioxidantes debido a los polifenoles que son capaces de suprimir los radicales libres, uniéndose con iones de metales pesados [65].

### **2.5.7 *Jacaranda mimosaeifolia.***

La palabra jacaranda proviene del idioma guaraní, de la variación tupí específicamente, y su significado puede interpretarse como “de agradable fragancia”. La palabra en tupí es jacaranda y es así como se le conoce a esta planta en algunos países de Sudamérica [66].

#### **2.5.7.1 Clasificación y descripción botánica.**

##### **Clasificación científica.**

- Nombre Científico: *Jacaranda mimosaeifolia.*
- Clase: Magnoliopsida
- Familia: Bignoniaceae
- Género: Jacaranda
- Especie: mimosifolia

Forma una copa ovoidal e irregular. La estructura es de ramificación principal extendida. La copa alcanza un diámetro de 4 a 6 m, proyectando una sombra de mediana intensidad [35], [66].



- 
- El tronco tiene una altura de 6 a 9 m y un diámetro de 40 a 70 cm. La jacaranda alcanza 8 a 12 m de altura. Es un árbol semidecíduo de crecimiento medio y una longevidad de más de 100 años.
  - Hojas grandes de 30 a 50 cm de longitud; hojas compuestas, opuestas, bipinnadas, con hojuelas de 25 a 30 pares de folíolos pequeños de forma ovaloblonga, apiculados; de color verde claro, textura de su superficie lisa pubescente.
  - Flores grandes de 4 a 5 cm; en panículas terminales de 20 a 30 cm, racimos erectos de flores muy vistosas. Son de forma tubular, acampanada y con lóbulos desiguales; color azul violeta. Una imagen del árbol de jacaranda con flores se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** *Jacaranda mimosaeifolia* [67].



- 
- Fruto leñoso, dehiscente, plano, en forma de castañuela, con gran cantidad de semillas pequeñas; cápsula loculicida de 6 cm; oblonga y orbicular pardo oscuro. Los frutos aparecen a finales de otoño y permanecen todo el año.

### **2.5.7.2 Composición Química de *J. mimosaeifolia*.**

Algunos de los metabolitos característicos de la jacaranda fueron identificados y reportados por Lema Aucacama, y estos son el Ácido jacoumárico (**1**), la jacaranona (Hidroxi-4-oxo-2,5-ciclohexandienil acetato de metilo (**2**)), y el metil-jacaranona (**3**) [68].

El extracto polar de las flores de *J. mimosaeifolia* fue estudiado por Hendra et al., 2019; a través de la separación por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) empleando una columna de fase reversa [69]. La separación preparativa permitió separar e identificar 9 compuestos. Cinco de estos compuestos (**4, 5, 6, 7, 8** son ésteres glicosídicos derivados del jacaranonido (**4**) [70]). Los compuestos restantes son: fenilpropanoide glicosidado (**9**) previamente reportado [71], la apigenina 7-b-glicosidada (**10**) reportado anteriormente [72]. Así mismo, reportan [72] dos compuestos derivados de la degradación de los jacaranonidos (**11, 12**) como se muestra en la Figura 13.

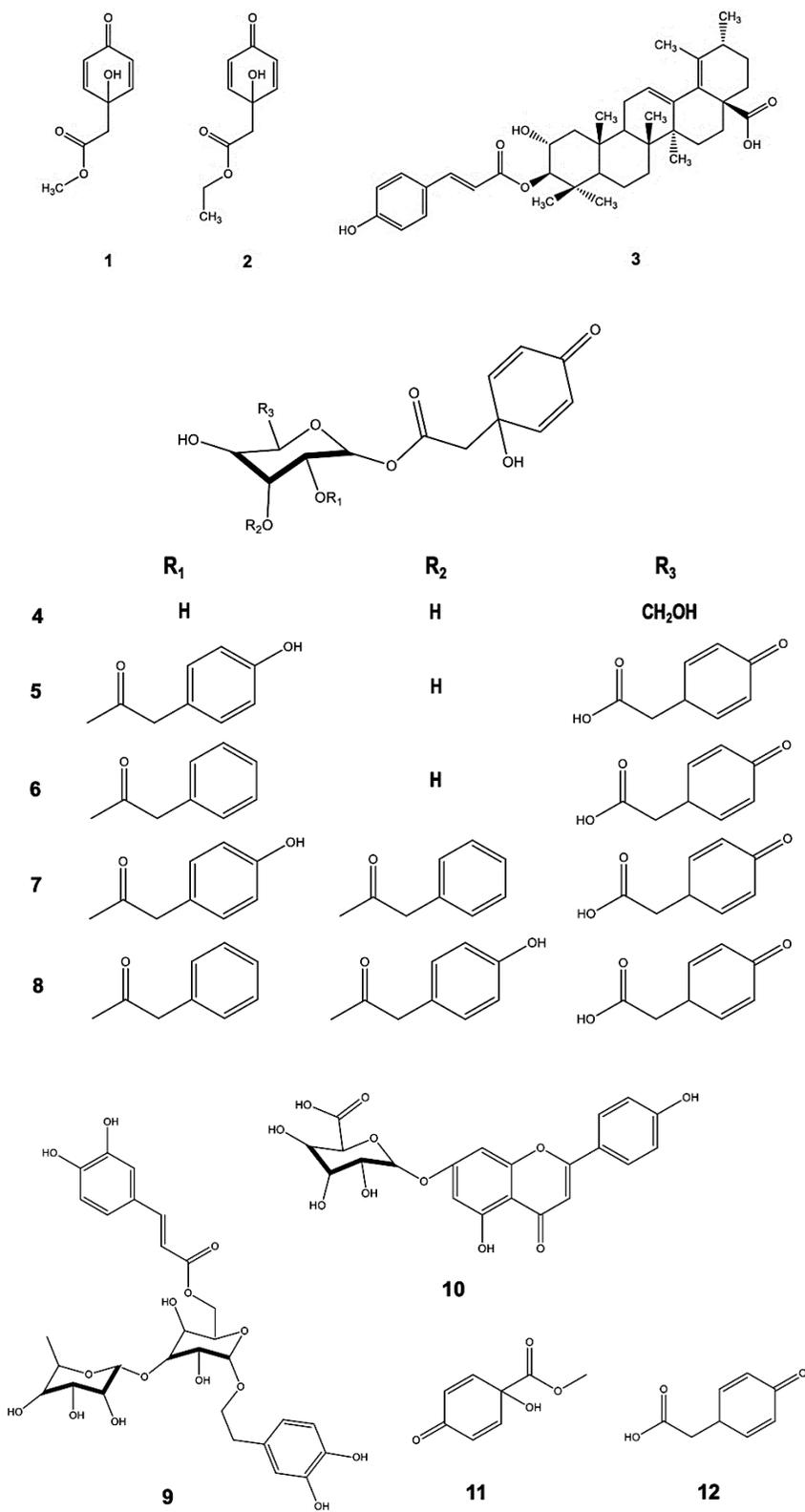
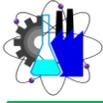


Figura 13. Estructura de los ácidos presentes (Modificado de [66]).



## **2.6 Aplicaciones de las nanopartículas de cobre.**

- En base a sus propiedades antifúngicas, las nanopartículas de cobre encuentran aplicación como aditivo de matrices poliméricas, pinturas, barnices, etcétera [45].
- Se utilizaron como alternativas a otros metales nobles en muchas aplicaciones, como la transferencia de calor y la impresión por inyección de tinta [73].
- En dispositivos ópticos, térmicos, magnéticos, sensoriales y catálisis debido a sus pequeñas dimensiones y propiedades especiales tales como alta relación área superficial a volumen y alta transferencia de calor [73].

### **2.6.1 Protectores de la corrosión.**

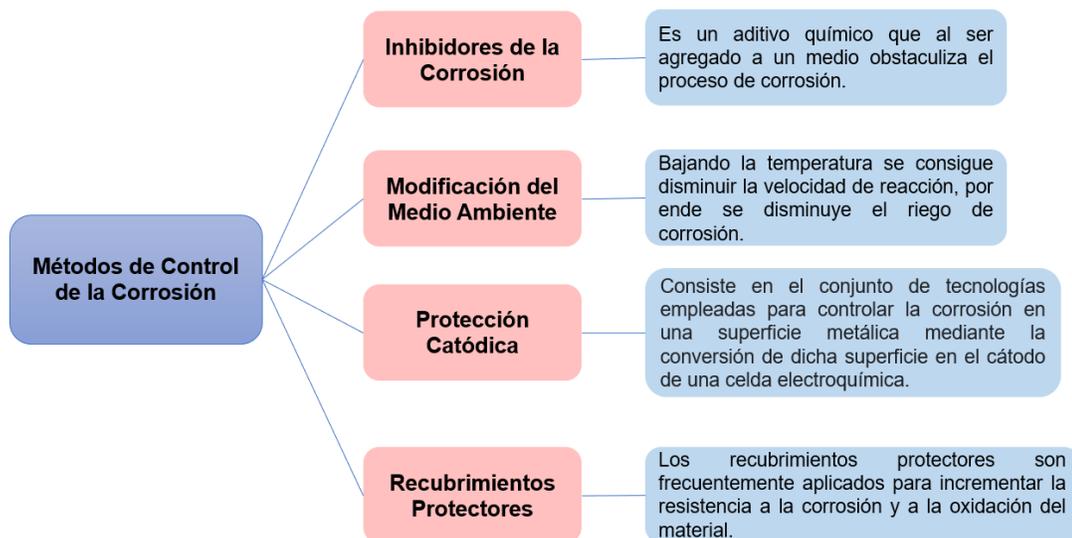
Debido a las propiedades mecánicas adecuadas de los materiales metálicos, éstos son ampliamente utilizado en la construcción de bienes inmuebles en la fabricación de maquinaria y de herramienta [74], [75].

Sin embargo, los materiales metálicos tienen una elevada susceptibilidad para corroerse. La corrosión es el deterioro oxidativo de un material metálico, que ocurre a través de un proceso electroquímico, éste se inicia por la presencia de oxígeno, el que provoca la oxidación superficial de los materiales, es importante mencionar que el oxígeno se encuentra presente prácticamente en cualquier ambiente terrestre: aire, agua o suelo, por lo que la corrosión de los metales es un proceso inevitable [76].



El daño que sufren las estructuras metálicas por la corrosión produce un gran impacto económico en el mundo. Se estima que el costo que se genera por atender los problemas ocasionados por la corrosión corresponde al 1% de la economía mundial [77].

Actualmente se han investigado y desarrollado diferentes tipos de métodos para el control de este fenómeno, permitiendo proteger los materiales expuestos a éste, en la Figura 17 se muestra los métodos de control de corrosión [78].



**Figura 14.** Métodos de Control de la Corrosión modificado de [79].

Entre las alternativas mayormente empleadas para preservar la vida útil de los materiales metálicos se encuentra el uso de inhibidores de la corrosión. Un inhibidor de la corrosión es una sustancia que, al ser agregada en pequeñas concentraciones en el medio corrosivo, disminuye o retrasa la reacción química que ocurre entre el metal y el medio, produciendo un cierto nivel de protección mitigando el proceso de



---

corrosión. Algunos inhibidores reaccionan adsorbiéndose sobre el metal, formando una película que protege la superficie metálica disminuyendo la velocidad de corrosión [80].

Por lo que ciertos fabricantes emplean el uso de inhibidores orgánico-sintéticos para cubrir las piezas metálicas y de esa manera protegerlas de la corrosión. Si bien los inhibidores de la corrosión de tipo orgánico-sintéticos son eficientes, se ha observado que éstos son persistentes, no degradables, y altamente tóxicos [81], por lo que los inhibidores de la corrosión de origen orgánico-sintético afectan al medio ambiente y a la salud del hombre, considerándose que no son soluciones de largo plazo.

Recientemente se reportó el estudio de las nanopartículas metálicas preparadas con óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) [82], óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ) [83] y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) [84], demostrándose su actividad como agentes anticorrosivos mediante su inclusión en una base polimérica que fue empleada como recubrimiento. Con lo anterior es posible observar que esta nueva área de estudio de las nanopartículas emerge para la generación de alternativas que controla la corrosión de metales.

Por lo anterior, en las últimas décadas se han intensificado los esfuerzos en la búsqueda de nuevas alternativas que reduzcan la velocidad de corrosión de los materiales metálicos y que además resulten amigables con el ambiente [76].

Por lo que resulta interesante determinar si las nanopartículas verdes podrían tener una eficiencia adecuada como inhibidores de la corrosión y posteriormente considerar si éstas pueden llegar a formar parte en la tecnología de nanorecubrimientos de materiales metálicos (nanocoating).



---

## 2.6.2 Técnicas electroquímicas.

Las técnicas electroquímicas permiten determinar los cambios en el potencial de la reacción química y a través de este cambio se estima la velocidad de oxidación, como efecto de protección o inhibición se espera que esta velocidad se reduzca. Algunos de los métodos electroquímicos para medir la corrosión están basados en polarización con corriente directa e impedancia electroquímica [85].

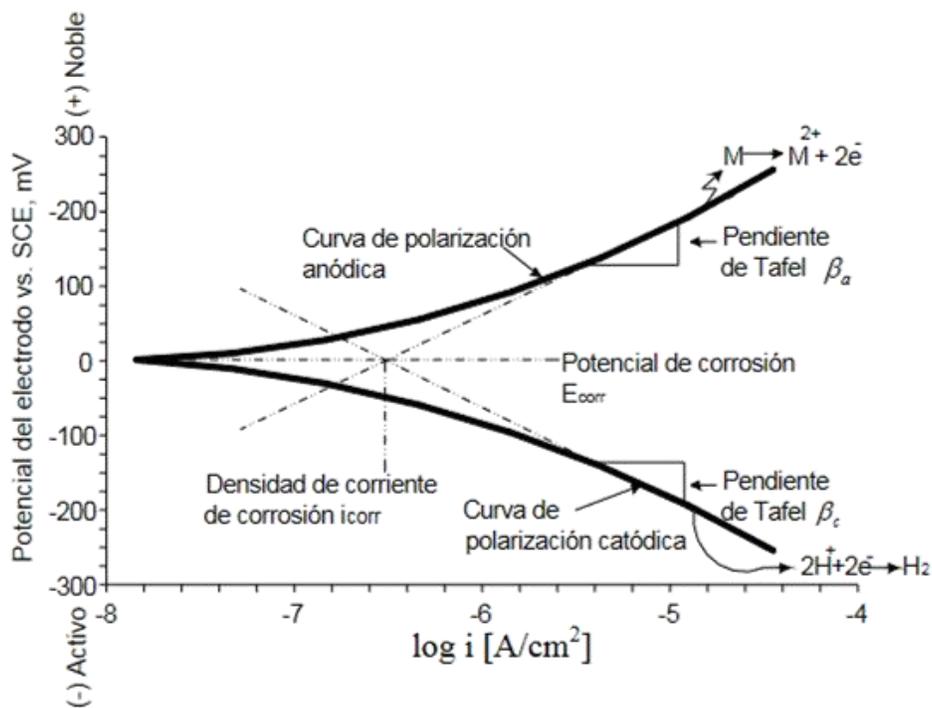
### 2.6.2.1 Curvas de polarización.

Las curvas de polarización (CP) se representan a través de diagramas que muestran la evolución en el tiempo de reacciones anódica y catódica de un sistema óxido-reducción, como ocurre en un proceso de corrosión. [79].

La CP consiste en el control del potencial o la corriente, aplicando un barrido a velocidad constante, registrando el barrido de potencial en el rango seleccionado y graficando la corriente generada entre el electrodo de trabajo y el electrodo auxiliar, este método electroquímico es llamado Curva de Polarización Potenciodinámica.



La extrapolación de Tafel es una técnica de polarización, determina la velocidad de corrosión de una muestra metálica. Con las gráficas de Tafel, se puede determinar qué tipo de cinética controla la velocidad de la reacción electroquímica (control por activación o control por difusión) [86],[87]. La Figura 15 muestra la estructura y las partes principales que componen una gráfica de Tafel.



**Figura 15.** Gráfica de Tafel (Obtenida de [87]).

Como se observa la Figura 15. la dirección positiva del potencial del electrodo de trabajo, indica una condición de oxidación progresiva en dicho electrodo (curva de polarización anódica). La dirección negativa del potencial del electrodo de trabajo, a menudo llamada la dirección activa, está asociada con la reducción (curva de polarización catódica) .



---

### 3 JUSTIFICACIÓN

Las nanopartículas de cobre tienen una gran variedad de aplicaciones, sin embargo, varios de los métodos utilizados para la síntesis de éstas implican el uso de productos químicos de riesgo biológico. Debido a lo anterior existe un gran interés en desarrollar metodologías amigables (química verde) como podría ser el empleo de compuestos orgánicos de origen natural, que sean económicos, no tóxicos y que no se generen residuos durante la síntesis.



---

## 4 HIPÓTESIS

Los compuestos químicos naturales con actividad antioxidante tienen la capacidad de actuar como agentes reductores estabilizando metales en solución; por lo que el uso de los extractos de *Ocimum sanctum* y *Jacaranda mimosaeifolia* reducirán el cobre metálico en solución estabilizándolo y formando coloidalmente nanopartículas verdes, las cuales podrían mostrar actividad inhibitoria de la corrosión.



---

## 5 OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general.

Obtener nanopartículas verdes coloidales de Cu (GCuNPs) mediante la reducción de la sal metálica de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  con los extractos vegetales de *Ocimum sanctum* (acuoso) y *Jacaranda mimosaeifolia* (metanol).

### 5.2 Objetivos específicos.

Desarrollar una metodología eficiente, con bajo consumo de energía y de bajo costo, que permita realizar la síntesis de GCuNPs

Establecer la síntesis verde empleando agentes reductores naturales no contaminantes, así como las condiciones analíticas que permitan dar seguimiento a la formación coloidal de las GCuNPs.

Caracterizar las GCuNPs mediante la técnica de espectrofotometría UV-VIS sintetizadas previamente por un método verde.

Evaluar la capacidad de inhibición de la corrosión de las GCuNPs obtenidas en acero 1018 inmerso a medio ácido.



---

## 6 METODOLOGÍA

Este proyecto de investigación se realizó en dos etapas la primera se orientó a una investigación documental de los aspectos teóricos metodológicos relacionados a la síntesis verde de nanopartículas y la segunda etapa fue netamente experimental.

### 6.1 Estado del arte sobre nanopartículas

Usando la plataforma de Google académico (Google scholar) <https://scholar.google.com.mx/>, se realizó una búsqueda de trabajos científicos que incluyeran en su metodología síntesis de nanopartículas verdes. Se definió de un conjunto de seis palabras claves en español y en inglés para la realización de la búsqueda, las palabras clave fueron:

Palabras clave: Nanopartículas (Nanoparticles), Síntesis (Synthesis), Verde (Green), Agente reductor (Reductor agent), Metal (Metal), Extracto natural (Natural extract).

Delimitando la búsqueda en un periodo de 10 años (enero 2020 – enero 2010) un total de 30 artículos relacionados con las palabras clave fueron recuperados, éstos fueron analizados, catalogados y priorizados de acuerdo con la complejidad o sencillez de los procesos de síntesis mayormente verde de GNPs, que no usaran sustancias tóxicas (o que el empleo fuera mínimo), reactivos accesibles y económicos, equipos analíticos disponibles en la FCQel o UAEM.



---

Se elaboró una tabla comparativa para que se realizara la evaluación de la metodología factible a realizar con respecto a materiales, equipos, tiempo, rendimiento, sencillez, caracterización y evaluación de la actividad.

## **6.2 Metodología experimental.**

### **6.2.1 Materiales.**

Los materiales empleados para la realización de la parte metodológica de la tesis se enlistan a continuación

- Papel filtro Whatman No. 41.
- Embudo de vidrio.
- Vaso de precipitados.
- Condensador de Graham.
- Condensador LIEBIG (Recto).
- Tubos de ensayo.
- Vidrio de reloj.
- Gradilla.
- Pinzas Fisher.
- Matraz de fondo redondo.
- Micropipeta.
- Espátula.
- Manguera de Látex.
- Base para matraz.
- Pipeta Pasteur.
- Pera de succión.
- Piseta.
- Probeta.

El reactivo utilizado en esta investigación fue el sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) como precursor. Como solvente se empleó agua desionizada; y hexano, acetona y metanol como como disolventes orgánicos para la extracción de los fitocompuestos.



---

## 6.2.2 Equipos.

*UV-visible Perkin Elmer modelo Lambda 365.*

- Rango de onda: 190-1100 nm.
- Rango de absorbancia:  $\pm 4$  A.
- Banda ancha: 0.5, 1, 2, 5, 20 nm variable.
- Precisión de longitud de onda:  $\pm 0.1$  nm.
- Reproducibilidad de longitud de onda:  $\pm 0.1$  nm.
- Precisión fotométrica:  $\pm 0.004$  A.
- Velocidad de escaneo: Variable 1 a 3000 nm/min (optimizado por parámetros de método).
- Fuente: Deuterio y tungsteno

*Espectrofotómetro BAOSHISHAM 721*

Espectrofotómetro. Marca BAOSHINA modelo 721 Visible. Rango de Longitud de Onda: 340 a 1000 nm.

- Display LCD. Lectura en T%, concentración y absorbancia.
- Ancho de banda del espectro: 4nm
- Precisión de transmisión:  $\pm 1\%$  (t)
- Reproducibilidad de la transmisión:  $\leq 0.5\%$  (t)
- Rango de medición de la transmisión: 0 - 200% T
- Rango de medición de absorción: -0.301 - 3 A
- Luz callejera:  $\pm 0.1\%$  (t)



- 
- Rango de visualización de concentración: 0-9999
  - Estabilidad:  $\pm 0.002^a$
  - Precisión:  $\leq 2\text{nm WL}$
  - Repetibilidad:  $\leq 1\text{nm}$

#### *Rotavapor Buchi Heating Bath B-490*

Tiene una precisión de temperatura de  $+ 1^\circ\text{C}$ , lo que lo hace adecuado para disolventes de alto/bajo punto de ebullición.

- Rango de temperatura:  $20^\circ\text{C}$  hasta  $180^\circ\text{C}$ .
- Exactitud de la temperatura:  $\pm 1^\circ\text{C}$  a  $20^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ .
- Compatibilidad: Sistemas de rotavapor R-200 y R-205.
- Requisitos eléctricos: 120 V, 50/60 Hz, 1400 W.
- Dimensiones: 280 x 191 x 250.
- Frecuencia: 50/60 Hz.

#### *Gill AC*

- Salida de 600 mA (estándar).
- Hasta 2 amperios en la caja del mismo estilo.
- 1-6 canales secuenciales (o más con gabinete más grande).
- Canales Simultáneos.



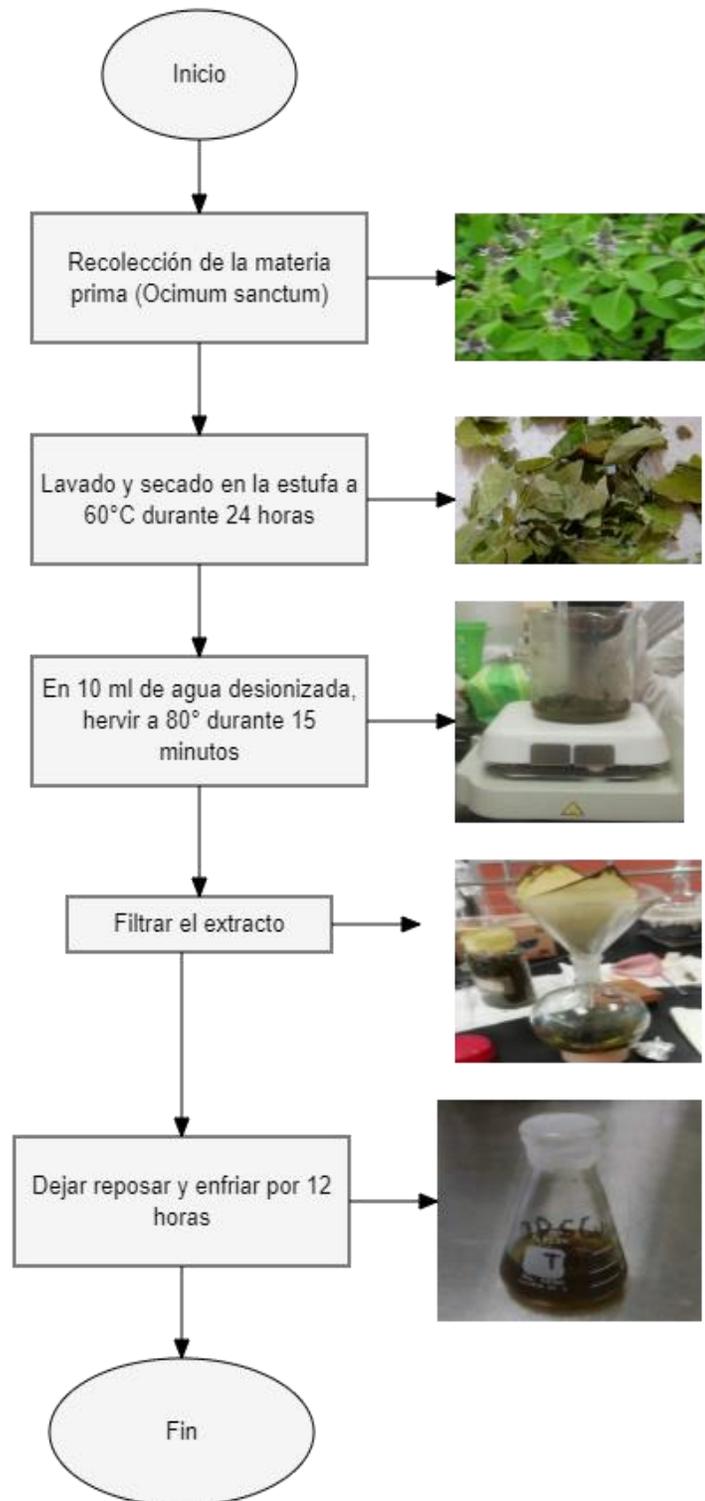
- 
- Opción de prueba de soldadura.
  - Amplificador Femto.
  - Respuesta de frecuencia de 100 kHz.
  - Entradas de voltaje / temperatura.
  - Prueba de burbujas.
  - Rack montable.
  - Temperatura crítica de picaduras.

### **6.2.3 Obtención del extracto para la síntesis de nanopartículas**

#### **6.2.3.1 Extracto acuoso de hojas de *Ocimum sanctum*.**

Las hojas de Albahaca morada (*Ocimum sanctum*) utilizadas en este estudio fueron adquiridas en el invernadero “Flores Agro y Jardín S. A. de C. V. ubicado en el municipio de Emiliano Zapata.

Adquirido el material vegetal se lavó con agua destilada para eliminar las impurezas presentes, posteriormente se secó a 60°C por 24 horas. El material seco se trituró y 10 gramos de hojas *Ocimum sanctum* se sumergieron en 10 ml de agua desionizada a una temperatura de 80°C durante 15 minutos. La mezcla se dejó enfriar y posteriormente se filtró para separar el tejido vegetal del extracto, utilizando papel filtro Whatman No. 41, como se muestra en la Figura 16. El líquido filtrado se preservó en refrigeración hasta su posterior uso.



**Figura 16.** Obtención extracto acuoso de *Ocimum sanctum*.



---

### **6.2.3.2 Extracto metanólico de la flor de *Jacaranda mimosaeifolia*.**

Las flores de jacaranda se colectaron en el campus universitario. Se dejaron secar a temperatura ambiente y en ausencia de la luz. Tres semanas después las flores secas se colocaron en un recipiente vidrio para su extracción vía maceración empleando disolventes orgánicos en orden creciente de polaridad: hexano, acetona y metanol.

Las flores se dejaron en contacto con el solvente respectivo por 72 horas, después se filtró y el solvente se recuperó por evaporación a presión reducida utilizando un rota vapor marca Buchi. El residuo orgánico se colocó en un frasco previamente tarado y el solvente fue nuevamente agregado a las flores, para una segunda extracción. Estos últimos pasos se repitieron nuevamente hasta realizar tres extracciones. Los residuos orgánicos de cada extracción se reunieron en un solo frasco. El procedimiento anterior se realizó para cada uno de los tres solventes empleados.

### **6.2.4 Síntesis de las nanopartículas de cobre (CuNPs) a pH neutro**

#### **6.2.4.1 Utilizando extracto de *O. sanctum* (OsCuNPs).**

La síntesis de nanopartículas coloidales de cobre y *Ocimum sanctum* se realizó considerando los parámetros reportados de acuerdo con Vasudev D. Kulkarni y Pramod S. Kulkarni [88]. De acuerdo con lo reportado por los autores la síntesis se llevó a cabo combinando 10 ml de sulfato de cobre pentahidratado a 1 mM como agente reductor con 10 ml de extracto acuoso de *Ocimum sanctum* como agente estabilizante. La mezcla se dejó en reposo durante 24 horas en condiciones

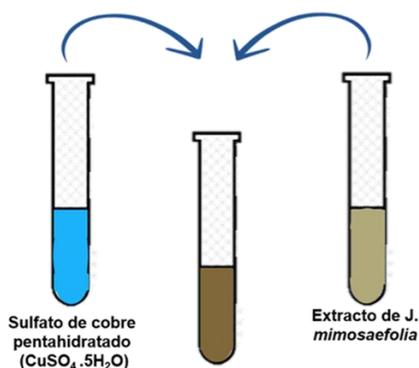
---



estáticas, para favorecer la nucleación del metal con los compuestos del extracto. La concentración del agente reductor puede afectar drásticamente la velocidad de nucleación y el crecimiento de las nanopartículas.

#### 6.2.4.2 Utilizando el extracto de la flor de *J. mimosaeifolia* (JmCuNPs).

La síntesis de nanopartículas coloidales de Cobre con *Jacaranda mimosaeifolia* requirió de poner en contacto el metal Cu con los compuestos naturales presentes en el extracto vegetal de las flores de *J. mimosaeifolia*. Por lo que se combinó la solución del sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) a una concentración de 15 mM con diferentes concentraciones (0.66 mg/mL, 1.33 mg/mL, 2.00 mg/mL, 2.66 mg/mL y 3.33 mg/mL) del extracto de las flores de *J. mimosaeifolia* recuperado con metanol previamente disuelto (Figura 17).



**Figura 17.** Diagrama de síntesis de Nanopartículas con extracto de *Jacaranda mimosaeifolia*.

Las diferentes combinaciones se dejaron reposar por 24 h en condiciones estáticas, para favorecer la nucleación del metal con los compuestos del extracto.



---

La detección de las nanopartículas coloidales formadas se realizó mediante la determinación de la absorción de luz UV-vis de las soluciones, realizando un barrido de lectura desde los 340 a los 600 nm, a las 24 y a las 72 h de la nucleación.

### **6.2.5 Detección de las CuPNs verdes sintetizadas a pH neutro a través de espectrofotometría UV-Vis.**

La detección de las nanopartículas de cobre utilizando extracto de *O. sanctum* se realizó usando espectrofotometría empleando un espectrofotómetro UV-visible Perkin Elmer modelo Lambda 365 realizando un barrido desde 360 nm a 800 nm (Figura 18).



**Figura 18.** Espectrofotómetro UV-visible Perkin Elmer modelo Lambda 365.

La detección de las nanopartículas de cobre utilizando extracto de *J. mimosaeifolia* se empleó en un espectrofotómetro UV-visible Baoshishan modelo 721 realizando un barrido desde 360 nm a 600 nm (Figura 19).



**Figura 19.** Espectrofotómetro UV-visible Baoshishan modelo 721

## **6.2.6 Influencia del pH en la síntesis de las JmCuNPs.**

### **6.2.6.1 pH ácido.**

A partir de una solución 1.0 N de HCl se prepararon soluciones a pH 6, 5 y 4. Con estas soluciones se prepararon las nanopartículas verdes, siguiendo la metodología de la síntesis de NPs a pH neutro, para determinar la influencia del pH en la síntesis de las NPs. Se registró la evolución de formación de las NPs verdes coloidales empleando UV-Vis.

Las síntesis de CuNPs se realizó a pH ácido, la solución acuosa se ajustó con NaOH para llevar a cabo las reacciones a pH 4,5 y 6. La concentración de la sal cúprica en la solución de síntesis fue de [15 mM], y de extracto metanólico de flor de *J. mimosaeifolia* fue de 3.3 mg/ mL, en cada tubo de ensayo se varió las soluciones de diferentes pH para la obtención de las nanopartículas de cobre.



---

### 6.2.6.2 pH básico

A partir de una solución 1.0 N de NaOH se prepararon soluciones a pH 8, 9 y 10. Con estas soluciones se prepararon las nanopartículas verdes, siguiendo la metodología de la síntesis de NPs a pH neutro, para determinar la influencia del pH en la síntesis de las NPs. Se registró la evolución de formación de las NPs verdes coloidales empleando UV-Vis.

La síntesis de NPs<sub>Cu</sub> se realizó a pH básico, la solución acuosa se ajustó con HCl para llevar a cabo las reacciones a pH 8, 9 y 10. La concentración de la sal cúprica en la solución de síntesis fue de [15 mM], el extracto metanólico de flor de *J. mimosaeifolia* fue de 3.3 mg/ mL, en cada tubo de ensayo se varió las soluciones de diferentes pH para la obtención de las nanopartículas de cobre.

### 6.2.7 Evaluación de las JmCuNPs como agentes inhibidores de la corrosión de metales.

La solución ácida fue preparada usando ácido clorhídrico (HCl). El ambiente ácido en los diferentes experimentos fue con un pH 2, empleando agua destilada. Las pruebas con el ambiente ácido se llevaron a 25° C.

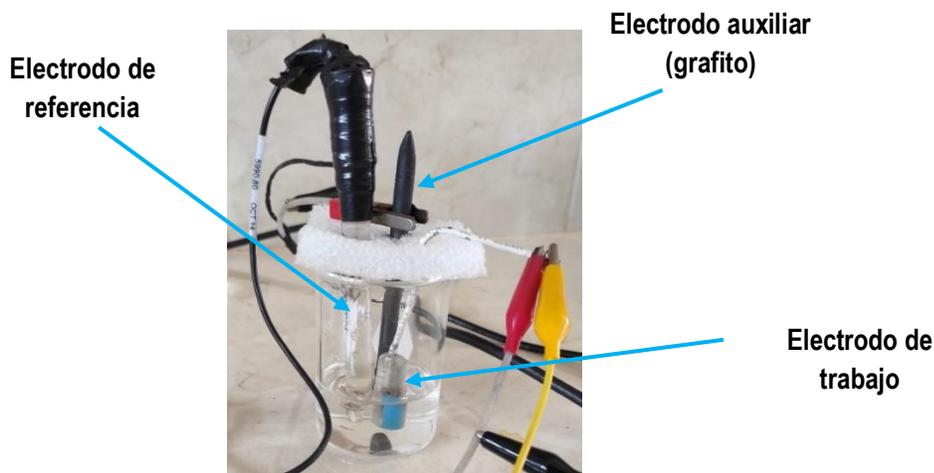
Se evaluó el inhibidor verde (*Jacaranda mimosaeifolia*), la sal (CuSO<sub>4</sub>), nanopartículas de cobre sintetizadas in situ y nanopartículas de cobre sintetizadas ex situ mediante técnicas electroquímicas.

La exposición de las muestras fue en una celda convencional de tres electrodos con 50 ml de solución ácida. Empleando un electrodo de trabajo (acero 1018), electrodo de referencia de Cloruro de Plata (AgCl) y como electrodo auxiliar

---



una barra de grafito, a continuación, se muestra la celda electroquímica construida en la Figura 20.



**Figura 20.** Celda electroquímica convencional de tres electrodos.

#### **6.2.7.1 Curvas de polarización potenciodinámica.**

Se aplicó la técnica de curvas de polarización potenciodinámica empleando como sistema base (testigo) acero 1018 inmerso en una solución de HCl pH 2. Posteriormente se incluyó en el sistema individualmente la sal  $\text{CuSO}_4$  (15 mM), el extracto metanólico de *Jacaranda mimosaeifolia* (66.6 g/ml). El siguiente experimento consistió en sintetizar las nanopartículas de cobre *in situ* agregando tanto la sal como el extracto de la jacaranda y por último se determinó la actividad de las nanopartículas de cobre sintetizadas *ex situ* a 25 °C

Las curvas de polarización potenciodinámica (CPP) para el análisis se realizaron con un barrido de 100 mV/s en un intervalo de -1200 a +1200 mV con respecto a su valor de potencial de corrosión ( $E_{\text{corr}}$ ). La medición de CPP fue usando un potenciostato Gill AC (ACM Instruments, Figura 21).



**Figura 21.** Potenciostato Gill AC.

El valor de la densidad de corriente ( $I_{corr}$ ) fue obtenido usando la extrapolación de Tafel. La eficiencia del inhibidor (EI %) fue determinada con la Ecuación 2. Con los datos obtenidos se construyeron las respectivas curvas de polarización para su interpretación.

$$EI (\%) = \left( \frac{I_{corr1} - I_{corr2}}{I_{corr1}} \right) * 100 \quad \text{Ec 2}$$

Donde  $I_{corr1}$  y  $I_{corr2}$  son la densidad de corriente con y sin inhibidor respectivamente.



## 7 RESULTADOS

### 7.1 Estado del arte relacionado con nanopartículas sintetizadas con métodos verdes.

De acuerdo con el análisis realizado de los treinta artículos preseleccionados de la literatura científica, fueron tres de ellos que mostraron una metodología posible de ser realizable en el laboratorio de investigación 2 de la FCQ e I. Las metodologías seleccionadas se describen en la Tabla 3 dentro de esta se destacan la síntesis de nanopartículas mediante la utilización de metales como Plata (Ag), Oro (Au) y Cobre (Cu). Con lo anterior se buscaba generar la experiencia suficiente que permitieran la adecuación y posterior modificación de una metodología verde.

**Tabla 3.** Análisis de metodologías verdes para síntesis de GNPs

Título del artículo	Base	Metal	Extracto	Caracterización	Cita
Síntesis verde de Nanopartículas de plata mediante el uso del ajo ( <i>Allium sativum</i> )	Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) y cloruro de sodio (NaCl)	Plata (Ag)	<i>Allium sativum</i>	Espectrofotometría UV-Visible, microscopía de electrónica transmisión, dispersión dinámica de luz y difracción de rayos X.	80
Biosíntesis de Nanopartículas de oro mediante el extracto de <i>Opuntia ficus-indica</i>	Ácido cloroáurico ( $\text{HAuCl}_4$ ).	Oro (Au)	<i>Opuntia ficus indica</i>	Microscopio Electrónico de Transmisión y espectroscopia de absorción UV-Vis	81
Síntesis de Nanopartículas de Cu, con extracto de <i>Ocimum sanctum</i>	Sulfato de Cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	Cobre (Cu)	<i>Ocimum sanctum</i>	Espectrofotometría UV-Visible, microscopía de electrónica, transmisión infrarroja, dispersión dinámica de luz y difracción de rayos X.	82

El análisis detallado de las tres metodologías permitió seleccionar la propuesta por Vasudeo Kulkarni [88], en la cual se emplea la sal de Sulfato de cobre



---

pentahidratado y el extracto acuoso de una especie vegetal disponible y accesible en el Estado de Morelos. Así mismo, resultó ser una metodología de bajo costo.

La metodología seleccionada fue modificada y se realizó su adaptación para utilizarla en la síntesis de las nanopartículas con la sal metálica y diferentes extractos orgánicos de especies vegetales, en este trabajo de investigación se muestran los resultados del empleo del extracto metanólico de las flores *Jacaranda mimosaeifolia* con la sal metálica de Cu.

## **7.2 Nanopartículas obtenidas con extractos naturales.**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del proyecto de investigación. La descripción de los resultados se inicia con la síntesis y detección espectrofotométrica de las nanopartículas de Cobre *Ocimum sanctum*, y *Jacaranda mimosaeifolia*, a través de lo cual se desarrolló un método de síntesis sustentado en química verde.

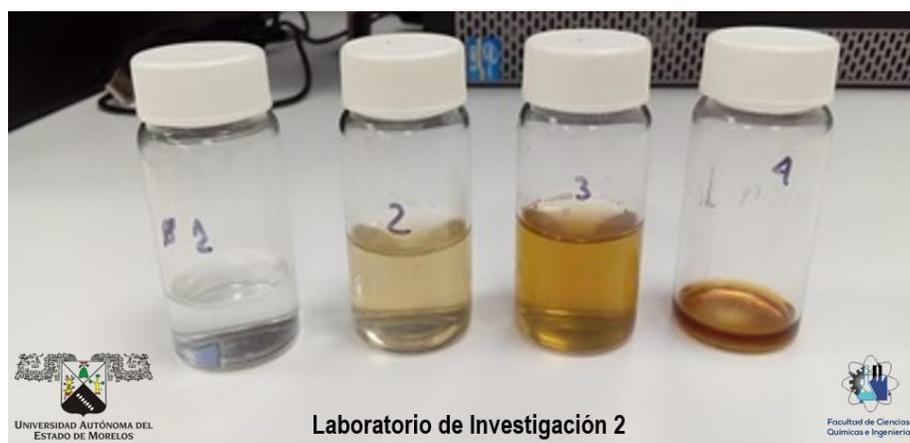
### **7.2.1 CuNPs utilizando el extracto acuoso de las hojas de *O. sanctum* a pH neutro.**

En condiciones estáticas se combinaron volúmenes del extracto acuoso de *O. sanctum* y la sal de cobre a una concentración de 15 mM. La sal y el extracto acuoso se mantuvieron reaccionando por un lapso de 24 h. Al paso de las horas la solución cambio de color tornándose rojo marrón como indicativo de la reducción de los compuestos presentes en el extracto acuoso de *O. sanctum* (Figura 22, obsérvese



el vial número 2), o visto desde otro ángulo, el cambio de coloración podría deberse a la oxidación del metal.

Con el paso del tiempo (72 h) la coloración de la solución de síntesis se incrementó (Figura 22, obsérvese vial 4). A este mismo tiempo de reacción fue posible apreciar la formación un precipitado de color marrón-oscuro que evidenciaba el crecimiento de los nanocompositos (Figura 23.).



**Figura 22.** Síntesis de nanopartículas verdes empleando Cobre y *Ocimum sanctum*. De izquierda a derecha, 1 = Solución de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  10 mM, 2 = Extracto acuoso de *O. sanctum*, 3 = Reacción a las 24 h, 4 = Reacción a las 72 h.

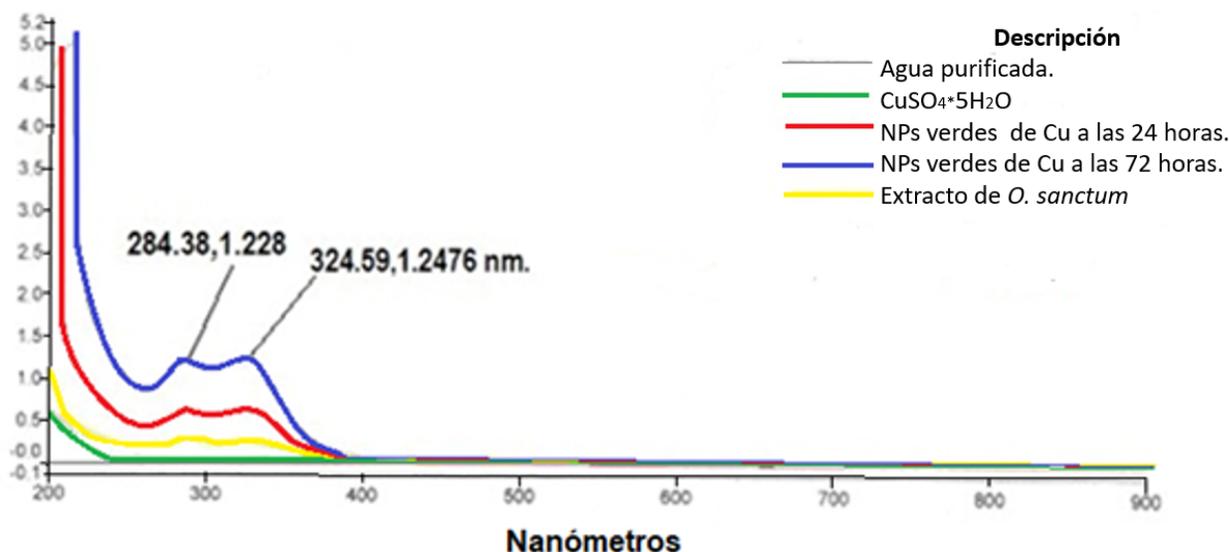


**Figura 23.** Formación de nanocompositos a las 72 h.



Los espectros de absorción para cada una de las muestras de reacción se muestran en la Figura 24. Como se pueden apreciar las lecturas individuales de la solución de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a 10 mM y el extracto acuoso de *Ocimum sanctum*, mostraron bandas de absorción máxima aunque con menor intensidad que cuando se lleva a cabo la reacción.

La reacción del  $\text{CuSO}_4$  con 0.1 mM de extracto acuoso de *Ocimum sanctum*, mostraron dos bandas máximas de adsorción, una 284.38 nm y la segunda en 324.59 nm, lo que evidencio la formación de las nanopartículas de cobre con los compuestos presentes en el extracto. Las bandas de absorción fueron mayor cuando se empleó una mayor concentración del extracto (1 mM).



**Figura 24.** Espectro de UV-Vis de las CuOsGNps  
Nanopartículas de cobre a 0.1 mM y 1 mM y extracto de *Ocimum sanctum*



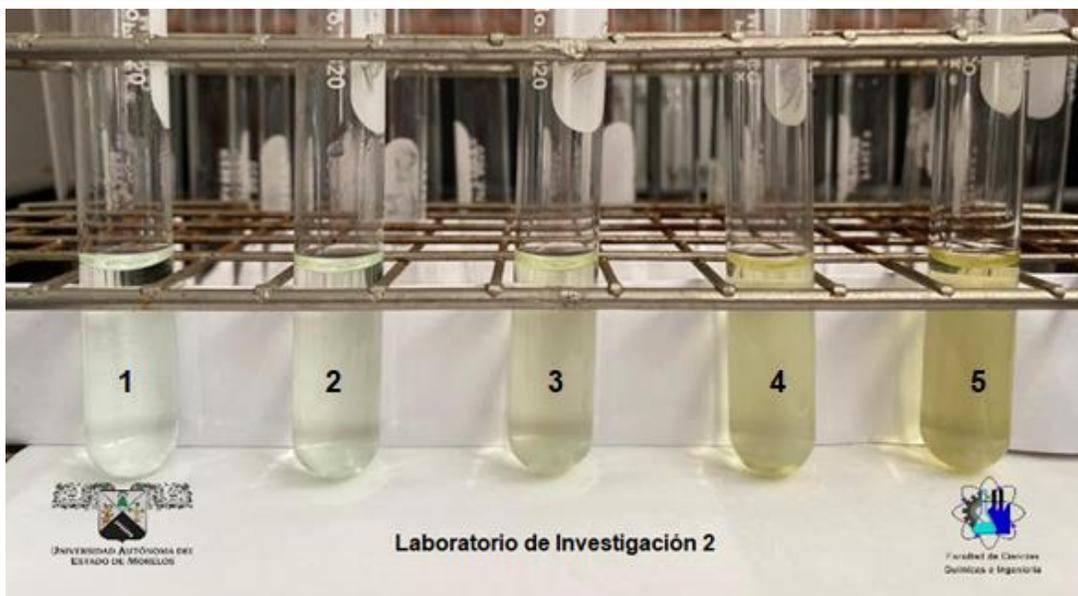
---

### 7.2.2 CuNPs utilizando el extracto metanólico de las flores de *J.mimosaefolia* a pH neutro.

El acoplamiento del cobre con los compuestos presentes en el extracto metanólico de la flor de jacaranda se dejó reaccionar por 24 h. En la Figura 25 se muestra el tiempo inicial de la reacción.

Visualmente se observa que los componentes de la solución reaccionan produciendo un cambio en la coloración de dicha solución. Véase la Figura 25 en la cual se presenta el conjunto de muestras de formación de NPs con diferente concentración de extracto. En el vial 1 se encuentran presentes 0.66 g/L de extracto metanólico de *J. mimosaefolia* con 0.015 M de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , comparada esta muestra con la que se encuentra en el tubo número 5, esta última presenta una tonalidad amarillo-verdosa y este color se va intensificando a medida que el tiempo avanza. Los cambios de color y tonalidad se atribuyen a la oxidación de los iones de cobre por los componentes del extracto a través de la formación de nanopartículas [89].

El seguimiento de la formación de nanopartículas fue monitoreado por un tiempo de 24 horas, En la Figura 26 observar el cambio de tonalidades de las muestras a las 24 horas de tiempo de reacción, cambiando los tonos de verde a rojo-marrón y se alcanza a observar las partículas coloidales en suspensión que se forman.



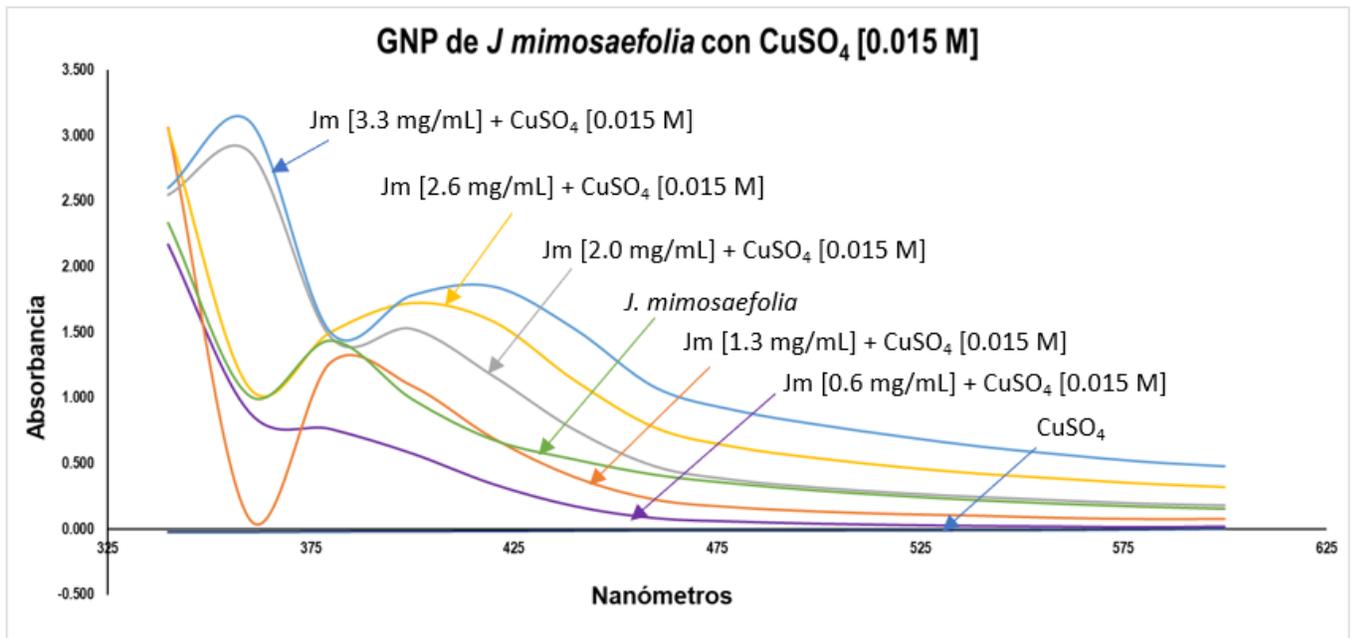
**Figura 25.** Nanopartículas de Cobre [15 mM] con diferentes concentraciones de extracto metanólico de *Jacaranda mimosaeifolia* al inicio de la reacción.  
De izquierda a derecha: 1 = 0.6 mg/mL de extracto; 2 = 1.3 mg/mL de extracto; 3 = 2.0 mg/mL de extracto; 4 = 2.6 mg/mL de extracto; 5 = 3.3. mg/mL de extracto.



**Figura 26.** Nanopartículas de Cobre [15 mM] con diferentes concentraciones de extracto metanólico de *Jacaranda mimosaeifolia* a las 24 h de tiempo de reacción.  
De izquierda a derecha: 1 = 0.6 mg/mL de extracto; 2 = 1.3 mg/mL de extracto; 3 = 2.0 mg/mL de extracto; 4 = 2.6 mg/mL de extracto; 5 = 3.3. mg/mL de extracto.



En la Figura 27 se observa un crecimiento en el espectro de acuerdo con la concentración de disolución del extracto metanólico de *J. mimosaeifolia*. Este crecimiento se observó en la muestra que empleó 3.3 mg/mL de extracto con un máximo de absorción en 360 nm y 420 nm. A medida que se disminuye la proporción de extracto, el máximo del espectro se va desplazando a longitudes de onda menor, es decir a mayor energía.



**Figura 27.** Espectros UV de las muestras de nanopartículas de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) y extracto de *Jacaranda mimosaeifolia*.

En la figura 27 se puede observar que en el espectro UV-Visible para la línea morada que pertenece la absorción de la concentración más baja del fitoextracto de *Jacaranda mimosaeifolia* combinado con el  $\text{CuSO}_4$  no mostró el valor máximo de absorción previamente reportado para la resonancia del plasmón de superficie, el cual absorbe alrededor de los 562-573 nm [89], [90], [91], en este trabajo se



---

encontró en 380 nm. Esto se debe a dos factores, el primero a que se está usando una concentración de sal mucho más baja a la reportada, el segundo factor se debe a que los compuestos que conforman el fitoextracto son monoterpenos y ácidos fenólicos, los cuales absorben a 380 nm esto se puede atribuir. Esta situación modifica la energía de absorción de resonancia del plasmón de superficie; algunos autores han mencionado la susceptibilidad de la energía de excitación para el plasmón de superficie, la cual depende de varios factores como son el índice de refracción del medio de las nanopartículas, el solvente, la forma y el tamaño de la nanopartícula, entre otro [92]. Esta justificación aplica para el resto de las líneas espectrales a diferentes concentraciones de fitoextracto empleado.

### **7.2.3 Influencia del pH en la síntesis de las JmCuNPs.**

Se realizaron seis ensayos de síntesis de nanopartículas de cobre de pH, 4, 5, 6, 8, 9 y 10. En la Figura. 28 se presenta el conjunto de muestras de formación de NPs con pH 4, 5 y 6, una concentración 3.3 mg/mL de extracto metanólico de *J. mimosaeifolia* con un tiempo de reacción de 24 horas. En el tubo número 5 donde tiene pH 6 presenta una mayor formación de nanocompositos en comparación con el tubo número 3 con un pH 4.

En la Figura 29 se presenta el conjunto de muestras de formación de NPs con pH 8, 9, y 10, con una concentración de 3.3 mg/mL de extracto metanólico de *J. mimosaeifolia*. Al inicio de la reacción en los tubos número 3, 4, y 5 se alcanza apreciar la formación de un precipitado de color verde-militar que evidenciaba el



crecimiento de los nanocompositos que se forman en menor tiempo que los pH ácidos.



**Figura 28.** Nanopartículas de Cobre [15 mM] y *J. mimosaeifolia* en diferentes pH ácidos en fase acuosa a las 24 horas en fase de reposo.

De izquierda a derecha, 1 =  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 2 = Extracto metanólico de *J. mimosaeifolia*, 3-5 = Reacciones de formación de NPs a las 24 h, 3 = pH 4; 4 = pH 5; 5 = pH 6.



**Figura 29** Nanopartículas de Cobre en diferentes pH básicos en fase acuosa al inicio de la reacción.

De izquierda a derecha, 1 =  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 2= Extracto metanólico de *J. mimosaeifolia*, 3-5 = Reacciones de formación de NPs a las 24 h, 3 = pH 8; 4 = pH 9, 5 = pH 10.

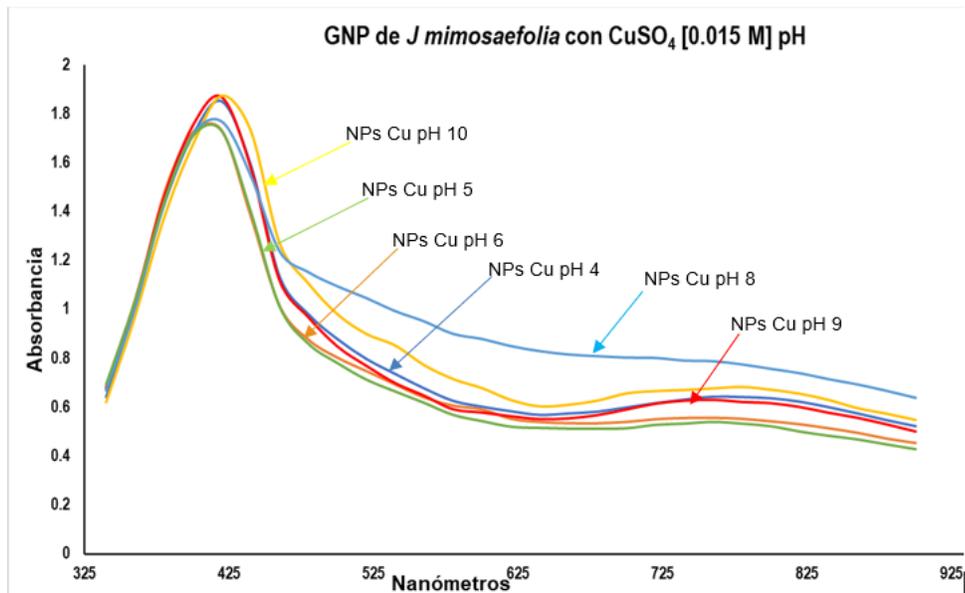


El seguimiento de la formación de nanopartículas fue monitoreado con un tiempo de 24 horas. En el vial se puede apreciar en la Figura. 30 con un pH 10 el crecimiento de partículas coloidales en suspensión que se forman a los 20 minutos de tiempo de reacción.



**Figura 30.** Formación de nanocompositos con un pH de 10 a los 20 minutos de reacción.

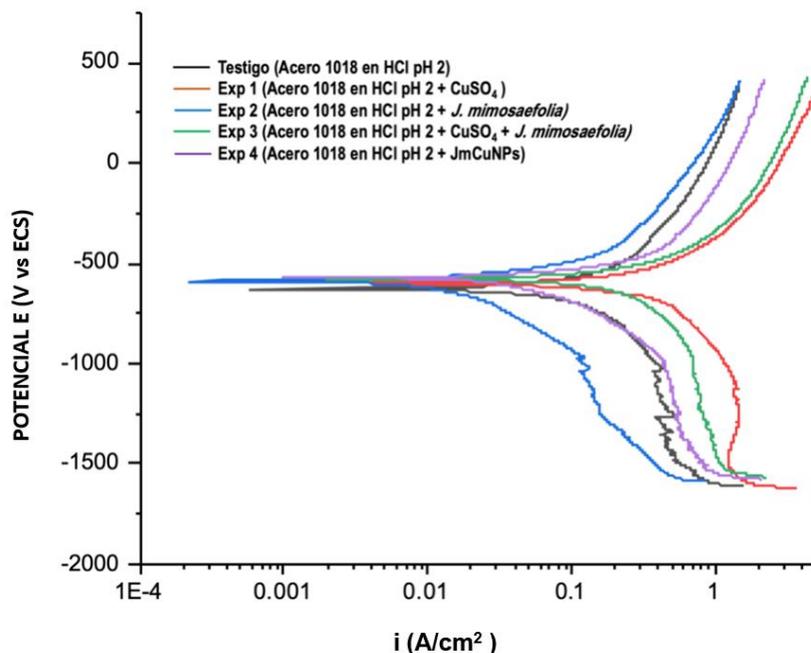
Para la detección de nanopartículas se realizó usando espectrofotometría, para ello se obtuvo un barrido en un rango de 340 a 600 nm. En la Figura 31 se observa un crecimiento en el espectro de acuerdo con el pH. La mayor absorbancia se observó a pH 10 a una longitud de onda de 420 nm. Por otro lado, se observó a pH de 4, 5 y 6 una tendencia a aglomerarse y posteriormente a precipitar como se observa en la Figura 28.



**Figura 31.** Espectroscopia UV-Vis de la síntesis de Nanopartículas de cobre a diferentes pHs (4, 5, 6, 8, 9 y 10).

#### 7.2.4 Evaluación de las JmCuNPs como inhibidores de la corrosión.

En la Figura 32 se muestran los diagramas de Evans obtenidos mediante la técnica de curvas de polarización potenciodinámicas en el cual se estudio el comportamiento del acero 1018 en un sistema de generación de nanopartículas *in situ*, *ex situ*, en presencia y ausencia del inhibidor natural a temperatura ambiente, presión atmosférica y condiciones estáticas.



**Figura 32.** Curvas de Polarización Potenciodinámica de acero 1018 en HCl pH 2 a 25 °C y con el empleo de JmCuNPs

Los parámetros electroquímicos de cada sistema se presentan en la Tabla 4, como el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) y las pendientes de Tafel (anódica ( $\beta_a$ ) y catódica ( $\beta_c$ )) que permitieron calcular la densidad de corriente ( $I_{corr}$ ) y con estos datos valorar la capacidad inhibitoria de la corrosión de cada sistema, se calculó de la eficiencia de inhibición de la corrosión (EI %) empleando la Ecuación 2.



Tabla 4. Parámetros electroquímicos obtenidos mediante Curvas de Polarización del acero 1018 inmerso en una solución HCl pH 2 a 25°C.

Sistema	$E_{corr}$ (mV)	$\beta_a$ (V/dec)	$\beta_c$ (V/dec)	$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	Eficiencia (%)
Blanco	-627.4052	---	- 129.7396	$7.00 \times 10^{-2}$	---
CuSO <sub>4</sub>	-614.1058	---	- 325.2688	$35.78 \times 10^{-2}$	---
Extracto metanólico de <i>J. mimosaeifolia</i>	<b>-586.9711</b>	<b>-25.1839</b>	---	<b><math>0.37 \times 10^{-2}</math></b>	<b>94.6 %</b>
NPs <i>In situ</i>	-575.8104	- 43.2937	---	$10.78 \times 10^{-2}$	---
NPs <i>Ex situ</i>	-570.8681	- 34.9462	---	$5.03 \times 10^{-2}$	28.06 %

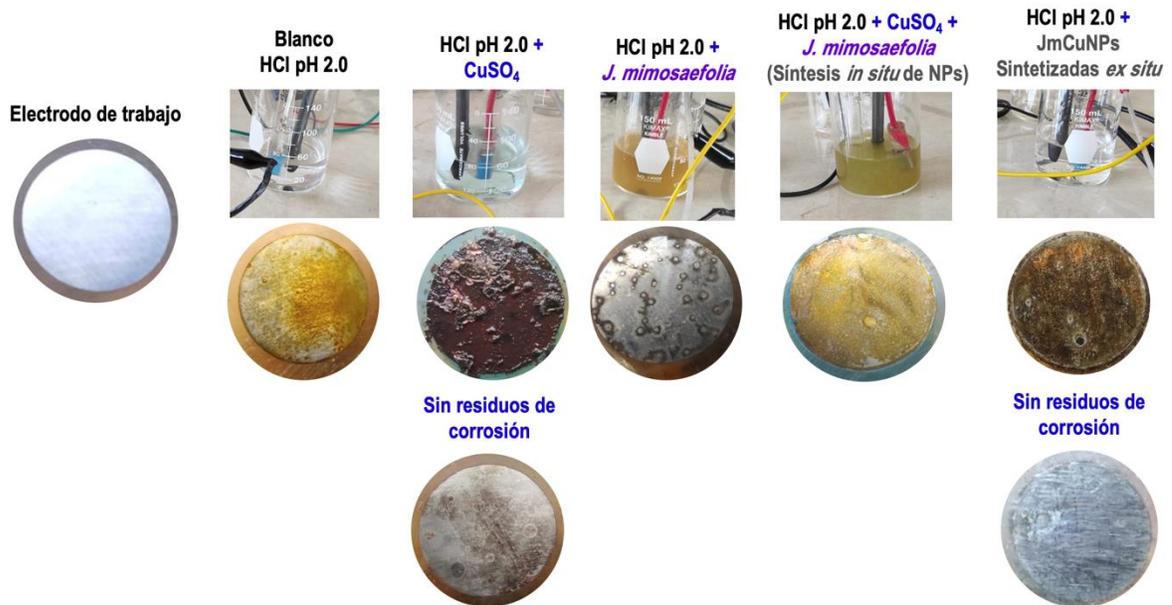
La curva de polarización potenciodinámica denominada blanco (curva negra en la Figura 32) muestra el comportamiento de la reacción del acero 1018 en medio ácido (solución de HCl a pH 2). A partir de esta curva es posible distinguir los diferentes cambios que se generan y que es posible visualizar potenciodinámicamente. Por ejemplo, cuando se incorpora en el medio CuSO<sub>4</sub> (curva naranja en la Figura 32) se reduce la resistencia a la solución y la curva se moviliza hacia la derecha produciendo una  $I_{corr}$  mayor a la del blanco. Cuando se incorpora el extracto de las flores de jacaranda (curva azul Figura 32) la curva se mueve hacia la izquierda y se produce una  $I_{corr}$  con un valor significativamente menor a la del blanco, lo que indica que se aumentó la resistividad del medio y generando un 94.6 % de eficiencia de inhibición de la corrosión.

Cuando se adicionaron al medio tanto de la sal cúprica como del extracto vegetal (curva verde Figura 32), con la intención de producir las NPs en el medio de la celda electroquímica (síntesis *in situ*), la curva se mueve hacia la izquierda, lo que



indica que disminuye la resistencia del medio y se produce una  $I_{corr}$  con valor mayor a la del blanco. Cuando se incorpora al medio las NPs previamente sintetizadas (curva morada Figura 32) la curva se solapa a la curva del blanco, pero se produce una  $I_{corr}$  con valor menor a la del blanco, disminuyendo la resistividad del medio y produciendo un 28 % de eficiencia de inhibición de la corrosión.

En la Figura 33 se presentan las superficies de los electrodos de trabajo posterior a la prueba con y sin residuos de corrosión.



**Figura 33.** Electrodos de trabajo (acero 1018) antes y después de los experimentos de Polarización Potenciodinámica.

Los resultados mostrados en la Figura 33 permiten observar la formación de residuos de corrosión en la superficie metálica del electrodo de trabajo (acero 1018) en los distintos electrolitos con y sin la presencia de NPs. Es posible observar que



---

la presencia de JmCuNPs en el sistema confieren cierto grado de protección al metal e impiden que la superficie metálica sufra daño.

Los resultados logrados en este trabajo de investigación de tesis demuestran que los sistemas que producen inhibición de la corrosión son el extracto polar de *Jacaranda mimosaeifolia* y las nanopartículas verdes (JmCuNPs) sintetizadas *ex situ*, es importante señalar que las JmCuNP permanecieron estables en un medio ácido (pH 2) y bajo la influencia de un voltaje eléctrico, logrando ejercer un efecto inhibitorio de la corrosión para el acero 1018 en un ambiente ácido a pH 2.0.



---

## 8 CONCLUSIONES

1. Fue posible adaptar en forma extremadamente simple uno de los tres métodos de síntesis de nanopartículas de cobre seleccionados de la literatura.
2. El método desarrollado para la síntesis coloidal de nanopartículas verdes bajo el empleo reductores de origen natural resultó ser amigable, sencillo, eficiente y económico.
3. La evolución de la síntesis verde de las nanopartículas coloidales pudo ser monitoreada a través de espectrofotometría UV-VIS, debido a que los agentes reductores naturales son de naturaleza química aromática por lo que mostraron absorción en el rango de la longitud de onda empleada.
4. Se lograron obtener nanopartículas verdes coloidales de Cu (GCuNPs) mediante la reducción del metal por los compuestos naturales presentes en los extractos vegetales de las partes aéreas de *Ocimum sanctum* (extracto acuoso) y las flores de la *Jacaranda mimosaeifolia* (extracto metanólico).
5. Las JmCuNPs ejercieron un efecto de inhibición de la corrosión para el acero 1018 en medio ácido, siendo estables a pH 2 y bajo la influencia de un voltaje eléctrico.



---

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. P. Hernández Díaz, “Síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con Opuntia SP. y su incorporación en membranas poliméricas nanofibradas,” Centro de Investigación de Química Aplicada, 2013.
- [2] J. N. Solanki, R. Sengupta, and Z. V. P. Murthy, “Synthesis of copper sulphide and copper nanoparticles with microemulsion method,” *Solid State Sci.*, vol. 12, no. 9, pp. 1560–1566, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2010.06.021.
- [3] W. Yu, H. Xie, L. Chen, Y. Li, and C. Zhang, “Synthesis and Characterization of Monodispersed Copper Colloids in Polar Solvents,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 4, no. 5, pp. 465–470, May 2009, doi: 10.1007/s11671-009-9264-3.
- [4] S. Yan, L. Xiaoqiang, L. Shuiping, M. Xiumei, and S. Ramakrishna, “Controlled release of dual drugs from emulsion electrospun nanofibrous mats,” *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 73, no. 2, pp. 376–381, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.06.009.
- [5] A. K. Calvillo Anguiano, “Evaluación de la viabilidad celular y la actividad antimicrobiana de nanopartículas de cobre,” Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2019.
- [6] B. N. A. Cedano Cuadros, “Evaluación de las propiedades antibacterianas de nanopartículas de cobre sintetizadas a partir de  $\text{CuSO}_4$  y extracto de eucalipto,” Universidad Nacional de San Agustín, 2018. Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5725>.
- [7] N. Pájaro Castro, J. Olivero Verbel, and J. Redondo Padilla, “Nanotecnología



- 
- aplicada a la medicina,” *Rev. Científica Guillermo Ockham*, vol. 11, no. 1, pp. 125–133, 2013.
- [8] G. Mendoza and J. L. Rodríguez López, “La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso,” *Perfiles Latinoam.*, vol. 29, no. 29, pp. 161–186, 2007, [Online]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/115/11502906.pdf>.
- [9] D. A. Trepiana Fica, “Síntesis de suspensiones de nanopartículas de cobre y quitosano, y evaluación de sus propiedades antimicrobianas frente a *Streptococcus mutans*,” Universidad de Chile, 2015.
- [10] R. Miranda, “Efectos de tamaño cuántico y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras,” *Nanociencia y Nanotecnología II*, 2006. Disponible en <http://www.madrimasd.org/revista/revista35/tribuna/tribuna1.asp>.
- [11] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health and Risks, “Scientific basis for the definition of ‘nanomaterial,’” in *Health & Consumers*, 20120, p. 17.
- [12] M. G. Calabrese and P. Ferranti, “Novel Foods: New Food Sources,” in *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, Elsevier, 2019, pp. 271–275.
- [13] C. P. Poole and F. J. Owens, *Introducción a la nanotecnología*, Reverté. 2007.
- [14] M. Al-Bedairy and H. A. H. Alshamsi, “Environmentally Friendly Preparation of Zinc Oxide, Study Catalytic Performance of Photodegradation by Sunlight for Rhodamine B Dye,” *Eurasian J. Anal. Chem.*, vol. 13, no. 6, Dec. 2018, doi: 10.29333/ejac/101785.
-



- 
- [15] D. M. Torres and G. Sierra, "Crecimiento de nanotubos de carbono sobre el mineral limonita como catalizador.," *Ing. y Compet.*, vol. 14, pp. 139–146, 2012, [Online]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291325042010.pdf>.
- [16] M. F. Hurtado Morales, "Síntesis y caracterización de películas delgadas del semiconductor  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  y su uso como capa absorbente en celda solares.," Universidad Nacional de Colombia, 2014. Disponible en <https://docplayer.es/59891651-Sintesis-y-caracterizacion-de-peliculas-delgadas-del-semiconductor-cu-2-znsns-4-y-su-uso-como-capa-absorbente-en-celdas-solares.html>
- [17] F. X. Gil and J. M. Guilemany, "Estudio de fatiga y fractura de monocristales, bicristales y policristales de la aleación Cu-18,2Zn-7,0Al con memoria de forma," *Rev. Metal.*, vol. 31, no. 4, pp. 222–227, Aug. 1995, doi: 10.3989/revmetalm.1995.v31.i4.953.
- [18] C. G. Lizarazo Salcedo, E. E. González Jiménez, C. Y. Portela Arias, and J. Guarguati Ariza, "Nanomateriales: un acercamiento a lo básico.," *Med. Secur. Trab. (Madr.)*, vol. 64, pp. 109–118, 2018, [Online]. Disponible en <https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v64n251/0465-546X-mesetra-64-251-00109.pdf>.
- [19] K. Savolainen, U. Backman, D. Brouwer, B. Fadeel, T. Fernandes, and T. Kuhlbusch, "Nanosafety in Europe 2015-2025: Towards Safe and Sustainable Nanomaterials and Nanotechnology Innovations.," 2013. [Online]. Disponible en
-



---

<https://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report159.pdf>.

- [20] B. K. Lee, Y. H. Yun, and K. Park, "Smart nanoparticles for drug delivery: Boundaries and opportunities," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 125, pp. 158–164, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.ces.2014.06.042.
- [21] H. Nalwa, *Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology*, 1st Editio. 1999.
- [22] R. Zanella, "Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño," *Mundo Nano*, vol. 5, no. 1, pp. 69–81, 2012, [Online]. Disponible en <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/45167/40717>.
- [23] M. Gómez Garzón, "Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde.," *Repert. Med. y cirugía*, vol. 27, no. 2, pp. 75–80, 2018.
- [24] F. E. Tapia Pineda, "Obtención de nanopartículas de Mo a partir de la molienda y reducción térmica de Mo<sub>3</sub>," Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2005.
- [25] M. Rodríguez Villafuerte, "Instituto de Física- UNAM," *Mundo Nano. Rev. Interdiscip. en Nanociencia y Nanotecnología*, vol. 9, no. 16, p. 57, Aug. 2016, doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2016.16.56901.
- [26] E. Mosquera, N. Rosas, and D. A., "Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Dióxido de Titanio Obtenidas por el Método de Sol-Gel.," *Rev. Politécnica*, vol. 36, 2015, [Online]. Disponible en [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/articl](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/articl)
-



---

e/view/525/pdf.

- [27] Y. Lopez Mora, D. A. Gutiérrez Arenas, and J. . Cuca García, “Síntesis de Nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal.,” *Agroproductividad*, vol. 11, pp. 85–90, 2018, [Online]. Disponible en [https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/436/316/#:~:text=Algunos de los métodos químicos,nanopartículas \(Schmid%2C2004\).](https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/436/316/#:~:text=Algunos de los métodos químicos,nanopartículas (Schmid%2C2004).)
- [28] J. L. Montaña Piedre, “Fabricación de Nanopartículas compuestas tipo multicapa y estudio de sus propiedades ópticas.,” Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2017.
- [29] C. J. Martínez Rivas *et al.*, “Nanoprecipitation process: From encapsulation to drug delivery,” *Int. J. Pharm.*, vol. 532, no. 1, pp. 66–81, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.ijpharm.2017.08.064.
- [30] A. Ledezma, J. Romero, G. Padrón, M. Hernández, I. Moggio, and S. Torres, “Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia sp.*) y su electrohilado polimérico,” *Soc. Mex. Cienc. y Tecnol. Superf. y Mater.*, vol. 27, no. 4, pp. 133–140, 2014, [Online]. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v27n4/1665-3521-sv-27-04-00133.pdf>.
- [31] H. A. Calderón, “Microscopía electrónica de transmisión para observar átomos: principios y desarrollo,” *Mundo Nano. Rev. Interdiscip. en Nanociencias y Nanotecnología*, vol. 13, no. 25, pp. 133–156, Jul. 2020, doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2020.25.69649.



- 
- [32] A. Martínez Orellana, “Microanálisis por dispersión de energías de rayos-X (XEDS).”, *Servicio de Microscopía Electrónica. SCAI. Universidad de Málaga*, 2010. .
- [33] El Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM (CFATA), “Laboratorio de Dispersión de Luz,” *CFATA*, 2020. Disponible en <http://labunam.unam.mx/micrositios/CFATALUZ/antecedentes.php?il=>
- [34] Universidad Autónoma de Madrid, “Unidad de Análisis Térmico,” *Laboratorio de Análisis Térmico*, 2019. .
- [35] S. O. Camelino, M. Minchiotti, R. Bariles, R. L. Padilla, and J. Colazo, “Optimización de un procedimiento para la determinación de oro mediante espectrofotometría UV/Vis,” *Matéria (Rio Janeiro)*, vol. 23, no. 2, Jul. 2018, doi: 10.1590/s1517-707620180002.0342.
- [36] I. C. Castellanos Cuéllar, J. R. Velandia Cabra, M. Á. González Curbelo, D. A. Varela Martínez, and E. Ramírez Valencia, *Aplicaciones y generalidades de un espectrofotómetro UV-VIS UV-1800 de Shimadzu*, 1a edición. 2018.
- [37] N. A. Díaz *et al.*, “Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas,” pp. 01–05, 2012, [Online]. Disponible en <https://docplayer.es/7159987-8-espectrofometria-espectros-de-absorcion-y-cuantificacion-colorimetrica-de-biomoleculas.html>.
- [38] J. R. González Martínez, “Propiedades ópticas, viscoelásticas y morfológicas de disoluciones acuosas de quitosano y nanotubos multipared de carbono.”, Universidad de Sonora, 2015.
- [39] M. L. Tavera Dávila, “Estudio de nanocompositos con nanopartículas de plata
-



- en polímeros modificados por radiación.,” Universidad Autónoma del Estado de México, 2013.
- [40] F. Hussain, M. Hojjati, M. Okamoto, and R. E. Gorga, “Review article: Polymer-matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview,” *J. Compos. Mater.*, vol. 40, no. 17, pp. 1511–1575, Sep. 2006, doi: 10.1177/0021998306067321.
- [41] M. Connolly, “Mecanismos subyacentes a la toxicidad de nanopartículas metálicas: aproximaciones in vitro e in vivo.,” Universidad Complutense De Madrid, 2017.
- [42] B. J. Marquis, S. A. Love, K. L. Braun, and C. L. Haynes, “Analytical methods to assess nanoparticle toxicity,” *Analyst*, vol. 134, no. 3, p. 425, 2009, doi: 10.1039/b818082b.
- [43] V. E. Kagan, H. Bayir, and A. A. Shvedova, “Nanomedicine and nanotoxicology: two sides of the same coin,” *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 1, no. 4, pp. 313–316, Dec. 2005, doi: 10.1016/j.nano.2005.10.003.
- [44] M. E. Medina M., L. R. Galván R., and R. E. Reyes G., “Las nanopartículas y el medio ambiente.,” *Universidad, Cienc. y Tecnol.*, vol. 19, no. 74, pp. 49–58, 2015, [Online]. Disponible en <http://ve.scielo.org/pdf/uct/v19n74/art05.pdf>.
- [45] N. A. Dhas, C. P. Raj, and A. Gedanken, “Synthesis, Characterization, and Properties of Metallic Copper Nanoparticles,” *Chem. Mater.*, vol. 10, no. 5, pp. 1446–1452, May 1998, doi: 10.1021/cm9708269.
- [46] F. Celis Bozo, “Nanopartículas de cobre contra el coronavirus.,” *Universidad*



- 
- de Playa Ancha, 2020. Disponible en <https://www.upla.cl/noticias/2020/04/10/nanoparticulas-de-cobre-contra-el-coronavirus/>.
- [47] J. M. Guajardo Pacheco, "Síntesis de nanopartículas de cobre mediante novedosa ruta química .," 2013.
- [48] M. D. S. Aguilar and G. Rosas, "Síntesis de Nanopartículas de Cu por Reducción Química.," *Encuentro y participación de la Mujer en la Ciencia*, 2015. Disponible en [http://congresos.cio.mx/memorias\\_congreso\\_mujer/archivos/extensos/sesion3/S3-BYQ19.pdf](http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion3/S3-BYQ19.pdf).
- [49] A. M. I Huánuco Ramos, "Estudio de la recuperación de metales mediante la síntesis de nanopartículas metálicas: Cu.," Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2017.
- [50] G. A. Lopez R. and J. C. Ataucuri S., "Estudio sobre metodologías aplicadas para la síntesis de nanopartículas de cobre (NPsCU) y plata (NPsAG) en diferentes formas y tamaños," *Rev. Cient. Tec.*, vol. 27, no. 2, p. 45, Apr. 2018, doi: 10.21754/tecnia.v27i2.174.
- [51] P. Reyes, "Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre y óxido de cobre y su incorporación en una matriz polimérica y el estudio de sus propiedades anti bacterianas," 2012.
- [52] A. K. Calvillo Anguiano, "Evaluación de la viabilidad celular y la actividad antimicrobiana de nanopartículas de cobre.," Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2019.
-



- 
- [53] A. Ferrer, "Intoxicación por metales," *An. del Sist. Sanit. Navarra*, vol. 26, pp. 141–156, 2003, [Online]. Disponible en <https://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v26s1/ocho.pdf>.
- [54] T. Villanueva Rodríguez, "¿Qué son los metales?," in *Los metales.*, Primera Ed., J. de C. y León, Ed. 2008.
- [55] J. Duque and L. Sánchez, "Estructura cristalina del cobre, propiedades microscópicas mecánicas y de procesamiento," *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 16, no. 2, pp. 96–103, 2006, [Online]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/911/91116210.pdf>
- [56] L. López Tévez, "Estudio De Complejos Metálicos Con Ligandos De Interés Biológico," *Univ. Nac. La Plata*, p. 166, 2016, [Online]. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/55585/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/55585/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [57] J. D. Aiken and R. G. Finke, "A review of modern transition-metal nanoclusters: their synthesis, characterization, and applications in catalysis," *J. Mol. Catal. A Chem.*, vol. 145, no. 1–2, pp. 1–44, Sep. 1999, doi: 10.1016/S1381-1169(99)00098-9.
- [58] G. Friederici M., "Nanopartículas de Au y Pd: Síntesis, funcionalización y aplicaciones catalíticas," p. 190, 2013.
- [59] L. C. De Moraes Teixeira, "Nanopartículas de oro y platino estabilizadas por tionas N-heterocíclicas y aplicaciones catalíticas," p. 424, 2018, [Online]. Disponible en [https://digital.csic.es/bitstream/10261/173322/1/Tesis\\_Doctoral\\_Leonardo.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/173322/1/Tesis_Doctoral_Leonardo.pdf).
-



- 
- [60] K. Gopinath, K. S. Venkatesh, R. Ilangovan, K. Sankaranarayanan, and A. Arumugam, "Green synthesis of gold nanoparticles from leaf extract of *Terminalia arjuna*, for the enhanced mitotic cell division and pollen germination activity," *Ind. Crops Prod.*, vol. 50, pp. 737–742, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.08.060.
- [61] V. K. Sharma, R. A. Yngard, and Y. Lin, "Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities.," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 145, no. 1–2, pp. 83–96, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.cis.2008.09.002.
- [62] P. Pattanayak, P. Behera, D. Das, and S. Panda, "*Ocimum sanctum* Linn. A reservoir plant for therapeutic applications: An overview," *Pharmacogn. Rev.*, vol. 4, no. 7, p. 95, 2010, doi: 10.4103/0973-7847.65323.
- [63] U. Paulino de Albuquerque and A. Laise de Holanda, "El genero *Ocimum* L. (Lamiaceae) en el nordeste del Brasil.," *Albuquerque, U.P. L.H.C.*, vol. 56, no. 1, pp. 43–64, 1998.
- [64] S. Martinez Flores, J. González Gallejo, J. Culebras, and J. Tuñón, "Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes," *Nutr. Hosp. organo Of. la Soc. Esp. Nutr. Parenter. y Enter.*, vol. 17, no. 06, 2002.
- [65] O. Cartaya and R. Inés, "Flavonoides: Características químicas y aplicaciones Cultivos Tropicales," *Inst. Nac. Ciencias Agrícolas*, vol. 22, no. 2, pp. 5–14, 2001.
- [66] A. P. Lema Aucacama, "Separación y Posible identificación de metabolitos secundarios de la Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*) con fines de aporte a una técnica de análisis químico," 2013.
-



- 
- [67] A. Rana, S. Bhangalia, and H. P. Singh, "A new phenylethanoid glucoside from *Jacaranda mimosifolia*," *Nat. Prod. Res.*, vol. 27, no. 13, pp. 1167–1173, Jul. 2013, doi: 10.1080/14786419.2012.717290.
- [68] A. J. López Barrera, M. Miranda Martínez, A. Bello Alarcón, and G. García Simó, "Actividad expectorante y toxicológica de una formulación elaborada a partir de *Eucalyptus globulus* Labill, *Borago officinalis* L, Y *Sambucus Nigra* L.," *Rev. Cuba. Plantas Med.*, vol. 21, no. 4, 2016, [Online]. Disponible en <https://docplayer.es/58209615-Actividad-expectorante-y-toxicologica-de-una-formulacion-elaborada-a-partir-de-eucalyptus-globulus-labill-borago-officinalis-l-y-sambucus-nigra-l.html>.
- [69] R. Hendra, A. Willis, and P. Keller, "Phytochemical studies on the Australian native plant species *Acacia pycnantha* and *Jacaranda mimosifolia* D.Don," *Nat. Prod. Res.*, vol. 33, no. 14, pp. 1997–2003, 2019, doi: 10.1080/14786419.2018.1483922.
- [70] M. S. Gachet *et al.*, "Jacaranone-derived glucosidic esters from *Jacaranda glabra* and their activity against *Plasmodium falciparum*," *J Nat Prod*, vol. 73, no. 4, pp. 553–556, 2010.
- [71] A. Zaghloul, A. Gohar, H. Baraka, and A. A. El-Bassuony, "Phenylpropanoids from the stem bark of *Jacaranda mimosifolia*," *Nat. Prod. Res.*, vol. 25, no. 1, pp. 68–76, 2011.
- [72] G. Vanhoenacker, P. Van Rompaey, D. De Keukeleire, and P. Sandra, "Chemotaxonomic features associated with flavonoids of cannabinoid-free cannabis (*Cannabis sativa* subsp. *sativa* L.) in relation to hops (***Humulus***
-



- 
- lupulus* L.),” *Nat Prod Lett*, vol. 16, no. 1, pp. 57–63, 2002.
- [73] A. Tamilvanan, K. Balamurugan, K. Ponappa, and B. M. Kumar, “Copper Nanoparticles: Synthetic Strategies, Properties and Multifunctional Application,” *Int. J. Nanosci.*, vol. 13, no. 02, p. 1430001, Apr. 2014, doi: 10.1142/S0219581X14300016.
- [74] Carpenter Aceros Fortuna, “Acero grado maquinaria,” 2014. .
- [75] D. William, Callister, and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering an introduction*, Wiley. Nueva York, 2009.
- [76] M. G. Valladares-Cisneros, R. M. Melgoza-Alemán, and C. C. Arteaga, “Inhibidores naturales en el control de la corrosión de materiales metálicos.,” *Inven. la génesis la Cult. Univ. en Morelos*, vol. 11, pp. 37–41, 2015, [Online]. Disponible en <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/252/302>
- [77] C. E. Arroyave, “El impacto de la corrosión en la economía de los países latinoamericanos.,” *Universidad Antonio Nariño.*, 2010. <http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/apresentacoes/latingalva-2010-carlos-arroyave-universidad-antonio-narino.pdf>.
- [78] J. M. Malo, *Inhibidores de la Corrosión*, Primera. México, 2000.
- [79] J. P. Flores de lo Ríos, “Comportamiento de inhibidores ‘verde’ en la corrosión de acero 1018 en medios ácidos.,” 2016.
- [80] S. Sastri Vedula, “Green corrosion inhibitors: theory and practice,” Wiley., Nueva Jersey, 2011, p. 167.
- [81] R. García-Mateos, E. Ibarra-Estrada, and R. Nieto-Angel, “Antioxidant compounds in hawthorn fruits (*Crataegus* spp.) of Mexico,” *Rev. Mex.*
-



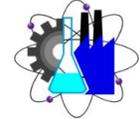
- 
- Biodivers.*, vol. 84, no. 4, pp. 1298–1304, Dec. 2013, doi: 10.7550/rmb.35675.
- [82] L. Zhong, Y. H. Wang, and Y. H. Lu, “Synthesis, Characterization and Corrosion Protection Properties of Polyaniline/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 399–401, pp. 2083–2086, Nov. 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.399-401.2083.
- [83] D. Yu, J. Wang, J. Tian, X. Xu, J. Dai, and X. Wang, “Preparation and characterization of TiO<sub>2</sub>/ZnO composite coating on carbon steel surface and its anticorrosive behavior in seawater,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 46, pp. 135–144, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.compositesb.2012.10.036.
- [84] G. Ruhi, H. Bhandari, and S. K. Dhawan, “Designing of corrosion resistant epoxy coatings embedded with polypyrrole/SiO<sub>2</sub> composite,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 77, no. 9, pp. 1484–1498, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.porgcoat.2014.04.013.
- [85] M. Y. DÍAZ CÁRDENAS, “Estudio de la capacidad inhibitoria de la corrosión del acero 1018 en medio ácido por Peumus Boldus.,” Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2016.
- [86] Z. E. Gómez Rosales, “Evaluación de la velocidad de corrosión de un bronce de aluminio y los aceros austeníticos AIS I/S AE 304 y 316 en medios ácido, básico y neutro con la técnica electroquímica de extrapolación de Tafel,” Universidad de los Andes, 2009.
- [87] A. E. Muñoz Castro, “Implantación iónica por plasma en titanio y aceros inoxidables usados en prótesis e instrumental médico,” Universidad Autónoma del Estado de México, 2008.
-



- 
- [88] V. D. Kulkarni and P. S. Kulkarni, "Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using *Ocimum sanctum* Leaf Extract," *Int. J. Chem. Stud.*, vol. 1, pp. 1–4, 2013, [Online]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/258933249\\_Green\\_Synthesis\\_of\\_Copper\\_Nanoparticles\\_Using\\_Ocimum\\_Sanctum\\_Leaf\\_Extract](https://www.researchgate.net/publication/258933249_Green_Synthesis_of_Copper_Nanoparticles_Using_Ocimum_Sanctum_Leaf_Extract).
- [89] A. Suci, P. Dwika Putri, M. Masruri, A. Sabarudin, and S. Sutiman Bambang, "Green synthesis and characterization of copper nanoparticles using *Piper retrofractum* Vahl extract as bioreductor and capping agent," *Heliyon*, vol. 6, no. 1, pp. 2–12, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04636>.
- [90] D. Thi My Dung, T. T. T. Le, E. Fribourg-Blanc, and M. Chien Dang, "Synthesis and optical properties of copper nanoparticles prepared by a chemical reduction method," *Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 2, pp. 2–6, 2011, doi: [10.1088/2043-6262/2/1/015009](https://doi.org/10.1088/2043-6262/2/1/015009).
- [91] M. Sampath, R. Vijayan, E. Tamilarasu, A. Tamilselvan, and B. Sengottuvelan, "Green Synthesis of Novel Jasmine Bud-Shaped Copper Nanoparticles," *Hindawi*, pp. 2–7, 2014, doi: <https://doi.org/10.1155/2014/626523>.
- [92] M. Atarod, M. Nasrollahzadeh, and S. M. Sajadi, "Green synthesis of a Cu/reduced graphene oxide/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite using *Euphorbia wallichii* leaf extract and its application as a recyclable and heterogeneous catalyst for the reduction of 4-nitrophenol and rhodamine B," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 111, pp. 91532–91543, 2015, doi: [10.1039/C5RA17269A](https://doi.org/10.1039/C5RA17269A).



## Laboratorio de Investigación 2



Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

# INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO

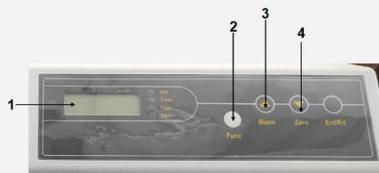
### ESPECTROFOTÓMETRO BAOSHISHAM 721



### VISTA TRASERA DEL EQUIPO. SE OBSERVA EL PANEL DE CONEXIÓN Y EL BOTÓN DE ENCENDIDO.



### TECLADO Y PANEL DE LECTURA DEL ESPECTROFOTÓMETRO



Número	Tecla	Función
1	Pantalla	Muestra datos
2	Func	Alternar la determinación de absorbancia o transmitancia.
3	Blank	Medición del valor en blanco
4	Zero	Ajuste cero

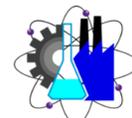
### VISTA SUPERIOR DEL EQUIPO CON LA COMPUERTA ABIERTA





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

## Laboratorio de Investigación 2



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

# INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO

### BAOSHISHAM 721

#### 1 CONECTAR EL EQUIPO A LA CORRIENTE

Conecte el equipo a la toma corriente (fuente de energía eléctrica) y enciéndalo (el interruptor se encuentra en la parte posterior, inferior, derecha). Es recomendable encender el equipo 30 min antes de usarlo.



No se recomienda iniciar las mediciones inmediatamente de encendido el equipo.

#### 2 SELECCIONAR LA LONGITUD DE ONDA

Ajuste la longitud de onda que requiera, girando la perilla.



#### 3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Presione el botón "FUNC" ubicado en el panel, hasta observar que el iluminador de "Trans" encienda.



Cierre la compuerta y presione el botón "Zero" una o dos veces hasta que la pantalla digital muestre lectura de 00.0 o -00.0



Abrir la compuerta del portaceldas y coloque la celda negra en la posición número 3 del portaceldas.



Abrir la compuerta del portaceldas y retire la celda negra.

#### 4 PREPARACIÓN DEL BLANCO O REFERENCIA

Una vez calibrado el equipo, coloque la celda de referencia en la posición número 2 del porta celdas.

Presione el botón "Blanc" una o dos veces hasta que la pantalla digital muestre 100.0



La celda se debe orientar con el lado transparente en el centro óptico.



#### 5 SELECCIONAR EL MODO DE MEDICIÓN

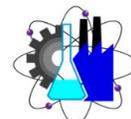
Con el botón "FUNC" puede alternar la determinación de absorbancia o transmitancia.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

## Laboratorio de Investigación 2



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

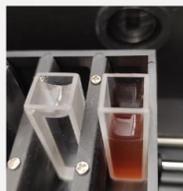
### 6 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA MÁXIMA POR BARRIDO ESPECTRAL



Siga los pasos indicados en la sección calibración y preparación de referencia.

Coloque la celda de referencia en el portaceldas.

Abra la compuerta y retire la celda de referencia, coloque la celda de la muestra problema en el portaceldas.



Ajusta a cero la absorbancia para cada longitud de onda, oprimiendo el botón "Blanc" por una ocasión hasta que la pantalla muestre 0.000

Cierra la compuerta del portacelda, obtenga los datos de medición y anote las lecturas.



Es recomendable, ajustar nuevamente con la celda de referencias antes de tomar la lectura de otra muestra.

### 7 APAGAR EL EQUIPO

Al finalizar de realizar las lecturas y para apagar el equipo, presione el botón de apagado y desconecte el cable del equipo del tomacorriente.



Evite desconectar el cable antes de presionar el botón de apagado, ya que se puede dañar la lámpara y/o el fusible del aparato.