

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO



**TESIS:**

**“Estudio de las propiedades ópticas y estructurales de nanopartículas semiconductoras de óxido de zinc por medio de extracto natural de *Origanum vulgare*”**

**Presenta:**

**DEL AGUILA VELASCO KEILY NAOMI**

**Para obtener el título de:**

**BIOINGENIERO**

**Director de tesis:**

**PRISCY ALFREDO LUQUE MORALES**

**Universidad Autónoma de Baja California**  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**„Estudio de las propiedades ópticas y estructurales de nanopartículas semiconductoras de óxido de zinc por medio de extracto natural de *Origanum vulgare*.**

Tesis para cubrir los requisitos necesarios para obtener el título de:

**BIOINGENIERO**

Presenta:

**DEL AGUILA VELASCO KEILY NAOMI**

Aprobada por:



Dr. Priscy Alfredo Luque Morales  
Director



Dra. Claudia Mariana Gómez Gutiérrez  
Sinodal



Dr. Rubén César Villarreal Sánchez  
Sinodal



Dr. Osvaldo Jesús Nava Olivas  
Sinodal



Dr. Horacio Edgardo Garrafa Gálvez  
Sinodal

## Resumen

De la tesis de KEILY NAOMI DEL AGUILA VELASCO, presentada como requisito para la obtención del título de Bioingeniero.

Ensenada, Baja California, abril de 2021.

### **“Estudio de las propiedades ópticas y estructurales de nanopartículas semiconductoras de óxido de zinc por medio de extracto natural de *Origanum vulgare*“**

**Resumen aprobado por:**



---

Dr. Priscy Alfredo Luque Morales

**Director**

En el presente trabajo se llevó a cabo el uso de la síntesis verde para la formación de nanopartículas de Óxido de Zinc utilizando el extracto de la planta *Origanum vulgare* comúnmente conocido como Orégano. El Óxido de Zinc se conoce por su amplia categoría de aplicaciones tanto en área médica y alimenticia además de su bajo costo. Los análisis realizados a dicho nanomaterial fueron las técnicas de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para la determinación de los grupos funcionales que componían a la muestra observando un pico característico del enlace Zn-O y también en el área del espectro que hace referencia a la parte orgánica reflejando la presencia de flavonoides y carotenoides lo cuales componen en su mayoría al Orégano. El análisis de la estructura cristalina de la muestra se llevó a cabo por medio de Difracción de Rayos X (DRX) mostrando una dimensión de anchura del material de 28 nm, 16.5 nm y 8.4 nm relacionado con la cantidad de extracto en la muestra. La banda prohibida del material se determinó por medio del uso de la técnica Ultravioleta - Visible (Uv Vis) teniendo como resultado un aproximado de 3 eV.

**Palabras clave:** Nanopartículas, Síntesis verde, Óxido de Zinc, *Origanum vulgare*.

## **DEDICATORIA**

**Para mi bello ángel, mi tata Mayo, por siempre darme tu amor y apoyo sin esperar nada a cambio, por ser el mejor papá que Dios pudo darme, por inculcarme valores y buena música, ser mi gran confidente, por hacerme sentir que nada es imposible y que soy tu gran orgullo, te amo hasta el cielo y por toda la eternidad.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma de Baja California por darme un lugar entre sus estudiantes y hacerme sentir orgullosa de ser una cimarrona.**

**Al Dr. Priscy Alfredo Luque Morales quien además de impartirme sus conocimientos en clases, confió en mi capacidad académica y me permitió realizar mi proyecto de tesis siendo mi tutor, por su apoyo, motivación y comprensión durante la realización de este proyecto, gracias.**

**Al Dr. Horacio Edgardo Garrafa Gálvez por ayudarme con la parte experimental de mi proyecto.**

**A mis profesores, María Hortensia Riesgo Tirado, Rubén Cesar Villareal Sánchez, David Cervantes Vásquez, Bonifacio Can Uc, Dante Alberto Magdaleno Moncayo, Claudia Mariana Gómez Gutiérrez y Joaquín Heriberto Villavicencio Moreno quienes hicieron que amara las materias de matemáticas y la física, la biología molecular y la química, la termodinámica y la electrónica y todas ellas trabajando en conjunto.**

**Al sistema de becas de UABC por el apoyo económico durante el proceso de investigación.**

**A mi mamá, Berenice, que siempre me impulsa a seguir mis sueños y ser una mujer fuerte.**

**A mi familia, especialmente a mis primos y hermanos, que con sus sonrisas llenan mis días de mucha paz.**

**A mis compañeros de universidad que alegraron mis días de estudio.**

**A mis amigos, que han estado en momentos buenos y se han quedado en los malos.**

**Al proyecto “Biosíntesis de Nanopartículas para la Degradación de Contaminantes del Agua” con número programático 676 de la Universidad Autónoma de Baja California.**

**Finalmente, a mi hermosa nana Mari, por ser una segunda madre para mí, por cuidarme desde pequeña y por ser una mujer increíble, un ejemplo para mí de lucha, esfuerzo, amor, gracias por todo.**

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
TABLAS.....	3
Capítulo 1. Nanopartículas. ....	4
1.1. Introducción. ....	5
1.1. Antecedentes de las nanopartículas. ....	6
1.2. Las Nanopartículas. ....	7
1.3. Características de las nanopartículas. ....	7
1.4. Tipos de nanopartículas.....	8
1.4.1. Nanopartículas metálicas.....	8
1.4.2. Nanopartículas de Óxidos Metálicos. ....	11
1.5. Óxido de Zinc. ....	13
1.5.1. Características.....	13
1.5.2. Aplicaciones.....	15
1.6. Métodos de síntesis de nanopartículas.....	19
1.6.1. Síntesis Física.....	19
1.6.2. Síntesis Química .....	20
1.6.3. Síntesis Biológica .....	20
1.7. Descripción de la planta utilizada para el presente proyecto.....	23
1.7.1. <i>Origanum vulgare</i> .....	23
Capítulo 2. Fundamento de técnicas de caracterización. ....	25
2.1. UV—Vis .....	26
2.2. FTIR .....	27
2.3. Difracción de Rayos X. ....	28
Hipótesis .....	30
Objetivo general.....	30
Objetivos específicos.....	30
Capítulo 3. Parte experimental.....	31
3.1. Obtención del extracto.....	32
3.1. Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc.....	35
3.3. Caracterización.....	41

<b>Capítulo 4. Resultados</b> .....	42
<b>4.1. UV-Vis</b> .....	43
<b>4.2. FTIR</b> .....	45
<b>4.3. Banda Prohibida</b> .....	48
<b>4.4. DRX</b> .....	50
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b> .....	53
<b>Bibliografía</b> .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Copa de Licurgo con distintas tonalidades a causa de las nanopartículas de Ag-Au.	6
Figura 2. Técnicas utilizadas para la obtención de nanopartículas .....	7
Figura 3. TEM de Nanopartículas de Plata sintetizadas por medio del extracto de planta <i>Cyclolepis</i> , conocida como planta de Palo Azul.....	9
Figura 4. TEM de nanopartículas de Oro sintetizadas por medio del extracto de Hojas de Olivo .....	10
Figura 5. SEM de Nanopartículas de Cobre sintetizadas por método de reducción química en solución acuosa .....	10
Figura 6. SEM de Nanopartículas de Óxido de Hierro de distintos tamaños, sintetizadas por el método de coprecipitación .....	11
Figura 7. TEM de Nanopartículas de Óxido de Titanio sintetizadas por el método de sol-gel .....	12
Figura 8. TEM de Nanopartículas de Óxido de Zinc sintetizadas por método verde utilizando el extracto de <i>Beta vulgaris</i> .....	13
Figura 9. Wurzita, forma cristalina más estable del Óxido de Zinc .....	14
Figura 10. Representación gráfica de las publicaciones relacionadas con la palabra “Nanopartículas” y “Nanopartículas relacionadas en el área médica” por año .....	15
Figura 11. Aplicaciones de las ZnONPs en el área médica .....	16
Figura 12. Diagrama de representación de algunos ejemplos de la aplicación de las nanopartículas de óxido de zinc en el área de biosensores .....	17
Figura 13. Representación del efecto bactericida de nanopartículas de óxidos metálicos .....	18
Figura 14. Representación de las clasificaciones de síntesis de nanopartículas; física, química y biológica.....	19
Figura 15. Fases de síntesis de nanopartículas con extracto de planta .....	22
Figura 16. Orégano y compuestos químicos más abundantes .....	24
Figura 17. Espectrofotometría de Uv -Vis.....	26
Figura 18. Representación de la Ley de Lambert – Beer.....	27
Figura 19. Espectro infrarrojo.....	28
Figura 20. Representación de la técnica de XRD .....	29
Figura 21. Orégano en 50 ml de agua destilada.....	32
Figura 22. Sistema de filtración.....	33
Figura 23. Papel filtro con diámetro de poro de 110 nm. ....	33
Figura 24. Matraz Kitasato y embudo.....	34

Figura 25. Parte liquida obtenida. ....	34
Figura 26. Residuos del orégano. ....	35
Figura 27. Extracto del Orégano. ....	35
Figura 28. Nitrato de Zinc Hexahidratado. ....	36
Figura 29. Proceso de pesado del Nitrato de Zinc. ....	36
Figura 30. Nitrato de Zinc, 2 gr. ....	37
Figura 31. Agitación del extracto de Orégano con los 2 gr de Nitrato de Zinc. ....	37
Figura 32. Muestras a baño María. ....	38
Figura 33. Formación de una textura pastosa en las muestras; a) inicio, b)intermedio y c) final. ....	38
Figura 34. Consistencia final de la muestra. ....	39
Figura 35. Recipientes rotulados con su respectiva muestra. ....	39
Figura 36. Muestras antes de ser calcinadas. ....	40
Figura 37. Muestras después de la calcinación. ....	40
Figura 38. Las muestras se llevaron a un mortero para ser trituradas. ....	40
Figura 39. Grafica de Uv – Vis de la muestra de orégano a 1 % . ....	43
Figura 40. Grafica de Uv – Vis de la muestra de orégano a 2 % . ....	44
Figura 41. Grafica de Uv – Vis del extracto de la muestra de orégano a 4 % . ....	44
Figura 42. Grafica de Uv – Vis de la muestra de orégano a 1%, 2% y 4%. ....	45
Figura 43. Grafica de FTIR de la muestra del extracto de orégano a 1%. ....	46
Figura 44. Grafica de FTIR de la muestra del extracto de orégano a 2%. ....	46
Figura 45. Grafica de FTIR de la muestra del extracto de orégano a 4%. ....	47
Figura 46. Graficas de FTIR de las muestras de orégano a 1%, 2% y 4%. ....	48
Figura 47. Graficas de representación de la banda prohibida a 1% de extracto. ....	48
Figura 48. Grafica de representación de banda prohibida a 2% de extracto. ....	49
Figura 49. Grafica de representación de banda prohibida a 4% de extracto. ....	49
Figura 50. Comparación de las bandas prohibidas a 1%, 2% y 4% de extracto. ....	50
Figura 51. Grafica de XRD de extracto a 1%. ....	50
Figura 52. Grafica de XRD de extracto a 2%. ....	51
Figura 53. Grafica de XRD de extracto a 4%. ....	51
Figura 54. Representación gráfica de XRD de las muestras con distintas cantidades de extracto. El color azul indica la gráfica a 1%, verde a 2% y naranja a 4%. ....	52

## **TABLAS**

Tabla 1. Representación de los 12 principios de la química verde.....	21
Tabla 2. Caracterización y parámetros utilizados.....	41

# **Capítulo 1.**

# **Nanopartículas.**

## 1.1. Introducción

A lo largo de la historia el ser humano ha propuesto el desarrollo de nuevas herramientas que permitan la solución a diversos problemas que se presenten en el día a día. Su capacidad ha evolucionado de tal manera que los conocimientos adquiridos con el paso de los años lo han puesto a estudiar desde cosas macroscópicas como el universo, hasta cosas a escalas nanométricas [1].

La nanotecnología es una ciencia relativamente nueva pues sus inicios fueron a partir de 1980 [2], además ha sido una disciplina revolucionaria que ha permitido el avance tecnológico en distintas áreas como medicina, agroindustria, medio ambiente y electrónica por mencionar algunas [3,4]. Con ello se han obtenido una serie de materiales a un tamaño nanométrico como lo son los nanomateriales los cuales pueden producirse de forma natural, también pueden ser sintetizados como subproductos de reacciones llamados incidentales o por medio de ingeniería o de forma artificial [5]. Uno de los nanomateriales más utilizados a partir del gran desarrollo tecnológico de los últimos tiempos son las nanopartículas, las cuales son denominadas como estructuras de tamaño pequeño que varían de 1 a 100 nm [6]. Este tipo de nanoestructura puede ser sintetizada utilizando distintos tipos de elementos como por ejemplo oro, plata y cobre dependiendo de las características y aplicaciones que se consideren para la aplicación de las mismas [7]. Algo que resulta muy interesante son los métodos de síntesis para la obtención de los nanomateriales los cuales pueden clasificarse como métodos químicos, físicos y biológicos, como lo es la síntesis verde [8].

En este proyecto de tesis se presenta la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc por medio del método de síntesis verde utilizando como agente reductor *Origanum vulgare* comúnmente conocido como orégano. El óxido de Zinc el cual se conoce como un material antimicrobiano y un fuerte potencial para el combate contra células cancerígenas [9], esto por mencionar algunas aplicaciones de dicho material, todo para llevar a cabo su análisis estructural y morfológico por medio de las técnicas de SEM, UV-Vis, FTIR y XRD.

## 1.1. Antecedentes de las nanopartículas

Es importante conocer primero lo que es la nanotecnología para poder comprender el significado de las nanopartículas. Para comenzar, la palabra “Nano” es utilizado para hacer referencia a algo que es muy pequeño, proviene del latín “nanus” que hace referencia a algo enano, esta palabra compone a su vez las palabras nanotecnología y nanociencias [10]. Las nanociencias es el estudio de sistemas que tengan dimensiones dentro de la escala nanométrica con las herramientas como química, biología, el uso de la ciencia de materiales, física y sistemas computacionales, así como también el diseño, construcción y control de los mismos [11]. Entonces, la nanotecnología es una rama de las nanociencias en donde se aplican técnicas ingenieriles como el diseño, síntesis, caracterización, producción y aplicación de dispositivos para poder manipular la materia a una escala molecular y atómica con el fin de obtener materiales a una nano-escala [11,12].

La nanotecnología tiene sus aplicaciones desde épocas muy antiguas, una de las principales en la historia fue la famosa “Copa de Licurgo” que data desde el siglo IV en donde se pueden apreciar dos tonalidades distintas que son el rojo y el verde causados por las nanopartículas metálicas que la componen. Se llegó a la conclusión de que las nanopartículas que componen a esta bella reliquia son nanopartículas de plata, oro, cobre e incluso se menciona también que los artesanos agregaron óxidos en combinación con vinagre, arcilla y cerámica [13].



**Figura 1. Copa de Licurgo con distintas tonalidades a causa de las nanopartículas de Ag-Au [12].**

Además, según la historia se menciona que Richard Feynman es considerado como el padre de la nanotecnología pues fue un pionero científico en el estudio de esta área de la ciencia [14]. También se conoce que Albert Hibbs propone la aplicación de la nanotecnología y sus derivados hacia el área médica haciendo referencia a que los nanomateriales podrían simular

ser pequeños robots que podían entrar al cuerpo humano y detectar el problema para posterior a ello poder solucionarlo [12,13,15].

## 1.2. Las Nanopartículas

Las nanopartículas forman parte de los nanomateriales los cuales pueden ser sintetizados como subproductos de reacciones llamados incidentales, por medio de ingeniería o de forma artificial en donde se le da un enfoque especializado al nanomaterial y se usan procesos top-down en donde el sólido pasa por un proceso físico de división hasta que el material tenga dimensiones de tamaño nanométrico o bien utilizado el bottom-up que representa la formación de las nanopartículas [16].

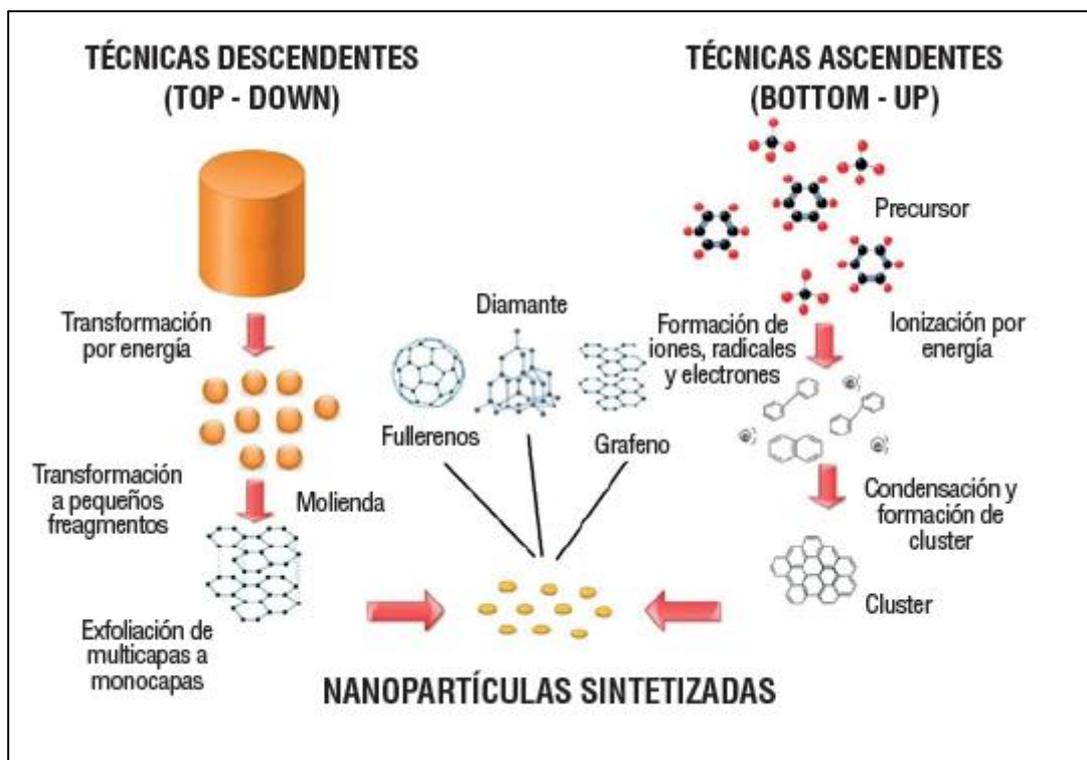


Figura 2. Técnicas utilizadas para la obtención de nanopartículas [5].

## 1.3. Características de las nanopartículas

Las nanopartículas pueden tener diferentes formas; triangulares, esféricas, hexagonales, entre otras, además poseen propiedades ópticas, químicas y mecánicas definidas [17,18]. También, los nanomateriales se clasifican en tres dimensiones:

- Primera dimensión: Corresponde al nanomaterial de tamaño de 1 a 100 nm en donde entran las nanopartículas.
- Segunda dimensión: Corresponde a los nanotubos de carbono.

- Tercera dimensión: Corresponde a los fulerenos [19].

#### **1.4. Tipos de nanopartículas**

Existen distintos tipos, todo dependiendo de la aplicación y de las propiedades de los materiales con los cuales se realicen. Los materiales más utilizados son los metales y los óxidos metálicos siendo la plata, el oro, cobre, óxido de titanio y óxido de zinc algunos de los ejemplos de los anteriores [5,20].

En la clasificación de las nanopartículas de óxidos metálicos y no metálicos los principales representantes son el Óxido de Hierro y el Óxido de Zinc, al igual que las nanopartículas metálicas, esta categoría se ha utilizado como nanopartículas magnéticas en el área médica, también son utilizados como agentes reductores en las síntesis de nanopartículas. Ahora bien, como ejemplos para las nanopartículas semiconductoras las más comunes son el Sulfuro de Zinc (ZnS), Seleniuro de Zinc (ZnSe) o bien el Sulfuro de Cadmio (CdS) [9,21].

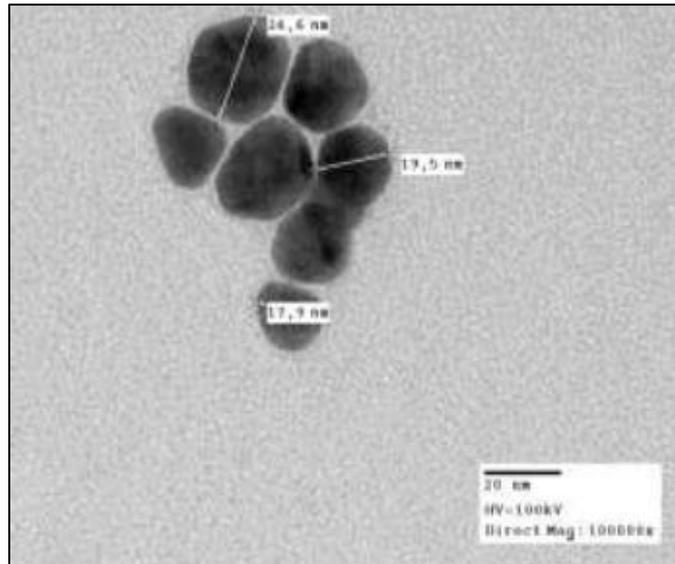
##### **1.4.1. Nanopartículas metálicas**

En esta clasificación se mencionan algunos ejemplos de las nanopartículas más comunes sintetizadas; Oro, Plata y Cobre.

###### **1.4.1.1. Nanopartículas de plata**

Las nanopartículas de plata pueden ser sintetizadas de forma química, física y por métodos verdes, es reconocida en el área médica por la gran capacidad antimicrobiana que posee, además, a lo largo de los años este tipo de nanomaterial ha sido utilizado en áreas como cosmetología, industria textil y en el área medio ambiental [22].

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de las síntesis de nanopartículas de plata por medio del extracto de la planta de Palo Azul [23].



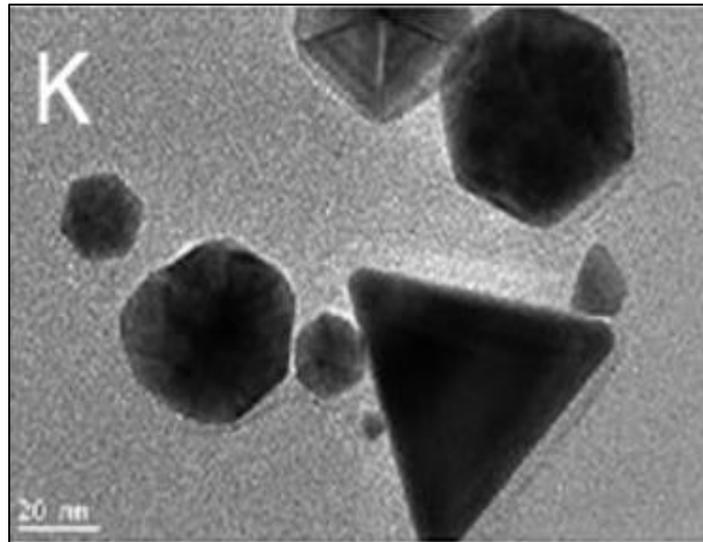
**Figura 3. TEM de Nanopartículas de Plata sintetizadas por medio del extracto de planta Cyclolepis, conocida como planta de Palo Azul [24].**

#### **1.4.1.2. Nanopartículas de Oro**

Las nanopartículas de oro tienen características similares a las nanopartículas de plata en cuanto a las propiedades antimicrobianas, sin embargo, estas nanopartículas también son utilizadas como un agente anticancerígeno [25].

Algunas de las aplicaciones que tienen las nanopartículas de oro son terapias fotodinámicas y termodinámicas las cuales son aplicadas a pacientes oncológicos, liberación de fármacos y como método de detección químico y biológico en donde abarca una cantidad de analitos a detectar como toxinas y péptidos o iones metálicos y aniones [26].

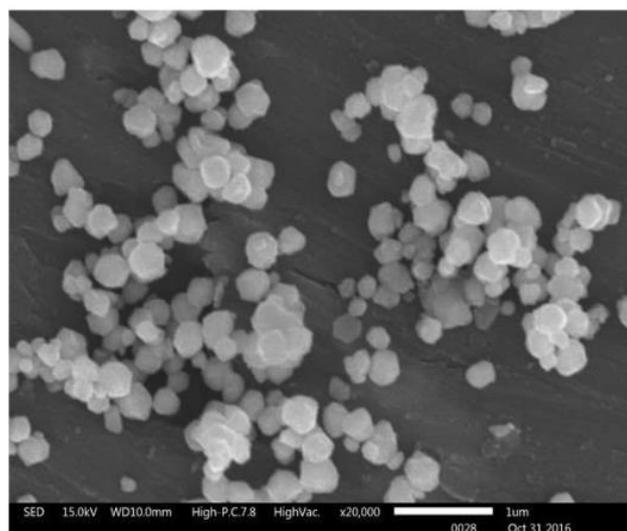
En la figura número 4 se observa la morfología de las nanopartículas de Oro que fueron sintetizadas por medio del extracto de las Hojas de Olivo, apreciándose formas triangulares y hexagonales [27].



**Figura 4. TEM de nanopartículas de Oro sintetizadas por medio del extracto de Hojas de Olivo [26].**

#### **1.4.1.3. Nanopartículas de Cobre**

Este tipo de nanopartículas tienen propiedades bactericidas y antifúngicas, según algunos reportes, estas nanopartículas han tenido éxito en contra de fitopatógenos como *Phoma destructiva* que ataca principalmente a tomates, por este tipo de ejemplos es que son utilizadas en el área de agroindustria [27]. Además, comparado con las nanopartículas de plata y oro, las nanopartículas de cobre tienen un bajo costo en cuanto al de otras nanopartículas [28]. En la figura 5 se muestra por medio de la técnica SEM un ejemplo de nanopartículas sintetizadas de Cobre.



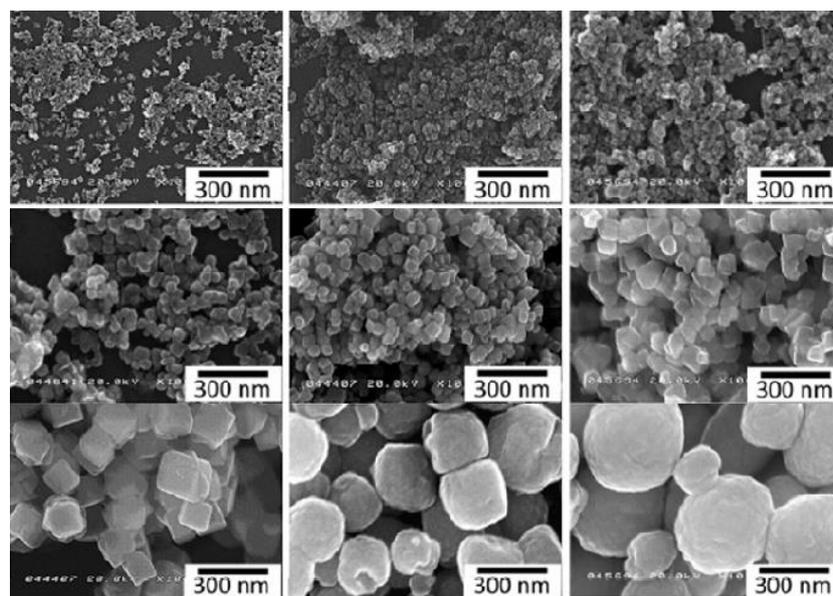
**Figura 5. SEM de Nanopartículas de Cobre sintetizadas por método de reducción química en solución acuosa [27].**

## 1.4.2. Nanopartículas de Óxidos Metálicos

Los óxidos metálicos están compuestos en su mayoría por metales de transición, estos metales cuentan con una estructura electrónica única la cual permite que el material que sea sintetizado tenga propiedades especiales ya sea semiconductoras o también aislantes [29]. También como característica de los óxidos metálicos se encuentra la variedad de estados de oxidación, conductibilidad, altas constantes dieléctricas, su composición física formada por un estado sólido a temperatura ambiente. Por consiguiente, las nanopartículas de óxidos metálicos tienen propiedades tanto eléctricas, ópticas, térmicas y también magnéticas, teniendo ventaja sobre otros materiales haciéndolas atractivas para distintas aplicaciones tecnológicas. Los óxidos metálicos más comunes son el óxido de hierro, óxido de titanio y el óxido de zinc por mencionar algunos ejemplos [30].

### 1.4.2.1. Nanopartículas de Óxido de Hierro

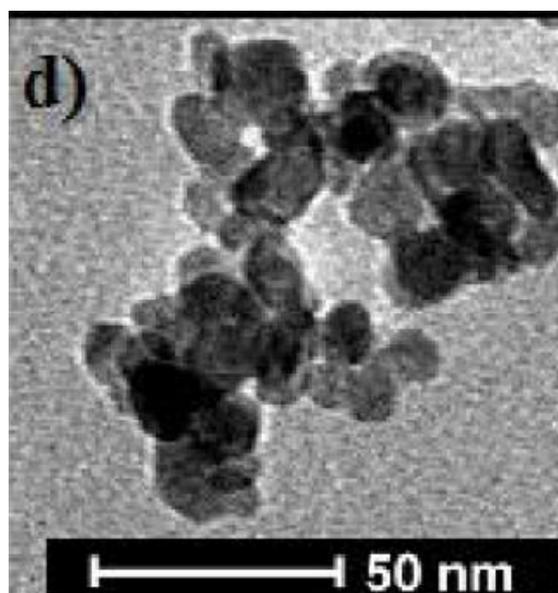
Las propiedades del óxido de hierro permiten que las nanopartículas tengan distintas aplicaciones, una de ellas es la biorremediación del medio ambiente y tratamiento de aguas. La figura 6 muestra distintos acercamientos para una mejor observación de las nanopartículas de Óxido de Hierro [31].



**Figura 6. SEM de Nanopartículas de Óxido de Hierro de distintos tamaños, sintetizadas por el método de coprecipitación [32].**

### 1.4.2.2. Nanopartículas de óxido de Titanio

Las propiedades de este material permiten que las nanopartículas sintetizadas tengan propiedades ópticas, foto catalíticas, eléctricas y antimicrobianas que las hacen buenas candidatas para tratamiento de descomposiciones de contaminantes, protección de UV y para matar bacterias como *E. Coli*. La figura 7 muestra las nanopartículas de Óxido de Titanio sintetizadas por medio de un método de sol gel en donde se observa un tamaño de 50 nm [33,34].

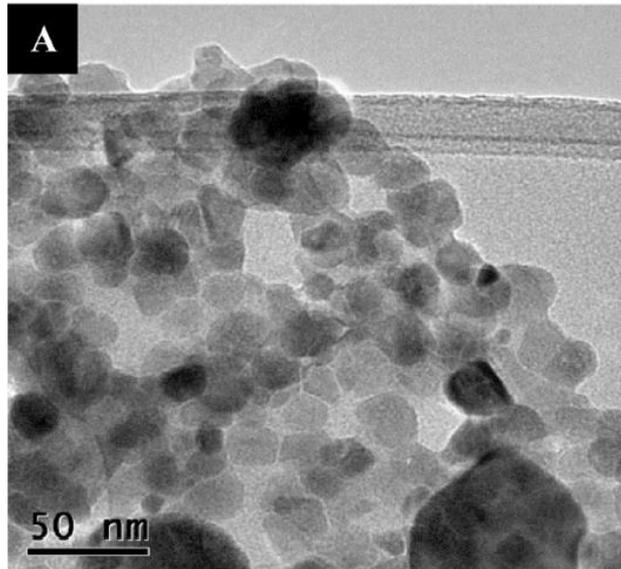


**Figura 7. TEM de Nanopartículas de Óxido de Titanio sintetizadas por el método de sol-gel [34].**

### 1.4.2.3. Nanopartículas de Óxido de Zinc

Como se mencionó anteriormente, las nanopartículas de óxido de zinc han tenido un impacto a lo largo de los años en la tecnología, así como también en el área médica, este tipo de nanopartículas es una de las más fabricadas de óxidos metálicos junto a las nanopartículas de óxido de titanio, dado a sus características anticancerígenas, antimicrobianas, así como también para el tratamiento del medio ambiente [35].

La morfología de las nanopartículas de óxido de zinc depende de la técnica de síntesis, las condiciones adecuadas al llevar a cabo el proceso, así como también el tipo de precursor para la reacción [36]. En la figura 8 se observa la morfología de las nanopartículas sintetizadas por medio de un método verde utilizando la técnica TEM.

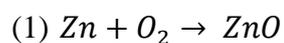


**Figura 8. TEM de Nanopartículas de Óxido de Zinc sintetizadas por método verde utilizando el extracto de *Beta vulgaris* [35].**

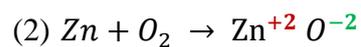
## 1.5. Óxido de Zinc

### 1.5.1. Características

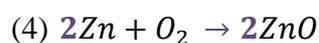
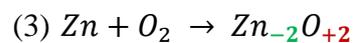
El Zinc pertenece a los metales de transición de la tabla periódica con su número atómico es el 30, su estado de oxidación se encuentra en +2 y cuenta con una masa atómica de 65.38 gr/mol, tiene un número de electronegatividad de 1.65 y se encuentra ubicado en la tabla periódica en el grupo 12 y periodo 4. Además, es un buen conductor de electricidad, también tiene buena maleabilidad a temperatura ambiente [29,37]. En el complejo de Óxido de Zinc, el Zn trabaja con un estado de oxidación de +2.



El Zinc más el Oxígeno molecular da como resultado el complejo ZnO.



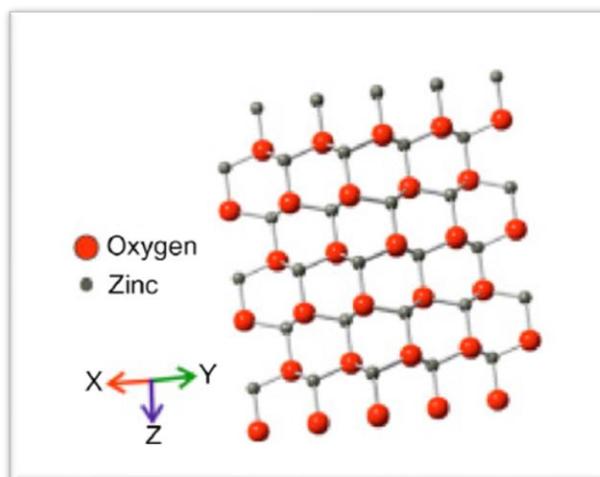
El estado de oxidación del Zn se muestra en color rojo y el estado de oxidación del oxígeno se muestra en color verde.



Como los estados de oxidación tienen mitad, la ecuación se simplifica quedando con estado de oxidación el zinc y el oxígeno con +1 pero este no se coloca. Finalmente, la ecuación se balancea.

El óxido de Zinc es un material que se encuentra como polvo en su forma física, tiene un color blanco característico o en distintas ocasiones tiende a tener un color amarillento y se considera un compuesto inorgánico, su color es a causa del tamaño tan fino que tienen sus partículas, así como también que es considerado como un complejo químicamente neutro. Sus propiedades físicas y químicas y piezoeléctricas depende de la forma, tamaño morfológica y cristalización [38,39].

La estructura del Óxido de zinc es comúnmente encontrada a temperatura ambiente con una forma cristalina de Wurzita como lo muestra la figura 9 ya que es la forma más estable termodinámicamente, aunque también puede encontrarse en su forma cristalina de Blenda de Zinc [38,40].



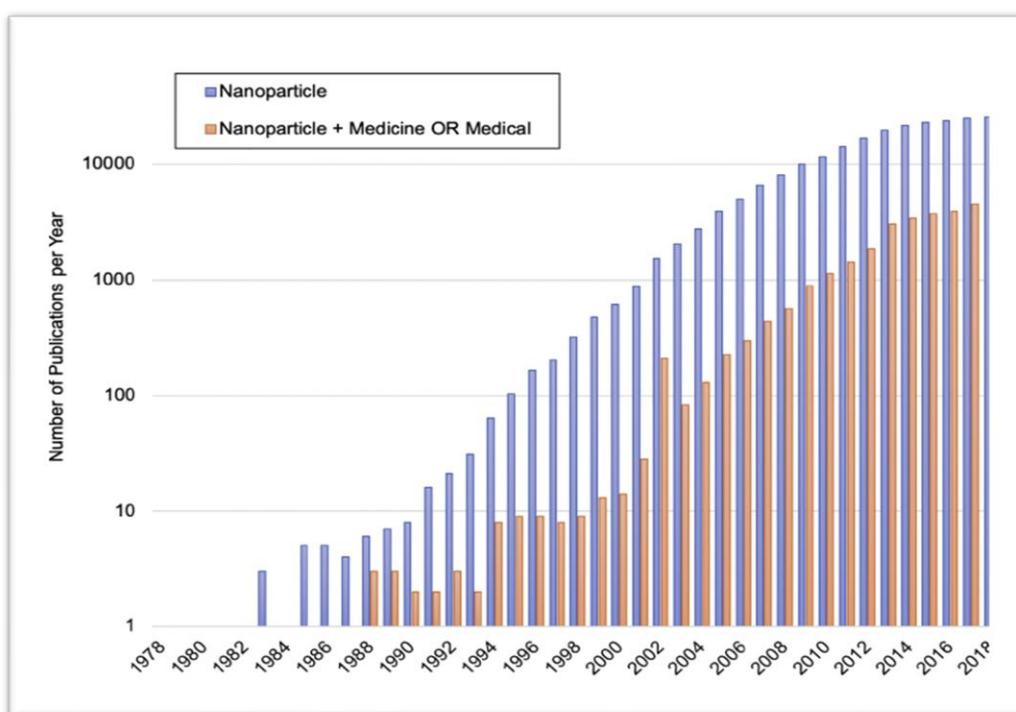
**Figura 9. Wurzita, forma cristalina más estable del Óxido de Zinc [40].**

El óxido de zinc tiene características químicas, térmicas, semiconductoras, ópticas, catalíticas, fotoquímicas entre otras, es muy selectivo y tiene una resistencia alta a temperaturas elevadas, su solubilidad se da con ácidos y bases fuertes y con sales de amonio, pero no es soluble en agua, disolventes orgánicos y aceites neutros [41]. Es reactivo con ácidos orgánicos que son insolubles en agua, en estado sólido los cristales del Óxido de zinc al aumentar la temperatura reaccionan unos con otros para formar partículas de mayor tamaño. En las propiedades ópticas de este compuesto, su tonalidad es blanca a la luz visible, pero es oscuro a la luz ultravioleta. También es considerado semiconductor debido a que se encuentra una diferencia de electrones en los niveles de energía, por lo que cuando se aplique una fuente eléctrica alterna que haga saltar a los electrones a diferentes niveles. Por lo que, el Óxido de Zinc cuenta con una alta conductividad térmica y alto punto de fusión [41,42].

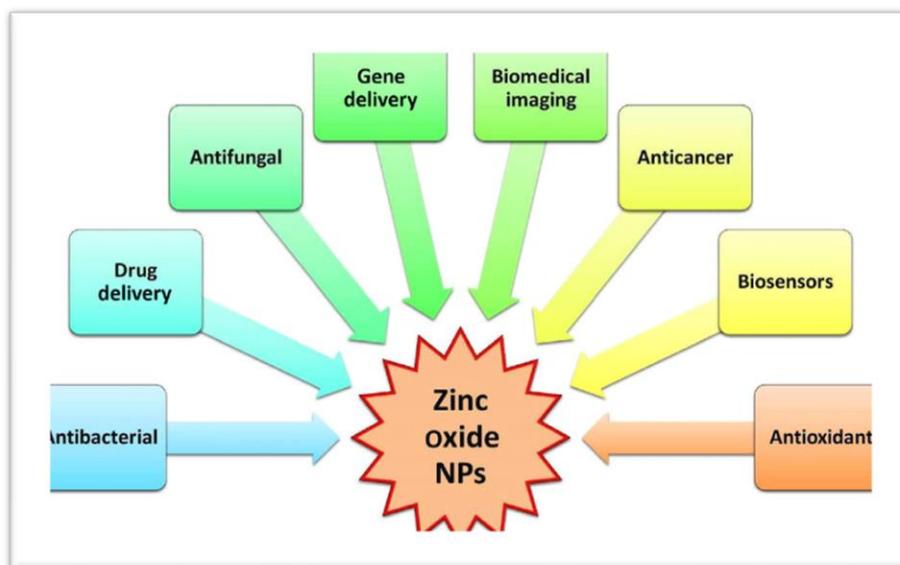
## 1.5.2. Aplicaciones

### 1.5.2.1. Área médica

Las nanopartículas de óxido de zinc han sido revolucionarias con el paso de los años en la industria médica pues su tamaño tan pequeño permite que sean utilizadas para distintas aplicaciones como la liberación de fármacos, bioimagen, biosensores, agentes antimicrobianos y anticancerígenos como se muestra en la figura 11, lo que permite que sean también utilizadas como tratamiento de distintas enfermedades [43]. También, como se muestra en la figura 10, las publicaciones que mencionan a las nanopartículas han aumentado considerablemente teniendo una estrecha relación con el área médica [44].



**Figura 10. Representación gráfica de las publicaciones relacionadas con la palabra “Nanopartículas” y “Nanopartículas relacionadas en el área médica” por año [44].**



**Figura 11. Aplicaciones de las ZnONPs en el área médica [45].**

#### **1.5.2.1.1. Liberación de fármacos**

El uso de nanopartículas en la liberación de fármacos es una muy buena opción para poder tratar enfermedades que se localicen en regiones específicas del organismo permitiendo que la cantidad del fármaco sea la adecuada y que se dirija específicamente a un solo tejido, evitando así que zonas vecinas a la zona a tratar se vean afectadas [46].

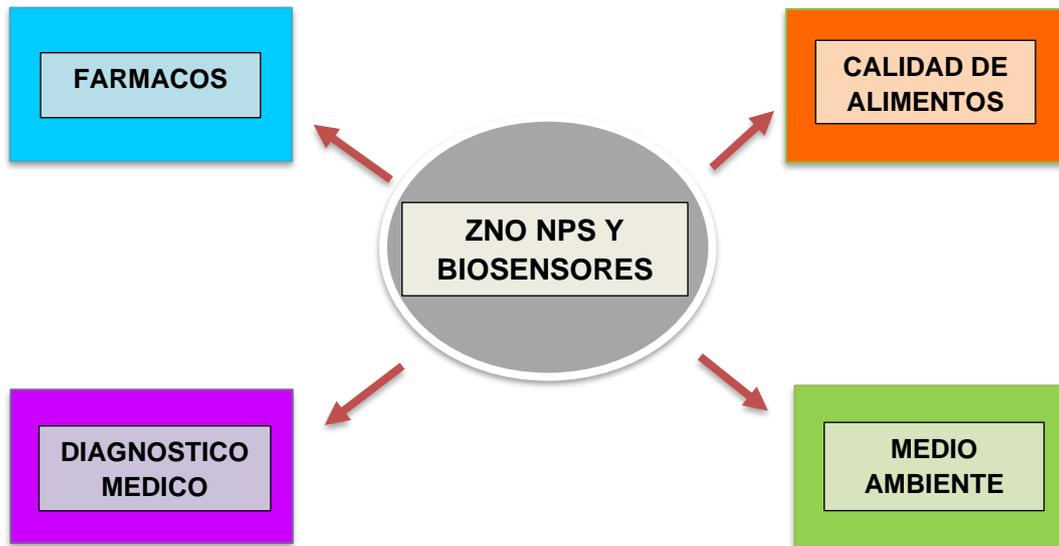
Existe una relación entre el  $Zn^{+2}$  que se encuentra naturalmente en el organismo humano y las nanopartículas de óxido de zinc debido a que el funcionamiento de estas mismas tiene más eficacia si se utiliza in vivo, teniendo en cuenta lo anterior, las ZnO NPs tienen una biocompatibilidad natural con el cuerpo humano y una baja toxicidad [47].

Este tipo de nanomaterial se considera como una opción para tratarse como terapia anticancerígena y antitumoral, esto debido a que produce una citotoxicidad específica en las células tumorales provocando un aumento de iones de  $Zn^{2+}$  intracelular provocando un aumento en los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) las cuales producen un daño en el ADN de la célula tumoral, además de provocar una muerte inducida en las mismas células [48,49].

#### **1.5.2.1.2. Biosensores**

Debido a las características que posee el óxido de zinc en cuanto a ser un agente catalítico y semiconductor, tener una amplia superficie específica, además de poseer una fuerte capacidad de adsorción, alto punto isoeléctrico (9.5 IEP), una banda prohibida amplia de 3.2 eV, entre otras, este material es utilizado como favorito para la creación de nanoestructuras como las

nanopartículas para que funcionen como biosensores que detecten distintos tipos de analitos [40,44].



**Figura 12. Diagrama de representación de algunos ejemplos de la aplicación de las nanopartículas de óxido de zinc en el área de biosensores [50]**

Como lo muestra la Figura 12, las nanopartículas de óxido de zinc en los biosensores pueden tener distintas aplicaciones tanto en el área médica, medio ambiente, calidad de alimento y fármacos. En el área de diagnóstico médico, los biosensores son utilizados para detectar un aumento en los niveles de colesterol, glucosa, urea, así como también, para detección de moléculas de ADN y proteínas. En el área farmacéutica se utilizan para poder tener un control de liberación de medicamentos en el organismo como vitaminas y neurotransmisores. Para el medio ambiente, los biosensores son utilizados para detección de contaminantes y en calidad de alimentos son utilizados para la detección de peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) utilizado como un agente antimicrobiano en la industria de alimentos que a altas cantidades puede ser toxico para la salud [45,46,50].

### **1.5.2.1.3. Efecto antimicrobiano**

Las nanopartículas de óxido de zinc son utilizadas como un agente antiséptico gracias a la actividad antimicrobiana y antifúngica. Según la literatura se muestra que este tipo de nanopartículas tienen el mismo efecto sobre bacterias y hongos de generar iones de  $Zn^{+2}$  que causa una alteración en el metabolismo celular, así como también causan un aumento en el nivel de ROS [21].

Además, este tipo de nanoestructuras son utilizadas en el área de cosméticos e industrial textil como un inhibidor del crecimiento de bacterias. *Streptococcus pyogenes*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* y *S. epidermidis* han sido reportadas susceptibles ante la presencia de este tipo de nanopartículas [51,52]. En la figura 13 se observa un ejemplo de la aplicación del efecto bactericida de las nanopartículas sintetizadas por óxidos metálicos.

Con el paso de los años y los recientes hallazgos científicos, las nanopartículas de óxido de zinc tienen un mayor atractivo debido a que su modo de ataque funciona con muy poca cantidad de nanopartículas, también se tiene registro de que la disminución en el tamaño de las nanopartículas aumenta el efecto antimicrobiano [53].

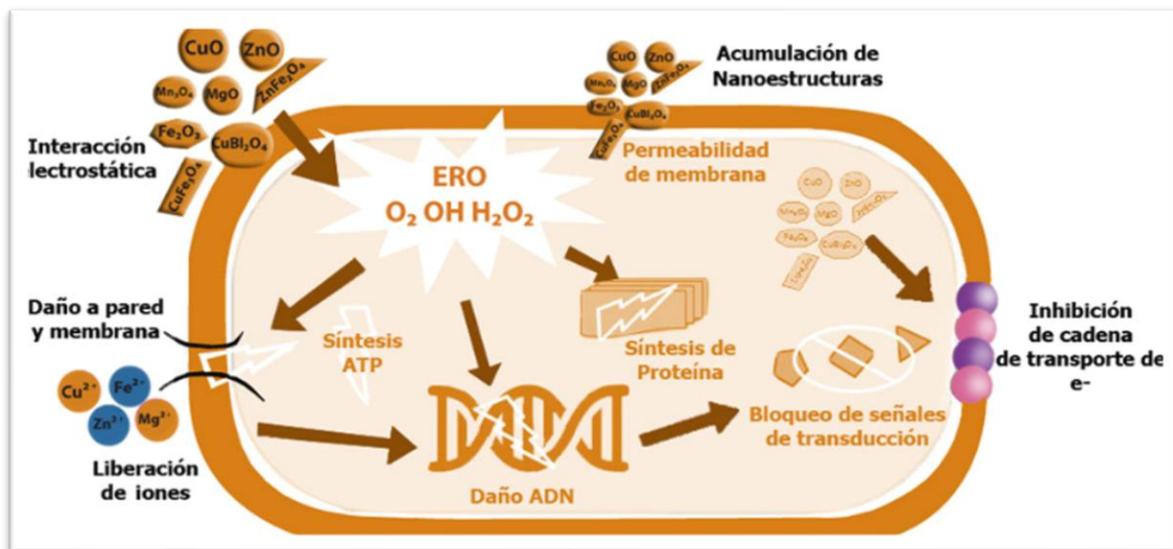


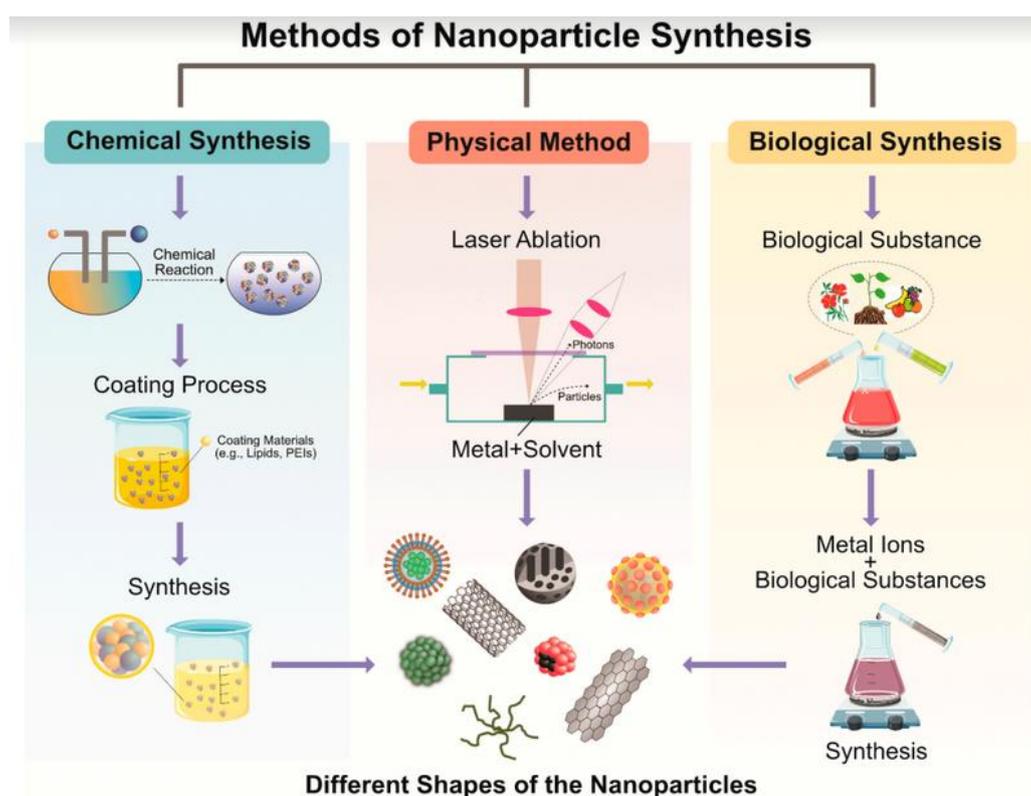
Figura 13. Representación del efecto bactericida de nanopartículas de óxidos metálicos [51].

#### 1.5.2.1.4. Medio Ambiente

Las nanopartículas son utilizadas como nano-remediadores debido a que los distintos tipos de las mismas son utilizadas para una acción en específico, por ejemplo, para el tratamiento de aguas residuales existen métodos de limpieza como la cloración, sin embargo, puede ser dañino para la salud además de no erradicar con todas la bacterias, en este caso las nanopartículas de óxido de zinc tienen propiedades antimicrobianas y no resultan tóxicas para la salud, también son utilizadas para la degradación de colorantes orgánicos o fármacos, por último, en el área agrícola, las ZnO NPs también son utilizadas como componentes de fertilizantes que ayudan a la liberación controlada de nutrientes [54].

## 1.6. Métodos de síntesis de nanopartículas

Para todas las nanopartículas existen distintos tipos de procesos de síntesis, del proceso de síntesis que se lleve a cabo dependerán las características fisicoquímicas, estructurales y morfológicas [55]. Como se mencionó anteriormente, los enfoques de síntesis de nanopartículas se clasifican en dos; “Top Down” y “Bottom Up”, cada uno se distingue por el punto de partida que tendrá el inicio de la síntesis y a su vez estos procesos se dividen en tres; físicos, químicos y biológicos [56]. En la figura 14 se muestran dichos procesos de síntesis.



**Figura 14. Representación de las clasificaciones de síntesis de nanopartículas; física, química y biológica [56]**

### 1.6.1. Síntesis Física

La síntesis física pertenece al método de “Top Down”, en este tipo de proceso se aplican fuerzas mecánicas, radiación, energía termal o eléctrica para poder llevar la materia prima hasta la forma física de nanopartículas. Las ventajas de este modo de síntesis es que se puede tener un control sobre el tamaño que se desea tener de la nanopartícula [56,57].

Dentro de los procesos más comunes que se utilizan en la síntesis física se encuentran la evaporación, proceso de pulverización, litografía, y ablación laser [57].

### **1.6.2. Síntesis Química**

La síntesis química tiene como ventaja el tener un alto rendimiento, puede controlarse el tamaño de las nanopartículas, además de ser térmicamente estables [56].

#### **1.6.2.1. Hidrotermal**

Este proceso implica la reacción química de sustancias en un contenedor sellado con una temperatura y presión determinada, esta temperatura se encuentra por encima de la temperatura de ebullición y la presión es mayor a 1 Bar, estas condiciones de presión y temperatura permiten que la formación de las nanoestructuras sea más fácil [58,59].

#### **1.6.2.2. Condensación de gas inerte.**

El proceso de condensación de gas inerte consiste en la evaporación de metales en una cámara de vacío a altas presiones en donde los átomos que componen a dichos metales pierden su energía cinética al colisionar con los gases donde el resultado final es la condensación de las nanopartículas, los gases utilizados para este proceso son el argón y el helio [60].

#### **1.6.2.3. Sol-gel**

El sol-gel permite la fabricación de las nanopartículas a partir de moléculas pequeñas, este proceso de síntesis se basa en el proceso hidrotermal y condensación, su nombre sol-gel hace referencia a la solución que poco a poco se convierte en un gel que contiene una parte líquida y una parte sólida. Su producción permite tener un tamaño de nanopartículas ultrafinas en un tiempo de reacción corto [57,61].

### **1.6.3. Síntesis Biológica**

Como se ha mencionado anteriormente, para llevar a cabo la síntesis de nanopartículas existen distintos tipos de procesos que se pueden llevar a cabo, tanto físicos y químicos, sin embargo, con el paso de los años la problemática sobre la contaminación ambiental ha ido en

aumento por lo que en la actualidad el desarrollo tecnológico está optando por técnicas más novedosas que sea amigables con el medio ambiente algo que los procesos anteriores no brindan [62].

La química verde puede definirse como el diseño de productos y procesos químicos que permitan que, tanto al inicio como al final de las reacciones de obtención de las nanopartículas, las sustancias peligrosas puedan reducirse o eliminarse en su totalidad [56], por lo que dentro de esta nueva rama del conocimiento se encuentra la síntesis biológica o también conocida como síntesis verde. Además, la química verde cuenta con 12 principios fundamentales como lo muestra la tabla 1.

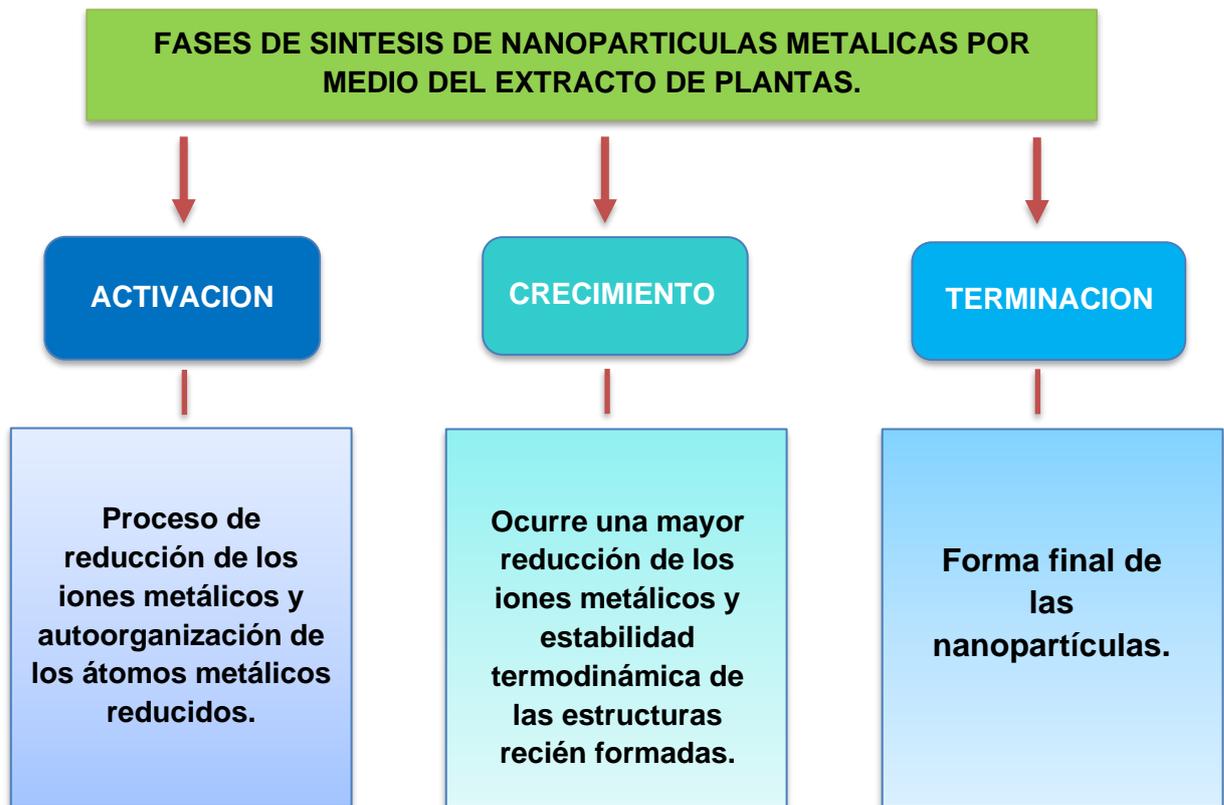
<b>LOS 12 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA QUÍMICA VERDE.</b>
<b>1. PREVENCIÓN</b>
<b>2. ECONOMÍA ATÓMICA</b>
<b>3. SÍNTESIS QUÍMICA MENOS PELIGROSA</b>
<b>4. DISEÑO DE PRODUCTOS QUÍMICOS MÁS SEGUROS.</b>
<b>5. DISOLVENTES Y AUXILIARES MÁS SEGUROS.</b>
<b>6. DISEÑO PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>
<b>7. MATERIAS PRIMAS RENOVABLES</b>
<b>8. REDUCIR DERIVADOS.</b>
<b>9. USO DE CATALISIS</b>
<b>10. DISEÑO PARA LA DEGRADACIÓN DE COMPONENTES.</b>
<b>11. ANÁLISIS EN TIEMPO REAL DE PREVENCIÓN DE CONTAMINANTES.</b>
<b>12. QUÍMICA MÁS SEGURA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES.</b>

*Tabla 1. Representación de los 12 principios de la química verde [63].*

La síntesis verde hace uso de bacterias, hongos, levaduras, algas y plantas o sus extractos [64].

#### **1.6.3.1. Plantas**

Las nanopartículas de ZnO pueden sintetizarse con distintas partes de la planta; hojas, raíces, flores, etc. Todo el proceso de síntesis se lleva a cabo gracias a los componentes que contiene la planta como los fitoquímicos, los cuales están constituidos por alcaloides, fenoles, flavonoides, terpenoides, carbohidratos, entre otros, estos le confieren propiedades distintas de reducción [65,66].



**Figura 15. Fases de síntesis de nanopartículas con extracto de planta [65].**

Como se muestra en la figura 15, la síntesis de nanopartículas utilizando extractos de plantas cuenta con la fase de activación, crecimiento y terminación [65]. Un ejemplo de este tipo de síntesis es el estudio de (Aguilar et al., 2019) en donde se realizó una síntesis de nanopartículas de oro por medio del extracto de *Origanum vulgare*, en donde se utilizó el extracto como agente reductor y la sal de oro como agente precursor. Por medio de TEM se mostraron tamaños de 20 nm y de forma triangular y esférica [67].

### **1.6.3.2. Bacterias.**

Las bacterias poseen características que la hacen buenas candidatas para la síntesis de nanopartículas, como su fácil manipulación genética, su rápida tasa de crecimiento, además de que continuamente son expuestas a condiciones extremas de temperatura, concentraciones altas de iones metálicos y pH lo que les confiere distintos mecanismos de defensa [68].

Según el estudio realizado por (Srinath et al., 2017), se realizó una síntesis de nanopartículas de oro utilizando la bacteria *Bacillus subtilis* que fue recolectada de una mina de oro en India. Las nanopartículas tenían un tamaño de 20-25 nm, forma esférica y se utilizó para la aplicación de la degradación de colorante de metileno azul [69].

### 1.6.3.3. Hongos

Los hongos son otra opción de síntesis viable debido a que es un método muy económico, fácil manejo de la biomasa, secretan altas cantidades de proteínas lo que permitiría una producción a gran escala de nanopartículas [70].

Un estudio realizado por (Vinardell & Mitjans, 2015) muestra la síntesis de nanopartículas de óxido de zinc por medio del hongo *Aspergillus terreus* utilizando el micelio del mismo, con un tamaño de 28 a 63 nm y una forma esférica con aplicación de actividad anticancerígena [71].

### 1.6.3.4. Algas

Las algas son clasificadas en tres tipos, alga café, roja y verde. Resultan atractivas para la síntesis de nanopartículas debido a la habilidad que tienen de degradar metales y convertirlos en formas menos tóxicas, además de encontrarse en gran cantidad de las mismas [72].

En el estudio de (Azizi et al., 2014) se sintetizaron nanopartículas de óxido de zinc por medio de la macro alga café *Sargassum muticum* en donde se obtuvieron formas hexagonales y tamaños que varían desde 3 nm a 57 nm con una media de 42 nm y su aplicación se enfocó en el área farmacéutica e industria de cosméticos [73].

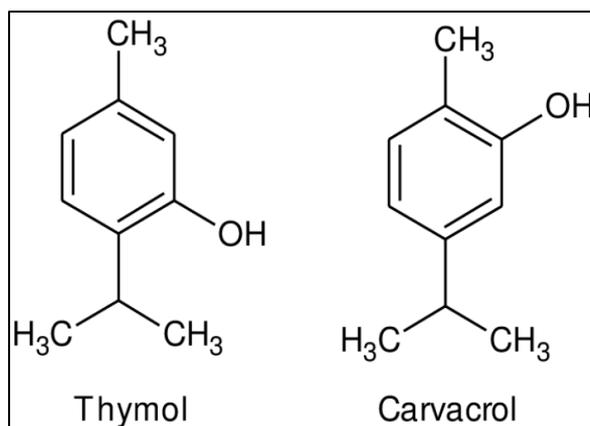
## 1.7. Descripción de la planta utilizada para el presente proyecto.

### 1.7.1. *Origanum vulgare*

El orégano es una planta originaria del Norte de Europa, su nombre científico es *Origanum vulgare* [74]. Es comúnmente utilizada como un condimento de alimentos, sin embargo, también es utilizado en la industria de cosméticos, elaboración de fármacos y alcohol [75].

Cabe destacar que posee propiedades únicas como antiinflamatorio, antimicrobiano y anticancerígeno, pero, su principal característica es que tiene una alta actividad antioxidante por sus compuestos químicos [76].

Los compuestos químicos de *Origanum vulgare* son el timol, carvacrol, ácido coumérico, cafeico, alcohol fenilico, linalol, limoneno, vainilínico, ferulico, b-cariofileno, r-cimeno, espatulenol, germacreno-D, terpineol, terpineno y a-pineno, siendo el timol y el carvacrol los más abundantes mostrándose en la figura 16 la estructura química de estos dos últimos [77].



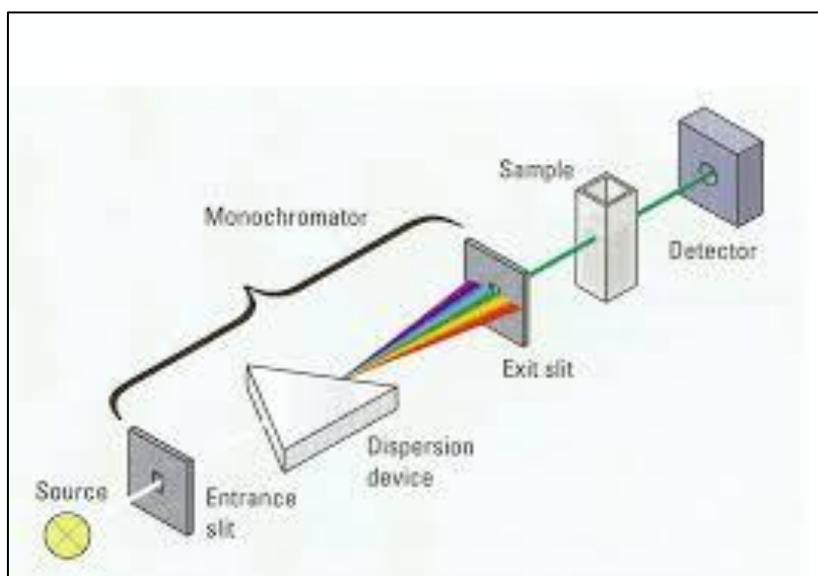
**Figura 16. Orégano y compuestos químicos más abundantes [77].**

# **Capítulo 2.**

## **Fundamento de técnicas de caracterización.**

## 2.1. UV-Vis

Los componentes que constituyen a la espectrofotometría UV -Vis son las fuentes de luz la cual para UV se utiliza una lámpara de deuterio que transmite longitudes de onda que van de 170 a 375 nm y una lámpara que tiene un filamento de tungsteno que produce longitudes de onda de 350 hasta 2500 nm, esta luz atraviesa a la muestra que se encuentra contenida en una celda rectangular transparente hecha de plástico, vidrio o cuarzo con una determinada longitud de onda, un monocromador que separa las longitudes de onda para determinada muestra y un fotodetector que mide de forma cuantitativa la luz que pasa por la muestra [78,79]. La figura 17 ejemplifica el proceso llevado a cabo por el espectrofotómetro de Uv-Vis.



**Figura 17. Espectrofotometría de Uv -Vis [80].**

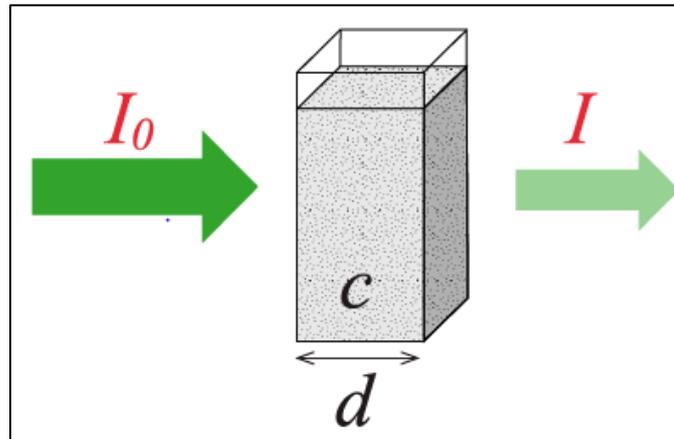
Esta técnica se basa en la ley de Lambert - Beer la cual es utilizada para determinar la relación lineal que existe entre la absorbancia de la muestra que fue analizada y la concentración de la misma, la fórmula es la siguiente:

$$(5) A = \varepsilon * c * d$$

Donde:

- A es la absorbancia.
- $\varepsilon$  es el coeficiente de extinción molar ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).
- $d$  es longitud de la celda (cm).
- $c$  es la concentración de la muestra.

La transmitancia se define por el cociente de  $I/I_0$  los cuales hacen referencia a la intensidad de la luz antes de llegar a la muestra ( $I_0$ ) y después de interactuar con ella ( $I$ ) estos valores son analizados por el detector, esto puede observarse en la figura 18. Los valores de la transmitancia deben de encontrarse entre 0 y 1 [80].



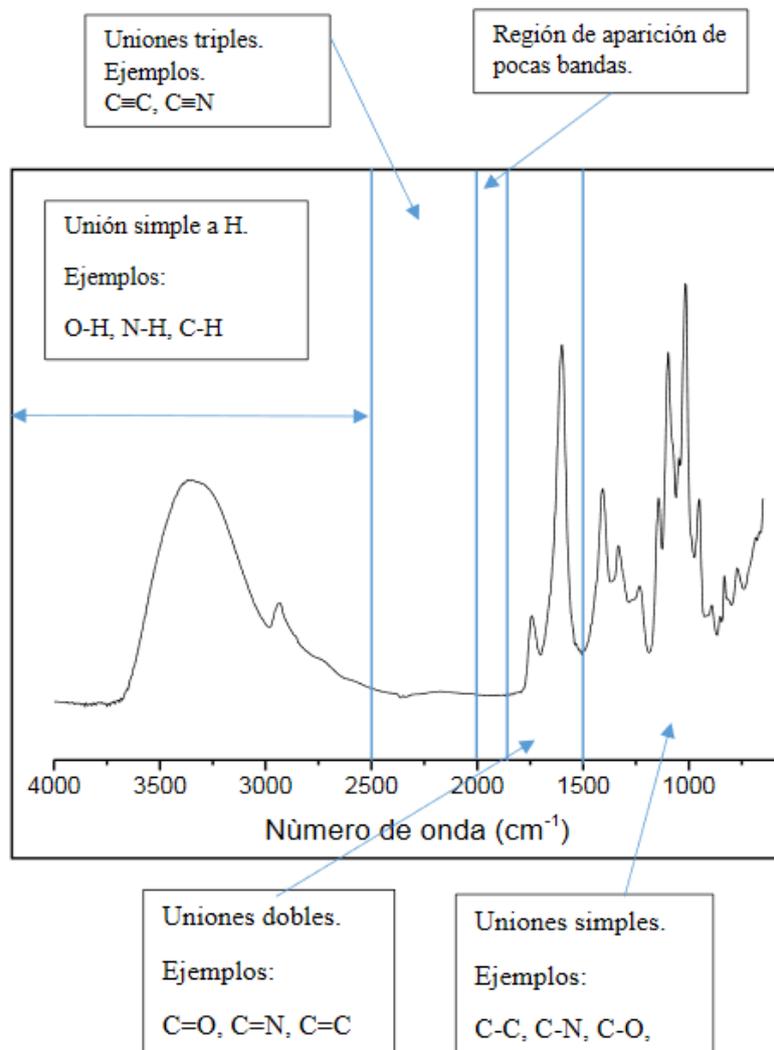
**Figura 18. Representación de la Ley de Lambert – Beer [81]**

## 2.2. FTIR

Esta es una técnica de laboratorio utilizada para poder identificar los grupos funcionales que se encuentran en la muestra. Utiliza la onda del infrarrojo para poder realizar la identificación, cuando la onda infrarroja es dirigida por el haz hacia la muestra, una parte de la onda es absorbida por la misma y la otra parte la atraviesa, esta última es la que se transmite la cual es considerada como la huella molecular de la muestra de interés [82].

Esta técnica puede detectar materiales orgánicos, inorgánicos y poliméricos. La onda infrarroja al ser absorbida por las moléculas causa una vibración lo cual se representa como un espectro que va de los  $4000\text{ cm}^{-1}$  a los  $400\text{ cm}^{-1}$  [83].

Las moléculas tienen la característica de rotar y vibrar al absorber distintas ondas de frecuencia, esas vibraciones se ven reflejadas en las gráficas de FTIR como la banda o pico que caen en determinada frecuencia [84]. En la figura 19 se muestra un ejemplo del espectro infrarrojo con algunas clasificaciones de grupos funcionales y moléculas correspondientes a distintas longitudes de onda.



**Figura 19. Espectro infrarrojo [85].**

### 2.3. Difracción de Rayos X

Este tipo de técnica de laboratorio utiliza los rayos x para obtener información de la muestra que se va a analizar, la muestra puede ser en forma de polvo, nanomateriales como nanopartículas, sólidos y películas delgadas, además, tiene una serie de aplicaciones como la identificación de fases, analizar la pureza de la muestra, así como también observar las impurezas de la misma [86].

Para que se lleve a cabo el análisis este consiste en que una cantidad de electrones son acelerados a causa de un fuerte voltaje, viajan de un cátodo a un ánodo el cual se considera como un blanco de aterrizaje. al impactarse los electrones contra el blanco provocan un desplazamiento de los electrones que se encuentran en el átomo constituyente de la muestra en niveles internos, estos al removerse son suplantados por electrones que se encuentra en los

niveles externos del átomo, lo cual generan los rayos x [87,88]. En la figura 20 se muestra un ejemplo del funcionamiento general de la técnica de XRD.

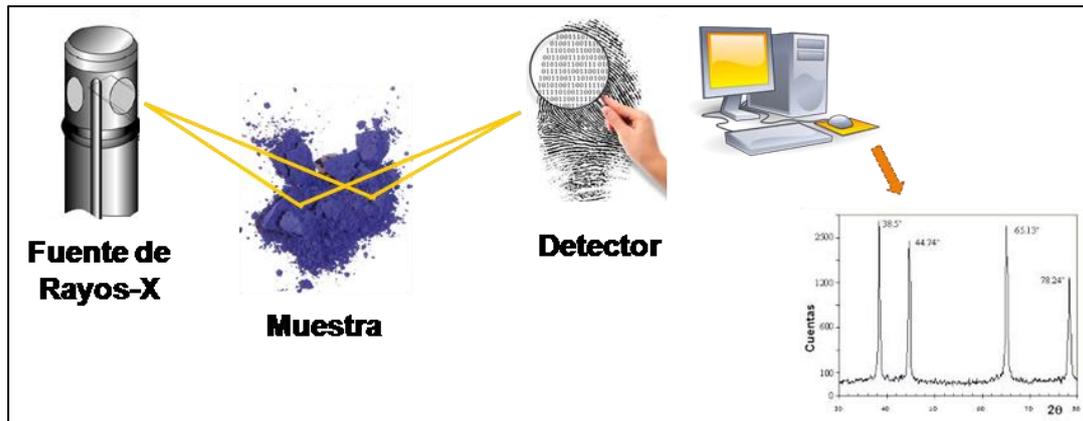


Figura 20. Representación de la técnica de XRD [89].

## **Hipótesis**

Los extractos de *Origanum vulgare* ayudarán en la síntesis verde de nanopartículas de ZnO, mostrando diferentes tamaños de nanopartículas y variación en su banda prohibida

## **Objetivo general**

Sintetizar y caracterizar nanopartículas de óxido de zinc utilizando síntesis verde con ayuda de extractos de *Origanum vulgare*.

## **Objetivos específicos**

1. Obtener el extracto de *Origanum vulgare*.
2. Sintetizar nanopartículas de óxido de zinc con el extracto de *Origanum vulgare*.
3. Conocer las propiedades ópticas de las nanopartículas por medio de UV-Vis.
4. Observar la morfología de las nanopartículas mediante SEM.
5. Identificar el enlace Zn-O por medio de FTIR.
6. Conocer la estructura cristalina y tamaño de cristalita utilizando XRD.

# **Capítulo 3.**

## **Parte experimental**

### 3.1. Obtención del extracto

Para la preparación del extracto el primer paso fue pesar 0.5, 1 y 2gr de *Origanum vulgare* (1, 2 y 4% respectivamente). Posteriormente, las hojas secas se colocaron en agua desionizada (50 ml) como se muestra en la figura 21 y las soluciones se agitaron a temperatura ambiente (28 °C) durante dos horas.



**Figura 21. Orégano en 50 ml de agua destilada.**

Una vez transcurrido el tiempo de agitación, la mezcla se colocó en baño maría a 60° C por 1 hora para posteriormente realizar la filtración a cada mezcla para poder obtener el extracto (figura 22-27).



**Figura 22. Sistema de filtración.**



**Figura 23. Papel filtro con diámetro de poro de 110 nm.**



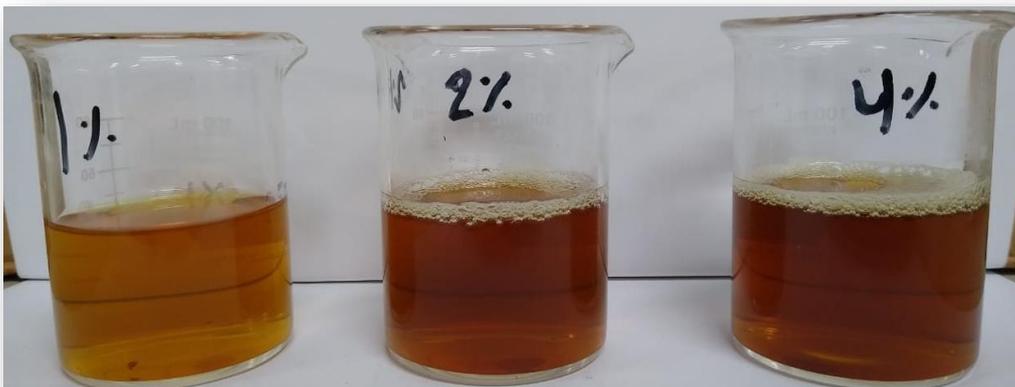
**Figura 24. Matraz Kitasato y embudo.**



**Figura 25. Parte líquida obtenida.**



**Figura 26. Residuos del orégano.**



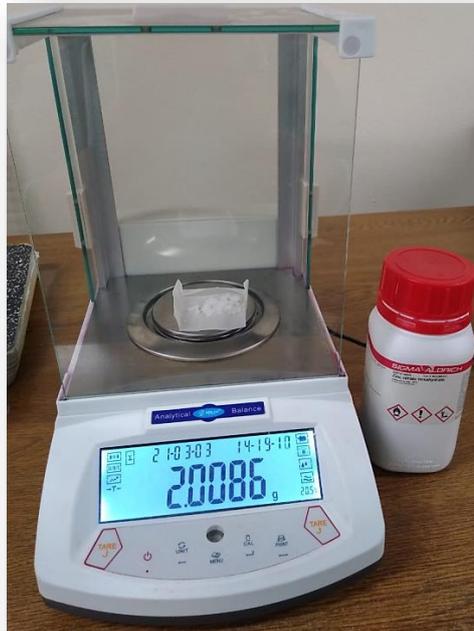
**Figura 27. Extracto del Orégano.**

### **3.1. Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc**

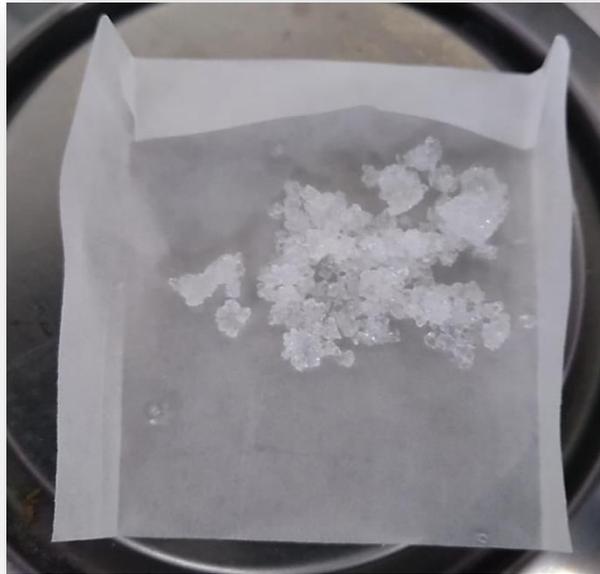
Para el proceso de la síntesis de las nanopartículas se pesaron 2 gr de Nitrato de Zinc ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y se añadieron en 42 ml del extracto. Después, la mezcla se mantuvo en agitación constante hasta quedar completamente diluido el Nitrato de Zinc, el tiempo de agitación fue de 1 hora a temperatura ambiente (figura 28-31).



**Figura 28. Nitrato de Zinc Hexahidratado.**



**Figura 29. Proceso de pesado del Nitrato de Zinc.**



**Figura 30. Nitrato de Zinc, 2 gr.**



**Figura 31. Agitación del extracto de Orégano con los 2 gr de Nitrato de Zinc.**

Continuando el proceso, ya diluido el Nitrato de Zinc, las tres muestras fueron puestas en un baño María a una temperatura de 60° C hasta lograr la evaporación del agua y obtener una consistencia pastosa, el tiempo transcurrido fue alrededor de 12 horas (figura 32-35).



**Figura 32. Muestras a baño María.**



a)



b)



c)

**Figura 33. Formación de una textura pastosa en las muestras;  
a) inicio, b) intermedio y c) final.**



**Figura 34. Consistencia final de la muestra.**

Una vez terminado el proceso a baño María, las muestras fueron colocadas en recipientes distintos, cada recipiente tenía rotulado la concentración a la que estaba cada mezcla.



**Figura 35. Recipientes rotulados con su respectiva muestra.**

Por último, las muestras se llevaron a un horno para ser calcinadas a una temperatura de 400 ° C por una hora (figura 36-38).



**Figura 36. Muestras antes de ser calcinadas.**



**Figura 37. Muestras después de la calcinación.**



**Figura 38. Las muestras se llevaron a un mortero para ser trituradas.**

### 3.3. Caracterización

La caracterización de las nanopartículas obtenidas se realizó mediante FTIR, XRD y UV-Vis. En la tabla 2 se muestran las técnicas utilizadas, así como también los parámetros con los que se realizaron los análisis.

Técnica	Equipo		
	Marca	Modelo	Parámetros
<b>FT-IR</b>	Perkin Elmer	Brand equipment	Resolución de 0.5 cm <sup>-1</sup> .
<b>XRD</b>	Bruker	D2-Phase	30 kV, 10 mA, tiempo de conteo 1s/Paso.
<b>UV-VIS</b>	Perkin Elmer	Lambda 365	Velocidad de análisis 600 nm/min.

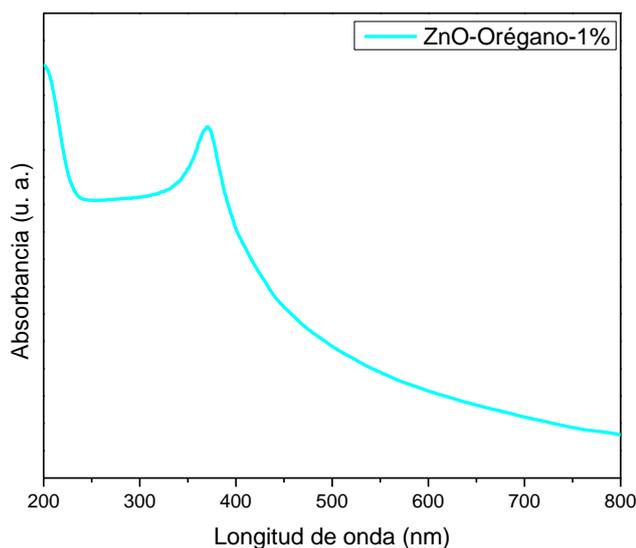
**Tabla 2. Caracterización y parámetros utilizados.**

# **Capítulo 4.**

# **Resultados**

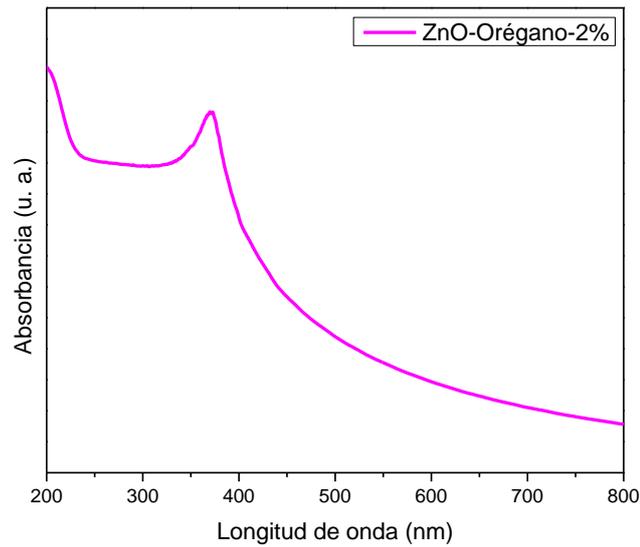
#### 4.1. UV-Vis

En la Figura 39 se muestra el espectro UV-Vis de la muestra ZnO-Orégano-1% el cual se obtuvo en un rango entre 200 y 800 nm con un espectrómetro Uv-Vis, la cual es una técnica no destructiva y con ella se pueden obtener las propiedades ópticas de los materiales. En el espectro se puede observar una banda de absorción a 370 nm la cual es característica del ZnO reportada previamente en la literatura [90], esto indica que es posible la obtención de las nanopartículas de ZnO utilizando extractos de *Origanum vulgare* desde la utilización de 1%.



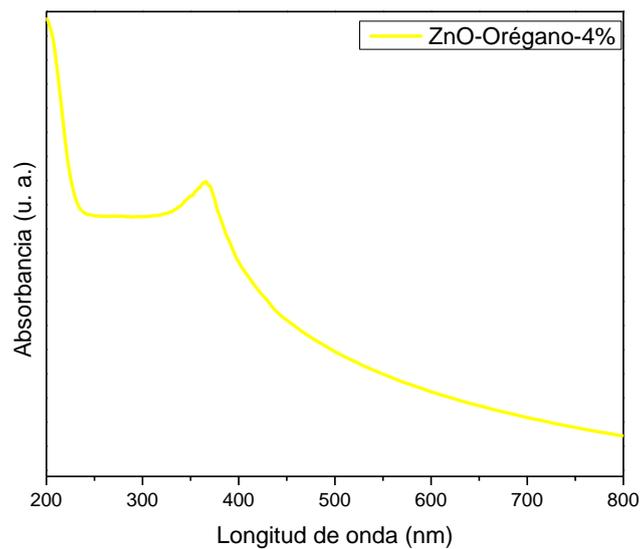
**Figura 39. Grafica de Uv – Vis de la muestra de orégano a 1 %.**

En la Figura 40 se puede observar el espectro UV-Vis de la muestra ZnO-Orégano-2% en el cual se puede observar al igual que la muestra ZnO-Orégano-1% una banda de absorción a 370 nm la cual es característica del ZnO [91] lo cual indica la obtención de las nanopartículas de ZnO.



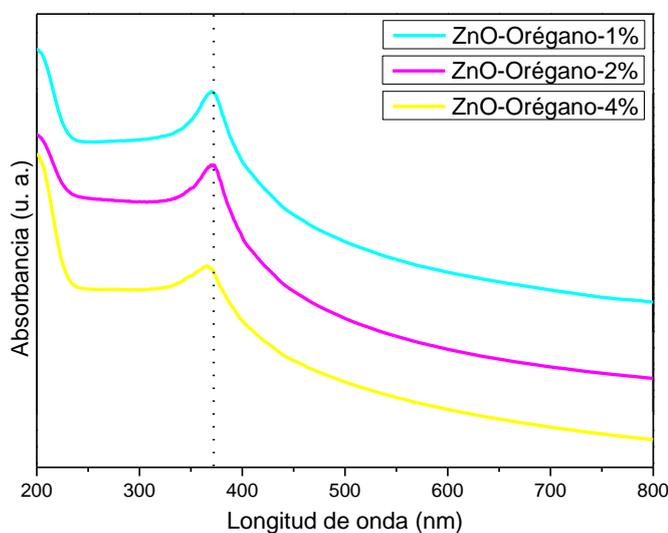
**Figura 40. Grafica de Uv – Vis de la muestra de orégano a 2 %.**

Para el caso de la muestra ZnO-Orégano-4% su espectro de UV-Vis se muestra en la Figura 41 y de la misma manera se observa una banda de absorción a 366 nm la cual es característica del ZnO [92] con un pequeño desplazamiento, lo que indica que las nanopartículas de ZnO están siendo modificadas por efecto del extracto de *Origanum vulgare* [93,94].



**Figura 41. Grafica de Uv – Vis del extracto de la muestra de orégano a 4 %.**

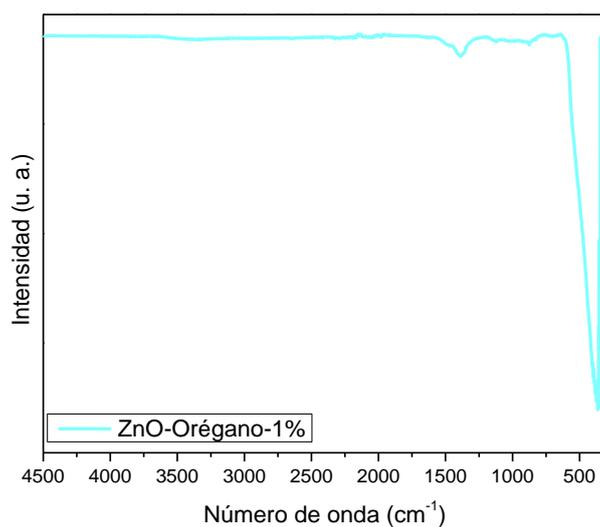
Para realizar una comparación de las diferentes muestras se graficaron juntas y se muestran en la Figura 42. Es posible notar que las tres muestras tienen la banda característica del ZnO, lo que indica que para las tres muestras se obtuvieron las nanopartículas de ZnO de forma satisfactoria, también puede observarse que la muestra de 4% presenta un ligero corrimiento (4nm) hacia longitudes de onda menores comparada con las demás muestras, esto puede ser atribuido a que con el aumento de la cantidad de extracto se modifican las nanopartículas, así como sus propiedades ópticas [94].



**Figura 42. Grafica de Uv – Vis de la muestra de orégano a 1%, 2% y 4%.**

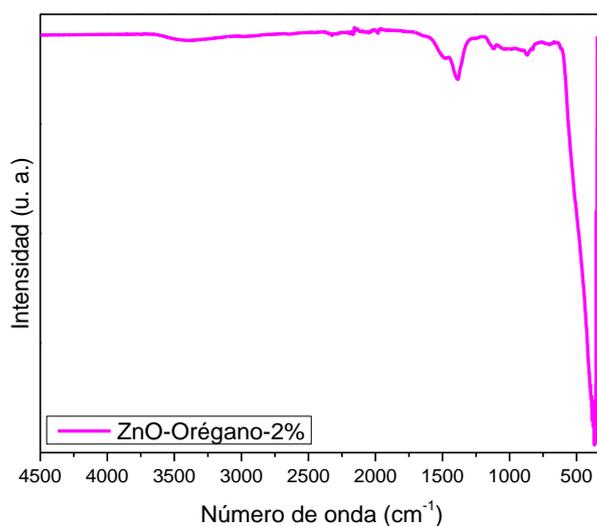
## 4.2. FTIR

Las muestras de ZnO sintetizadas también fueron analizadas por medio de FTIR en un rango de 4500 a 300  $\text{cm}^{-1}$ . En la figura 43 se puede observar el espectro FTIR de la muestra ZnO-orégano-1% en el cual se puede ver que entre 800 y 1700  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran algunas bandas que pueden ser debidas al material orgánico de los extractos utilizados, también es posible observar la presencia de una banda muy marcada a 400  $\text{cm}^{-1}$  aproximadamente que se debe al enlace Zn-O y es característica de las nanopartículas de ZnO [95]. Las presencias de estas bandas indican que efectivamente se obtuvieron las nanopartículas de ZnO utilizando los extractos los cuales sus moléculas están presentes en las nanopartículas sintetizadas.

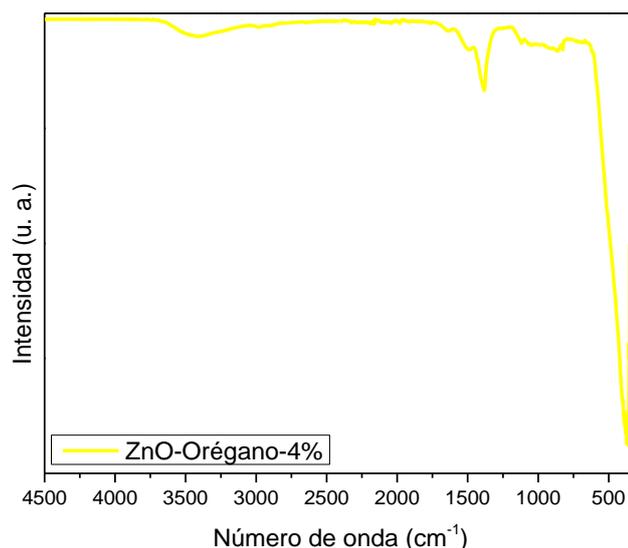


**Figura 43. Grafica de FTIR de la muestra del extracto de orégano a 1%.**

Para el caso de la muestra ZnO-orégano-2% se muestra su espectro en la figura 44 y se puede observar que al igual que muestra ZnO-orégano-1% existen bandas características tanto de los extractos utilizados y de las nanopartículas de ZnO indicando que también para esta muestra se obtuvieron las nanopartículas de ZnO y que además tienen moléculas de los extractos [85].



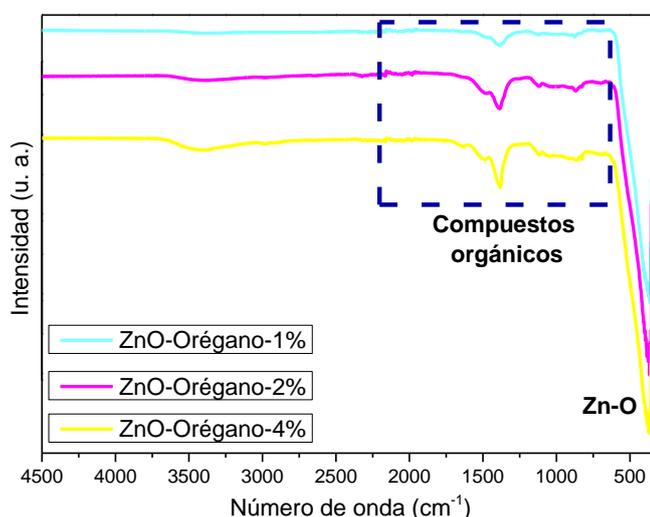
**Figura 44. Grafica de FTIR de la muestra del extracto de orégano a 2%.**



**Figura 45. Grafica de FTIR de la muestra del extracto de orégano a 4%.**

En la figura 45 se puede observar como la banda del enlace característico de Zn-O sigue en la longitud de onda característica, además la banda que hace referencia a los compuestos orgánicos que se encuentran en el extracto se marcan aproximadamente en la longitud de onda de  $1500\text{ cm}^{-1}$  que hace referencia a enlaces sencillos y dobles [96].

En la comparación de los FTIR de las tres muestras en la figura 46 se puede observar que todas tienen la banda que se asigna al enlace Zn-O característica de las nanopartículas de ZnO indicando que en los 3 casos se obtuvieron las nanopartículas, también se puede observar que al aumentar la cantidad de extracto las bandas asignadas a las moléculas orgánicas aumentan de intensidad.



**Figura 46. Graficas de FTIR de las muestras de orégano a 1%, 2% y 4%.**

### 4.3. Banda Prohibida

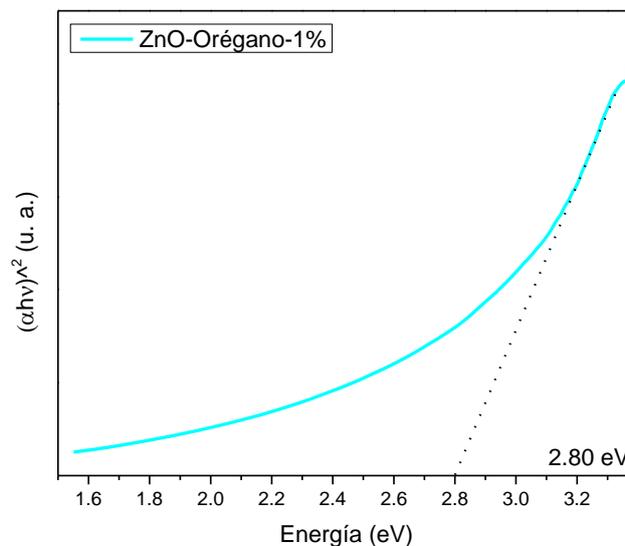
Para el análisis de la banda prohibida se utilizaron los espectros de UV-Vis de las muestras y mediante el modelo de TAUC se encontraron los valores de la banda prohibida.

El modelo de TAUC es un modelo de gran utilización para la obtención de la banda prohibida en el cual se utiliza la fórmula:

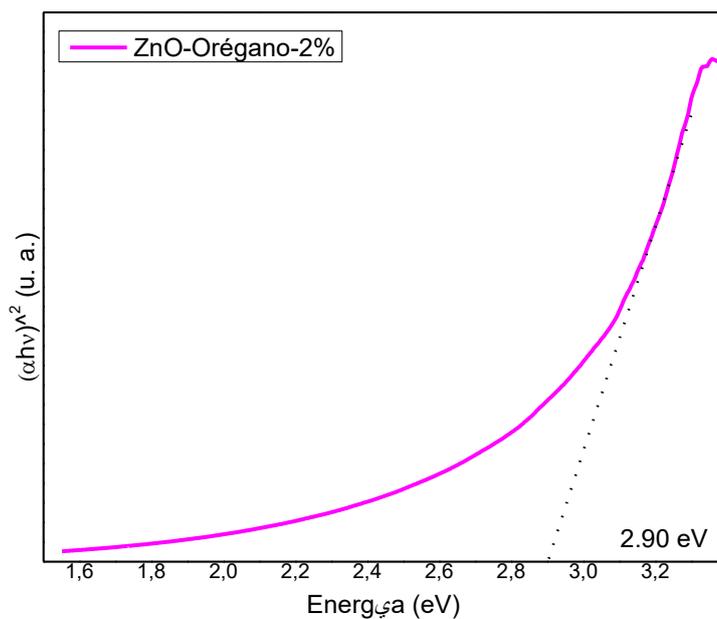
$$(5) (\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}} = A * (h\nu - E_g)$$

En donde h es la constante de Planck, v es la frecuencia,  $\alpha$  es el coeficiente de absorción,  $E_g$  es el valor de banda prohibida y A es una constante del modelo [97].

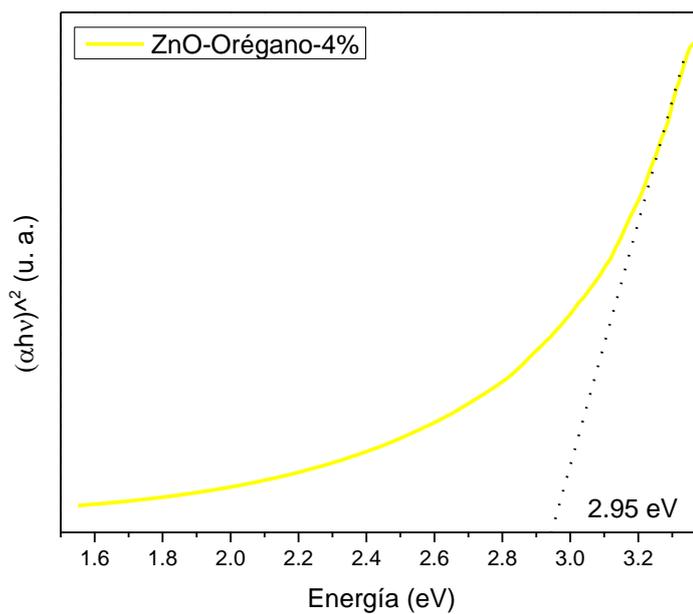
En la figura 47 se puede observar el grafico de TAUC de la muestra ZnO-orégano-1% para la cual se encontró un valor de 2.8 eV, valor que se encuentra dentro del rango de las nanopartículas de ZnO reportadas en la literatura [98]. Así como también en las figura 48 y 49 se observa un ligero incremento en la banda prohibida, demostrando así al igual que en las técnicas pasadas la síntesis efectiva de las nanopartículas de ZnO.



**Figura 47. Graficas de representación de la banda prohibida a 1% de extracto.**



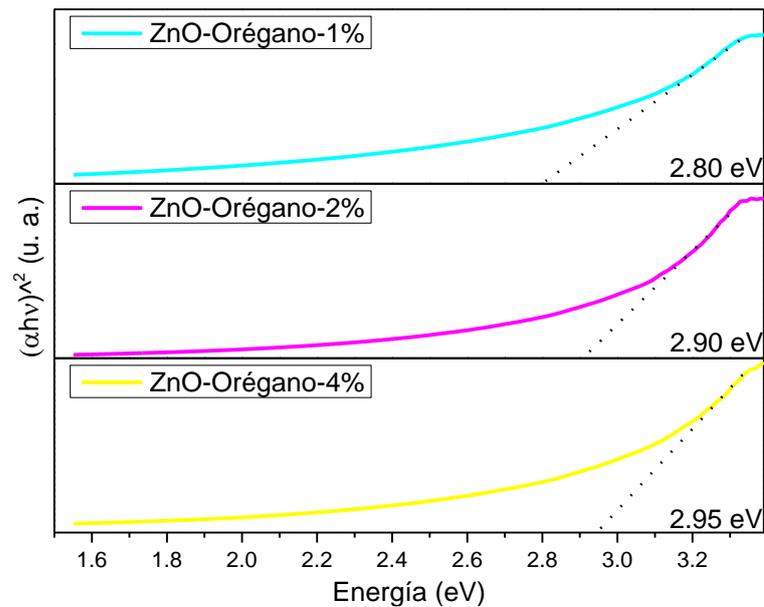
**Figura 48. Grafica de representación de banda prohibida a 2% de extracto.**



**Figura 49. Grafica de representación de banda prohibida a 4% de extracto.**

En la comparación de los tres gráficos de TAUC correspondientes a la figura 50, puede observarse que al aumentar la cantidad de extracto el valor de la banda prohibida aumenta, esto puede ser atribuido como en la literatura, que al aumentar la cantidad de extracto utilizada las moléculas de los extractos sirven como estabilizadores y ayudan a que el tamaño

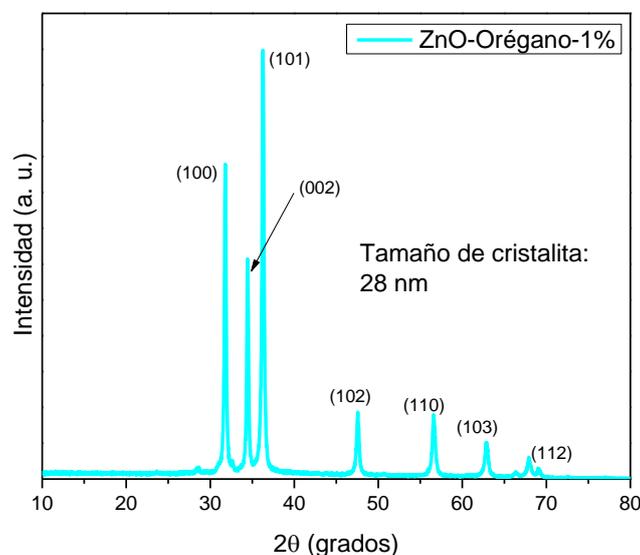
de las nanopartículas sea más pequeño y eso se ve reflejado en el aumento del valor de la banda prohibida por el efecto cuántico [99].



**Figura 50. Comparación de las bandas prohibidas a 1%, 2% y 4% de extracto.**

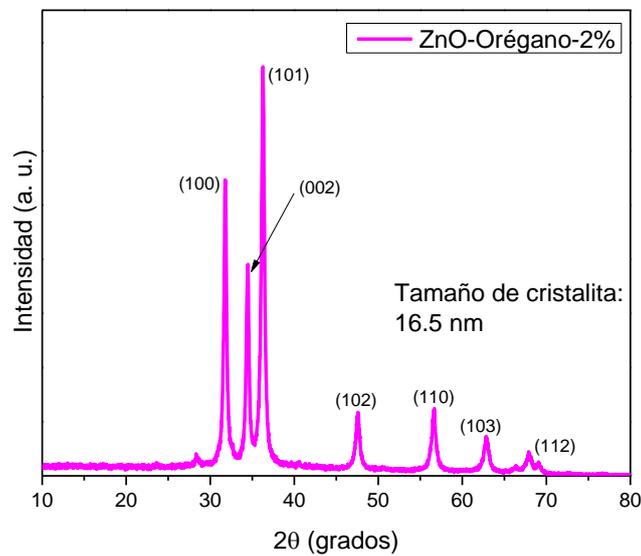
#### 4.4. DRX

En la imagen 51 se puede observar el análisis de DRX de la muestra ZnO-orégano-1%, se puede observar que se encuentran los picos característicos de las nanopartículas de ZnO en fase Wurtzita, la cual es la fase que tiene mejores propiedades, también se encontró que el tamaño de cristalita es de 28 nm los cual es muy beneficioso para futuras aplicaciones.



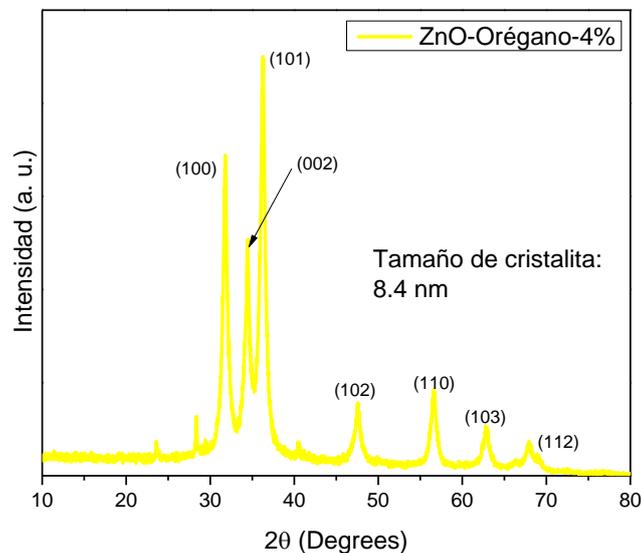
**Figura 51. Grafica de XRD de extracto a 1%.**

En la figura 52 es posible observar que al igual que para la muestra muestra ZnO-orégano-1% se siguen manteniendo los picos característicos del ZnO en fase Wurtzita, lo cual indica que aumentar la cantidad de extracto se sigue manteniendo esta fase, para el caso del tamaño de cristalita se encontró un tamaño de 16.5 nm, el cual es más pequeño que la muestra ZnO-orégano-1% lo cual indica que puede ser posible la manipulación del tamaño de cristalita con el aumento de la cantidad de extracto utilizado.



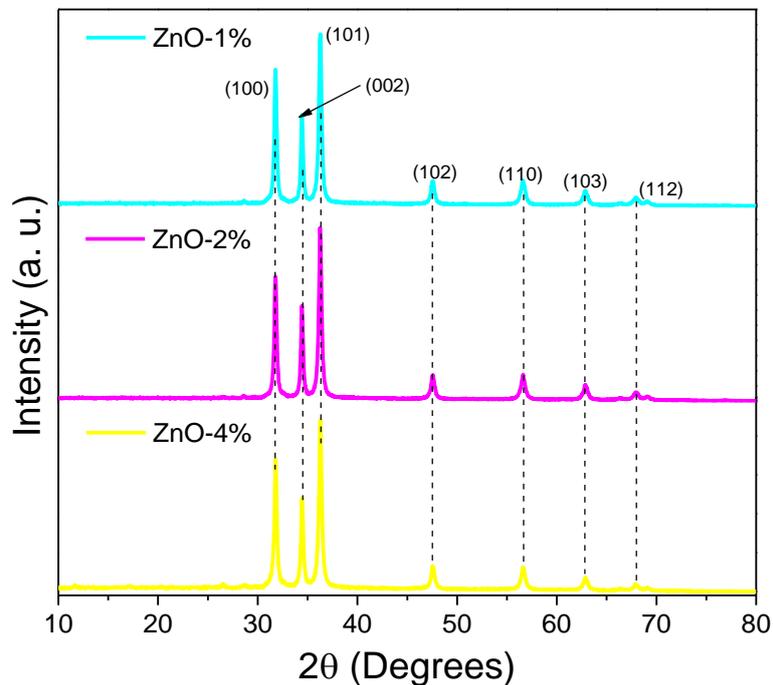
**Figura 52. Grafica de XRD de extracto a 2%.**

En la figura 53 al igual que en la muestra ZnO-orégano-2% se siguen manteniendo los picos característicos del ZnO en fase Wurtzita lo cual es muy beneficioso, para el tamaño de cristalita se encontró un valor de 8.4 nm indicando también que este valor disminuyó en comparación con las muestras muestra ZnO-orégano-1%. Y muestra ZnO-orégano-2%



**Figura 53. Grafica de XRD de extracto a 4%.**

En la figura 53 se observa la comparación del DRX de las muestras ZnO-orégano-1%, muestra ZnO-orégano-2% y muestra ZnO-orégano-4%, en esta comparación se puede observar que al aumentar la cantidad de extracto no se modifica la fase del ZnO ya que en las 3 muestras se mantiene esta fase, en comparación con los tamaños de cristalita se puede observar que este parámetro si sufre una modificación, al aumentar la cantidad de extracto el tamaño de cristalita disminuye, lo cual confirma que la cantidad de extracto influye y es posible manipular este parámetro utilizando diferentes cantidades de extracto.



**Figura 54. Representación gráfica de XRD de las muestras con distintas cantidades de extracto. El color azul indica la gráfica a 1%, verde a 2% y naranja a 4%.**

Para el caso de DRX los análisis fueron realizados en un difractómetro en un rango de  $10^\circ$  a  $80^\circ$ . Para las tres muestras se pueden observar picos a las posiciones de: 31.78, 34.44, 36.28, 47.55, 56.62, 62.83 y 67.96, que pertenecen a los planos (100), (002), (101), (102), (110), (103) y (112), respectivamente y que son correspondientes a la fase Wurtzita del ZnO coincidiendo con la carta JCPDS No. 79-2205 [100]. Esto indica que las nanopartículas obtenidas no presentan material amorfo, lo que quiere decir que para las tres muestras fue posible la obtención de las nanopartículas de ZnO con la ayuda de los extractos de *Origanum vulgare*.

# **Capítulo 5.**

# **Conclusiones**

En este trabajo fue posible la obtención de nanopartículas de ZnO sintetizadas con ayuda de extractos de *Origanum vulgare* utilizando la química verde logrando así excluir el uso de agentes reductores tóxicos y contaminantes para el ambiente.

Las nanopartículas obtenidas se analizaron por algunas técnicas de caracterización como DRX en donde se encontraron para las tres muestras solo los picos pertenecientes a la fase wurtzita indicando que las nanopartículas obtenidas no presentan material amorfo en su estructura, mostrando una variación en el tamaño de la muestra, dependiendo de la cantidad de extracto utilizado en el proceso de síntesis de los materiales.

Las nanopartículas mostraron valores de 2.8, 2.9 y 2.95 eV, en la parte de la banda prohibida, lo que indica que la utilización de los extractos beneficia a la síntesis de estas nanopartículas realizando modificaciones en sus propiedades ópticas.

Se puede utilizar la cantidad de extracto para modificar la banda prohibida lo que permite que el material pueda ser utilizado como conductor, semiconductor y aislante.

El análisis de FTIR se pudieron observar restos de la materia orgánica de los extractos en las nanopartículas sintetizadas lo que dice que después del proceso las moléculas de los extractos están presentes en las nanopartículas ayudándoles a presentar propiedades sobresalientes y poder ser utilizadas en una gama amplia de aplicaciones, por esta técnica fue posible observar el enlace característico Zinc–Oxígeno.

## Bibliografía

- [1] Mendoza, G., & Luis Rodríguez-López, J. (2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Revista Perfiles Latinoamericanos*, 14(29), 161–186.
- [2] Tolochko, N. K. (2019). History of Nanotechnology. In *History of Nanotechnology*. <https://doi.org/10.1002/9781119460534>
- [3] Gómez Garzón, M. (2019). Usos terapéuticos de nanomateriales y nanopartículas. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 28(1), 5–11. <https://doi.org/10.31260/repertmedcir.v28.n1.2019.871>
- [4] Sepeur, S. (2008). *Nanotechnology: Technical Basics and Applications*. 168. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZIBuXbgSPMoC&oi=fnd&pg=PA11&dq=nanotechnology+general+applications&ots=L9nNjL6HxJ&sig=OV-Z0uGo6dgWdGOHKZenPOQIAXY#v=onepage&q=nanotechnology+general+applications&f=false>
- [5] Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2), 75–80. <https://doi.org/10.31260/repertmedcir.v27.n2.2018.191>
- [6] Khan, N. T., & Jamil Khan, M. (2017). Biogenic Nanoparticles: An Introduction to What They Are and How They Are Produced. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 3(3), 66–70. <https://doi.org/10.25141/2475-3432-2017-3.0066>
- [7] Wilmer Ivan RICRA MENDEZ ASESOR Justo Alcides ROJAS TAPIA Lima, A. (2018). *Nanopartículas metálicas MONOGRAFÍA TÉCNICA Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física*.
- [8] Dhand, C., Dwivedi, N., Loh, X. J., Jie Ying, A. N., Verma, N. K., Beuerman, R. W., Lakshminarayanan, R., & Ramakrishna, S. (2015). Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications: A comprehensive overview. In *RSC Advances* (Vol. 5, Issue 127, pp. 105003–105037). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c5ra19388e>
- [9] Gómez Villarraga, F. (n.d.). *NANOPARTÍCULAS METÁLICAS Y SUS APLICACIONES*.
- [10] *Cultura tecnológica: ¿Qué es la nanotecnología y para qué sirve?* (n.d.). Retrieved March 26, 2021, from <https://edu.gcfglobal.org/es/cultura-tecnologica/que-es-la-nanotecnologia-y-para-que-sirve/1/>
- [11] Rafique, M., Sadaf, I., Rafique, M. S., & Tahir, M. B. (2017). A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. In *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology* (Vol. 45, Issue 7, pp. 1272–1291). <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1241792>
- [12] Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2020). The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical-physical applications to nanomedicine. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 1, p. 112). <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>

- [13] Rane, A. V., Kanny, K., Abitha, V. K., & Thomas, S. (2018). Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials* (pp. 121–139). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101975-7.00005-1>
- [14] Drexler, K. E. (2004). Nanotechnology: From Feynman to Funding. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 24(1), 21–27. <https://doi.org/10.1177/0270467604263113>
- [15] Khare S., Williams K. & Gokulan K. (2014). Nanotechnology. Encyclopedia of Food Microbiology. 893-900. doi: 10.1016/B978-0-12-384730-0.00406-7
- [16] Nasrollahzadeh M., Sajadi S., Sajjadi M. & Zahra I. (2019). Chapter 4 - Applications of nanotechnology in daily life. Interface Science and Technology. Recuperado de : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00004-3>
- [17] Rai, M., Gade, A., & Yadav, A. (2011). Biogenic Nanoparticles: An Introduction to What They Are, How They Are Synthesized and Their Applications. In *Metal Nanoparticles in Microbiology* (pp. 1–14). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-18312-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-18312-6_1)
- [18] Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. In *Biotechnology Advances* (Vol. 27, Issue 1, pp. 76–83). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.002>
- [19] Bhatia, S., & Bhatia, S. (2016). Nanoparticles Types, Classification, Characterization, Fabrication Methods and Drug Delivery Applications. In *Natural Polymer Drug Delivery Systems* (pp. 33–93). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41129-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41129-3_2)
- [20] Hasan, S. (2014). A Review on Nanoparticles : Their Synthesis and Types. *Research Journal of Recent Sciences Res . J . Recent . Sci . Uttar Pradesh ( Lucknow Campus )*, 4, 1–3. [www.isca.me](http://www.isca.me)
- [21] Król, A., Pomastowski, P., Rafińska, K., Railean-Plugaru, V., & Buszewski, B. (2017). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. In *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 249, pp. 37–52). <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.07.033>
- [22] Burduşel, A. C., Gherasim, O., Grumezescu, A. M., Mogoantă, L., Ficaï, A., & Andronescu, E. (2018). Biomedical applications of silver nanoparticles: An up-to-date overview. *Nanomaterials*, 8(9), 1–25. <https://doi.org/10.3390/nano8090681>
- [23] Elahi, N., Kamali, M., & Baghersad, M. H. (2018). Recent biomedical applications of gold nanoparticles: A review. In *Talanta* (Vol. 184, pp. 537–556). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.088>
- [24] Octavio, L., Arteaga, H., Abigail, D., Flores, G., Mayela, G., Becerra, L., Joazet, H., Galvan, O., De, I., Montero, A., & Ruiz, F. (n.d.). *SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA CON EXTRACTOS DE CUATRO PLANTAS USADAS EN LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato.* Retrieved March 2, 2021, from <https://www.eumed.net/es/revistas/intercyt/intercyt-enero-2021>
- [25] Patil, M. P., & Kim, G. Do. (2017). Eco-friendly approach for nanoparticles synthesis and mechanism behind antibacterial activity of silver and anticancer activity of gold nanoparticles. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 101, Issue 1, pp. 79–

- 92). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-8012-8>
- [26] Chávez-Sandoval, B. E., Flores-Mendoza, N., Chávez-Recio, A., Balderas-López, J. A., & García-Franco, F. (2021). Biosynthesis of gold nanoparticles (AuNPs) and the reducing agents in the process. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 14(27), 1e-11e.
- [27] Pariona, N., Mtz-enriquez, A. I., & Carrión, G. (2018). Síntesis de nanopartículas de cobre para el control de hongos fitopatógenos. *Revista ECIPeru*, 109–116. <https://doi.org/10.33017/reveciperu2018.0017/>
- [28] Guajardo, J. (2013). Síntesis de nanopartículas de cobre mediante novedosa ruta química. *Centro de Investigacion de Materiales Avanzados*, 136.
- [29] *Químicas: Los Metales de Transición*. (n.d.). Retrieved March 26, 2021, from <https://www.quimicas.net/2015/05/los-metales-de-transicion.html>
- [30] Ashik, U. P. M., Kudo, S., & Hayashi, J. (2018). An Overview of Metal Oxide Nanostructures. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101975-7.00002-6>
- [31] Vázquez Olmos, A. R., Vega Jiménez, A. L., & Paz Díaz, B. (2018). Mecanosíntesis y efecto antimicrobiano de óxidos metálicos nanoestructurados. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia y Nanotecnología*, 11(21), 29. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62545>
- [32] Ansari, S. A. M. K., Ficiarà, E., Ruffinatti, F. A., Stura, I., Argenziano, M., Abollino, O., Cavalli, R., Guiot, C., & D'Agata, F. (2019). Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis, characterization and functionalization for biomedical applications in the Central Nervous System. In *Materials* (Vol. 12, Issue 3, p. 465). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma12030465>
- [33] Betancur Henao, C. P., Hernández Montes, V., & Buitrago Sierra, R. (2016). Nanoparticles for antibacterial materials and titanium dioxide applications. In *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas* (Vol. 35, Issue 4, pp. 366–381). <http://scielo.sld.cu>
- [34] Mosquera, Estefanía, Rosas, Nelly, Debut, Alexis, Guerrero, & Hugo, V. (2015). Síntesis y caracterización de nanopartículas de Dioxido de Titanio obtenidas por el método sol-gel. *Revista Politécnica*, 36(3), 7. [https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/525/pdf](https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/525/pdf)
- [35] Patrón-Romero, L., Luque, P. A., Soto-Robles, C. A., Nava, O., Vilchis-Nestor, A. R., Barajas-Carrillo, V. W., Martínez-Ramírez, C. E., Chávez Méndez, J. R., Alvelais Palacios, J. A., Leal Ávila, M., & Almanza-Reyes, H. (2020). Synthesis, characterization and cytotoxicity of zinc oxide nanoparticles by green synthesis method. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 60(June). <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101925>
- [36] Zhu, X., Pathakoti, K., & Hwang, H.-M. (2019). Green synthesis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles and their usage for antimicrobial applications and environmental remediation. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102579-6.00010-1>

- [37] Dayah, M. (2020). *Tabla Periódica - Ptable. Ptable®*. <https://ptable.com/?lang=es#Propiedades>
- [38] Nunes, D., Pimentel, A., Santos, L., Barquinha, P., Pereira, L., Fortunato, E., & Martins, R. (2019). Structural, optical, and electronic properties of metal oxide nanostructures. In *Metal Oxide Nanostructures*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811512-1.00003-5>
- [39] European Head Office. (2005). *Cinc (Zn) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente*. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm>
- [40] Malwal, D., & Packirisamy, G. (2018). Recent Advances in the Synthesis of Metal Oxide (MO) Nanostructures. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101975-7.00010-5>
- [41] *Óxido de Zinc - Aplicaciones y Usos del Óxido de Zinc*. (n.d.). Retrieved March 26, 2021, from <https://www.zinsa.com/es/blog/oxido-de-zinc-usos-y-aplicaciones/>
- [42] (PDF) *El Óxido de Zinc: Propiedades y aplicaciones*. (n.d.). Retrieved March 12, 2021, from [https://www.researchgate.net/publication/265420601\\_El\\_Oxido\\_de\\_Zinc\\_Propiedades\\_y\\_aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/265420601_El_Oxido_de_Zinc_Propiedades_y_aplicaciones)
- [43] Mirzaei, H., & Darroudi, M. (2017). Zinc oxide nanoparticles: Biological synthesis and biomedical applications. In *Ceramics International* (Vol. 43, Issue 1, pp. 907–914). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.10.051>
- [44] Leon, L., Chung, E. J., & Rinaldi, C. (2019). A brief history of nanotechnology and introduction to nanoparticles for biomedical applications. In *Nanoparticles for Biomedical Applications: Fundamental Concepts, Biological Interactions and Clinical Applications* (pp. 1–4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816662-8.00001-1>
- [45] Rajeshkumar, S., Lakshmi, T., & Naik, P. (2019). Recent advances and biomedical applications of zinc oxide nanoparticles. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102579-6.00019-8>
- [46] Rasmussen, J. W., Martinez, E., Louka, P., & Wingett, D. G. (2010). *Zinc oxide nanoparticles for selective destruction of tumor cells and potential for drug delivery applications*. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 7(9), 1063–1077. doi:10.1517/17425247.2010.502560
- [47] Jiang, J., Pi, J., & Cai, J. (2018). The Advancing of Zinc Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications. In *Bioinorganic Chemistry and Applications* (Vol. 2018). <https://doi.org/10.1155/2018/1062562>
- [48] Sruthi, S., Ashtami, J., & Mohanan, P. V. (2018). Biomedical application and hidden toxicity of Zinc oxide nanoparticles. In *Materials Today Chemistry* (Vol. 10, pp. 175–186). <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.09.008>
- [49] Ng, C. T., Ong, C. N., Yu, L. E., Bay, B. H., & Baeg, G. H. (2019). *Toxicity Study of Zinc Oxide Nanoparticles in Cell Culture and in Drosophila melanogaster*. *Journal of Visualized Experiments*, (151). doi:10.3791/59510
- [50] Beitollahi H., Tajik S., Garkani F and Safaei M. (2020) *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. doi: 10.1039/D0TB00569J.

- [51] Vázquez Olmos, A. R., Vega Jiménez, A. L., & Paz Díaz, B. (2018). Mecanosíntesis y efecto antimicrobiano de óxidos metálicos nanoestructurados. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia y Nanotecnología*, 11(21), 29. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2018.21.62545>
- [52] Santhoshkumar, J., Kumar, S. V., & Rajeshkumar, S. (2017). Synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant leaf extract against urinary tract infection pathogen. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.05.001>
- [53] Dimapilis, E. A. S., Hsu, C. S., Mendoza, R. M. O., & Lu, M. C. (2018). Zinc oxide nanoparticles for water disinfection. In *Sustainable Environment Research* (Vol. 28, Issue 2, pp. 47–56). Chinese Institute of Environmental Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.10.001>
- [54] Villamor Sancho, E. J. (2020). *Impacto medioambiental del uso de nanopartículas*. [https://idus.us.es/handle/11441/103533#\\_YE2vzqvUrDA.mendeley](https://idus.us.es/handle/11441/103533#_YE2vzqvUrDA.mendeley)
- [55] Santhoshkumar, J., Kumar, S. V., & Rajeshkumar, S. (2017). Synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant leaf extract against urinary tract infection pathogen. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.05.001>
- [56] Jeyaraj, M., Gurunathan, S., Qasim, M., Kang, M. H., & Kim, J. H. (2019). A comprehensive review on the synthesis, characterization, and biomedical application of platinum nanoparticles. *Nanomaterials*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/nano9121719>
- [57] Nunes, D., Pimentel, A., Santos, L., Barquinha, P., Pereira, L., Fortunato, E., & Martins, R. (2019b). Synthesis, design, and morphology of metal oxide nanostructures. In *Metal Oxide Nanostructures*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811512-1.00002-3>
- [58] Abanto Gonzalez, D. (2020). *Efecto de la temperatura sobre la morfología y ancho de banda de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método hidrotérmico*. 95.
- [59] Feng, S., & Xu, R. (2001). *New Materials in Hydrothermal Synthesis*. *Accounts of Chemical Research*, 34(3), 239–247. doi:10.1021/ar0000105
- [60] Rane, A. V., Kanny, K., Abitha, V. K., & Thomas, S. (2018). Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials* (pp. 121–139). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101975-7.00005-1>
- [61] Chen, D. H., & He, X. R. (2001). Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method. *Materials Research Bulletin*, 36(7–8), 1369–1377. [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(01\)00620-1](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(01)00620-1)
- [62] Serrano, M. del C. D. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química*, 20(4), 412–420. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2009000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2009000400004)
- [63] Sanjay, S. S. (2019). Safe nano is green nano. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102579-6.00002-2>
- [64] Pal, G., Rai, P., & Pandey, A. (2019). Green synthesis of nanoparticles: A greener approach for a cleaner future. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102579-6.00001-0>

- [65] Devatha, C. P., & Thalla, A. K. (2018). Green Synthesis of Nanomaterials. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101975-7.00007-5>
- [66] Ahmed, S., Annu, Chaudhry, S. A., & Ikram, S. (2017). A review on biogenic synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and microbes: A prospect towards green chemistry. In *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* (Vol. 166, pp. 272–284). <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.12.011>
- [67] Aguilar, M., Mares-Briones, F., Borjas-García, S., & Rosas, G. (2019). Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using *Origanum vulgare*. *Microscopy and Microanalysis*, 25(S2), 2378–2379. <https://doi.org/10.1017/s1431927619012625>
- [68] Gahlawat, G., & Choudhury, A. R. (2019). A review on the biosynthesis of metal and metal salt nanoparticles by microbes. In *RSC Advances* (Vol. 9, Issue 23, pp. 12944–12967). <https://doi.org/10.1039/c8ra10483b>
- [69] Srinath, B. S., Namratha, K., & Byrappa, K. (2017). Eco-friendly synthesis of gold nanoparticles by gold mine bacteria *Brevibacillus formosus* and their antibacterial and biocompatible studies. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 7(8), 53–60. [www.iosrphr.org](http://www.iosrphr.org)
- [70] Pantidos, N. (2014). Biological Synthesis of Metallic Nanoparticles by Bacteria, Fungi and Plants. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*, 05(05). <https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000233>
- [71] Vinardell, M. P., & Mitjans, M. (2015). Antitumor activities of metal oxide nanoparticles. In *Nanomaterials* (Vol. 5, Issue 2, pp. 1004–1021). <https://doi.org/10.3390/nano5021004>
- [72] Rafique, M., Sadaf, I., Rafique, M. S., & Tahir, M. B. (2017). A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. In *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology* (Vol. 45, Issue 7, pp. 1272–1291). <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1241792>
- [73] Azizi, S., Ahmad, M. B., Namvar, F., & Mohamad, R. (2014). Green biosynthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using brown marine macroalga *Sargassum muticum* aqueous extract. *Materials Letters*, 116, 275–277. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.11.038>
- [74] Collin, H. (2006). *Herbs, spices and cardiovascular disease. Handbook of Herbs and Spices*, 126–137. doi:10.1533/9781845691717.2.126
- [75] Arcila-Lozano, C. C., Loarca-Piña, G., Lecona-Urbe, S., & González De Mejía, E. (2004). El orégano: Propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 54(1), 100–111. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222004000100015](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100015)
- [76] Hübert, T., Tiebe, C., & Banach, U. (2016). Electronic Noses for the Quality Control of Spices. In *Electronic Noses and Tongues in Food Science* (pp. 115–124). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00012-3>
- [77] Safwan Shiyab. (2012). Influence of developmental stage on yield and composition of *Origanum syriacum* L. oil by multivariate analysis. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(15). <https://doi.org/10.5897/jmpr11.1368>
- [78] UV-Vis. (n.d.). Retrieved March 17, 2021, from

[http://www.proquinorte.com/es/productos/cromatografia/UV-Vis/UV\\_Vis.jsp](http://www.proquinorte.com/es/productos/cromatografia/UV-Vis/UV_Vis.jsp)

- [79] *Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy | Protocol (Translated to Spanish)*. (n.d.). Retrieved March 17, 2021, from <https://www.jove.com/v/10204/espectroscopia-ultravioleta-visible-uv-vis?language=Spanish>
- [80] *CINÉTICA QUÍMICA*. (2010).
- [81] A. De Caro, C. (2015). UV / VIS Spectrophotometry. *Mettler-Toledo International*, September 2015, 4–14.
- [82] *Conceptos básicos de FTIR | Thermo Fisher Scientific - ES*. (n.d.). Retrieved March 17, 2021, from <https://www.thermofisher.com/mx/es/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-basics.html>
- [83] RTI Laboratories employees. (2015). *FTIR Analysis | RTI Laboratories*. <https://rtilab.com/techniques/ftir-analysis/>
- [84] Piqué, T. M., & Vázquez, A. (2012). USO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) EN EL ESTUDIO DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 3(2), 62–71.
- [85] *Enhanced Reader*. (n.d.). Retrieved March 17, 2021, from <moz-extension://3637fdd6-8e50-4687-9dcb-6e0c2243e6f3/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fciatej.repositorioinstitucional.mx%2Fjspui%2Fbitstream%2F1023%2F743%2F1%2FCap%25206%2520Analisis%2520de%2520los%2520espectros%2520de%2520infrarrojo.pdf>
- [86] Ortiz, D., & Mendoza, E. (2016). Difracción de rayos X. Introducción 1. FUNDAMENTOS 1.1 Espectro electromagnético y Rayos X. 1.2 Estado cristalino. 1.3 Interacción de los R-X con la materia. Difracción. 1.4 Métodos experimentales de difracción. 2. EL DIFRACTÓMETRO CONVENCIONAL 2.1 Tubo d. *Agostp 2016*, 31. [https://www.upct.es/~minaees/difraccion\\_rayosx.pdf](https://www.upct.es/~minaees/difraccion_rayosx.pdf)
- [87] *Difracción de rayos X: desde polvos y sólidos hasta películas delgadas y nanomateriales | Malvern Panalytical*. (n.d.). Retrieved March 17, 2021, from <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-diffraction>
- [88] Linan. (2017). *Difractómetro de Rayos-X (XRD)*. Difractómetro de Rayos-x (XRD). [http://www.linan-ipicyt.mx/XRD\\_Bruker\\_D8\\_Advance.html#:~:text=Difractómetro de Rayos-X \(XRD\)&text=Los rayos X son producidos,por medio de alto voltaje.&text=Los rayos X que se,de difracción de rayos X](http://www.linan-ipicyt.mx/XRD_Bruker_D8_Advance.html#:~:text=Difractómetro de Rayos-X (XRD)&text=Los rayos X son producidos,por medio de alto voltaje.&text=Los rayos X que se,de difracción de rayos X)
- [89] Ortiz, D., & Mendoza, E. (2016). Difracción de rayos X. Introducción 1. FUNDAMENTOS 1.1 Espectro electromagnético y Rayos X. 1.2 Estado cristalino. 1.3 Interacción de los R-X con la materia. Difracción. 1.4 Métodos experimentales de difracción. 2. EL DIFRACTÓMETRO CONVENCIONAL 2.1 Tubo d. *Agostp 2016*, 31. [https://www.upct.es/~minaees/difraccion\\_rayosx.pdf](https://www.upct.es/~minaees/difraccion_rayosx.pdf)
- [90] Jayappa, M. D., Ramaiah, C. K., Kumar, M. A. P., Suresh, D., Prabhu, A., Devasya, R.

- P., & Sheikh, S. (2020). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles from the leaf, stem and in vitro grown callus of *Mussaenda frondosa* L.: characterization and their applications. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 10(8), 3057–3074. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01382-2>
- [91] Hassan, S. S. M., Azab, W. I. M. E., Ali, H. R., & Mansour, M. S. M. (2015). Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles for photocatalytic degradation of anthracene. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 6(4), 45012. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/6/4/045012>
- [92] Sharmila, G., Thirumarimurugan, M., & Muthukumaran, C. (2019). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Tecoma castanifolia* leaf extract: Characterization and evaluation of its antioxidant, bactericidal and anticancer activities. *Microchemical Journal*, 145, 578–587. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.11.022>
- [93] Khalil, M. M. H., Ismail, E. H., El-Baghdady, K. Z., & Mohamed, D. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(6), 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.04.007>
- [94] Soto-Robles, C. A., Luque, P. A., Gómez-Gutiérrez, C. M., Nava, O., Vilchis-Nestor, A. R., Lugo-Medina, E., Ranjithkumar, R., & Castro-Beltrán, A. (2019). Study on the effect of the concentration of *Hibiscus sabdariffa* extract on the green synthesis of ZnO nanoparticles. *Results in Physics*, 15(November). <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102807>
- [95] Djaja, N. F., Montja, D. A., & Saleh, R. (2013). The Effect of Co Incorporation into ZnO Nanoparticles. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 03(01), 33–41. <https://doi.org/10.4236/ampc.2013.31006>
- [96] Paper, C., Andr, C., & Cultural, P. (2016). *Identificación De Componentes Orgánicos E Inorgánicos Presentes En Bienes Culturales Mediante Espectroscopía Infrarroja Ftir-Atr.* October 2015. [https://www.researchgate.net/publication/303855958\\_IDENTIFICACION\\_DE\\_COMPONENTES\\_ORGANICOS\\_E\\_INORGANICOS\\_PRESENTES\\_EN\\_BIENES\\_CULTURALES\\_MEDIANTE\\_ESPECTROSCOPIA\\_INFRARROJA\\_FTIR-ATR](https://www.researchgate.net/publication/303855958_IDENTIFICACION_DE_COMPONENTES_ORGANICOS_E_INORGANICOS_PRESENTES_EN_BIENES_CULTURALES_MEDIANTE_ESPECTROSCOPIA_INFRARROJA_FTIR-ATR)
- [97] Arias Durán, A., Camps, E., Escobar Alarcón, L., Hernández Landaverde, M., Muñoz Saldaña, J., Espinoza Beltrán, F., Gómez, M., & Zambrano, G. (2012). Caracterización estructural y óptica de películas delgadas de TiO<sub>2</sub> tratadas en un plasma de nitrógeno producido por microondas mediante resonancia ciclotrónica de electrones (ECR). *Revista Colombiana de Física*, 44(3), 283.
- [98] Limón Bandola, E. M. L. B. (2011). *Ó Universidad Ó Veracruzana Ó.* 1–60. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46427/QuirozCortesMCarmen.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [99] Sánchez Solís, A. I. (2014). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE PUNTOS CUÁNTICOS DE CdSe CON APLICACIONES EN CELDAS FOTOVOLTAICAS CON CONFIGURACIÓN FTO/TiO<sub>2</sub>/CdSe/ZnS presenta Ana Isabel Sánchez Solís TESIS que para obtener el grado de.* <https://biblioteca.cio.mx/tesis/16203.pdf>
- [100] Chouhan, N., Yeh, C. L., Hu, S. F., Huang, J. H., Tsai, C. W., Liu, R. S., Chang, W. S., & Chen, K. H. (2010). Array of CdSe QD-Sensitized ZnO Nanorods Serves as

Photoanode for Water Splitting. *Journal of The Electrochemical Society*, 157(10), B1430. <https://doi.org/10.1149/1.3473788>