



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES TIANGUISTENCO
DIVISIÓN DE INGENIERIA INDUSTRIAL



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE TIANGUISTENCO

DIVISIÓN DE INGENIERIA INDUSTRIAL

*“SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO-ZINC
OBTENIDAS POR UN PROCESO VERDE”*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

ADRIANA ZAMORA CUENCA

DIRIGIDA POR:

DRA. CRISTINA ARELY DE LEÓN CONDES

MTRA. JAZMIN REYES PÉREZ

Tianguistenco, Estado de México, *febrero, 2022*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a mis padres Jesús y Lourdes por todo su apoyo brindado durante mi trayectoria académica, por darme esos consejos, así como los recursos para continuar con mi formación profesional, por siempre estar conmigo y no dejar que me diera por vencida, siempre dándome unas palabras de aliento. A mis hermanos y hermanas por siempre estar cuando los necesitaba por todo su apoyo y ayuda incondicional, siempre estando unidos y haciéndome entender que para triunfar se necesita de mucho esfuerzo y dedicación, también a mis cuñadas, cuñado así como sobrinas todos ellos forman una parte esencial por la cual salir adelante teniendo su apoyo siempre sacándome una sonrisa, a mis amigos que sin duda siempre apoyándonos, estudiando juntos estando el uno con el otro no dejarnos rendir en nuestra trayectoria académica sin duda todos ellos una parte importante para mí.

Sin dejar de lado a los docentes que con su dedicación de enseñanza brindada apoyo y consejos me impulsaron a seguir adelante a la Dra. Cristina, Dra. Maribel y Mtra. Jazmín que, sin su asesoramiento, ayuda y disposición logre el objetivo de este proceso experimental gracias a este esfuerzo.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se centra en el aprovechamiento de sustancias activas provenientes de extractos de diferentes plantas. Se planteó un proceso de síntesis verde de nanopartículas metálicas para obtener un material compuesto de nanopartículas de óxidos metálicos hierro-zinc. Los resultados de las plantas propuestas fueron analizados mediante espectrofotometría UV-Visible, donde se observó el plasmón característico de estos metales confirmando la formación de nanopartículas. Las pruebas realizadas contemplaron parámetros como pH, temperatura y relación volumen (V: V) entre la infusión y la sal bimetálica utilizada, con la finalidad de identificar las mejores condiciones de obtención de las nanopartículas. El extracto que mejor plasmón mostró fue el de la mejorana (*Origanum majorana*) para obtener las nanopartículas bimetálicas Fe-Zn a partir de las sales de sulfato ferroso y nitrato de zinc respectivamente.

Palabras Clave

Síntesis verde, nanopartículas, biomasa, nanotecnología.

ABSTRACT

This research work focuses on the use of active substances from extracts of different plants. A green synthesis process of metal nanoparticles was proposed to obtain a material composed of nanoparticles of iron-zinc metal oxides. The results of the proposed plants were analyzed by UV-Visible spectrophotometry, where the characteristic plasmon of these metals was observed, confirming the formation of nanoparticles. The tests carried out contemplated parameters such as pH, temperature and volume ratio (V: V) between the infusion and the bimetallic salt used, in order to identify the best conditions for obtaining the nanoparticles. The extract that showed the best plasmon was that of marjoram (*Origanum majorana*) to obtain Fe-Zn bimetallic nanoparticles from ferrous sulfate and zinc nitrate salts, respectively.

Keywords

Green synthesis, nanoparticles, biomass, nanotechnology.

Índice

AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE ECUACIONES.....	13
Abreviaturas	14
1 Capítulo I	16
1.1 Introducción	16
1.2 Planteamiento del problema	18
1.3 Justificación.....	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	20
1.4 Hipótesis.....	21
1.5 Marco Teórico	22
1.5.1 Manufactura verde	22
1.5.2 Nanotecnología	26
1.5.3 Tipos de Nanopartículas	28
1.5.4 Métodos de Obtención de nanopartículas	32
1.5.5 Síntesis verde usando plantas.....	39
1.5.6 Fitoquímicos que participan en la síntesis	41
2 Capítulo II. Revisión de Literatura	47
2.1 Otros Metales	47
2.2 Óxidos de Hierro	50
2.3 Óxidos de Zinc	52
3 Capítulo III. Metodología Propuesta	57
3.1 FASE I: Investigación bibliográfica.....	58
3.2 FASE II: Colecta de Materia Vegetal	58
3.3 FASE III: Pruebas de reducción con el material vegetal colectado y las sales metálicas	60
3.4 FASE IV: Diseño experimental para determinar condiciones óptimas de obtención	64
4 Capítulo IV. Resultados – Discusión.....	67

4.1	Fase I	67
4.2	Fase II.....	67
4.3	Fase III.....	67
4.3.1	Análisis De Espectrofotometría De UV-Vis.....	73
4.4	Fase IV	81
4.4.1	Análisis de Diseño Experimental.....	87
5	Conclusiones y Limitaciones.....	88
6	Recomendaciones	90
7	Competencias Desarrolladas y/o Aplicadas	91
8	Referencias Bibliográficas.....	93
9	Anexo.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Usos de la nanotecnología modificado de (CIAI, 2017).	27
Figura 2. Nanopartículas a base de carbono, (elaboración propia con imágenes de google, 2021)	31
Figura 3. Métodos de obtención de nanopartículas modificada de (Ealias & Saravanakumar, 2017).	33
Figura 4. Diagrama esquemático que representa la síntesis de nanopartículas modificado de (Pal et al., 2019).	41
Figura 5. Estructura química de la quercitina (imagen recuperada de google, 2021)	43
Figura 6. Diagrama de flujo con las fases de la metodología que se realizó en la presente investigación (Elaboración propia, 2021).	57
Figura 7. Proceso de secado de las plantas: A (Brickellia cavanillesii), B (Artemisia absinthium), C (Ruta graveolens), D (Uncaria tomentosa), E (Ruta graveolens), F (Justicia spicigera), G (Artemisia absinthium), H (Origanum majorana.), I (Uncaria tomentosa), J (Brickellia cavanillesii)	59
Figura 8. Molienda de las plantas a utilizar en el proceso experimental	60
Figura 9. Polvo vegetal de cada planta a utilizar para preparar las infusiones, A) mejorana, B) muicle, C) ruda, D) ajeno, E) árnica, F) prodigiosa, G) uña de gato, H) cola de caballo, I) tomillo	61
Figura 10. Preparación de las infusiones colocadas en una parrilla dejándolas hervir para obtener su extracto.	61
Figura 11. Filtrado de la infusión para remover la biomasa vegetal.....	61
Figura 12. Solución de nitrato de zinc ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$).....	63
Figura 13. Solución de sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$).....	64
Figura 14. Diagrama del proceso de obtención de nanopartículas (Elaboración propia con imágenes de google, 202.....	80
Figura 15. Proceso de obtención de nanopartículas con la mejorana y las sales bimetálicas (elaboración propia con imágenes de google, 2022).	81
Figura 16. Espectros generados por las; C1 (Corrida 1), C2 (Corrida 2), C3 (Corrida 3), C4 (Corrida 4), C5 (Corrida 5), C6 (Corrida 6), C7 (Corrida 7), C8 (Corrida 8), C9 (Corrida 9), C10 (Corrida 10), C11 (Corrida 11), C12 (Corrida 12), C13 (Corrida 13).	86
Figura 17. Grafica de optimización (obtenida del programa Minitab 17, 2021).....	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos físicos para la obtención de nanopartículas (elaboración propia, con información de los artículos que se encuentran en la tabla, 2021).	34
Tabla 2. Métodos químicos para la obtención de nanopartículas (elaboración propia, con información de los artículos que se encuentran en la tabla, 2021).	36
Tabla 3. Métodos biológicos para la obtención de nanopartículas (elaboración propia, con información de los artículos que se encuentran en la tabla, 2021).	37
Tabla 4 Condiciones de operación óptimas para la obtención de diferentes nanopartículas metálicas (elaboración propia, 2021).	47
Tabla 5. Condiciones de operación para la obtención de nanopartículas de Fe (elaboración propia).	50
Tabla 6. Condiciones de operación para la obtención de nanopartículas de Zn (elaboración propia).	53
Tabla 7. Diseño de Box-Behnken obtenido con Minitab.....	64
Tabla 8. Comparación del pH en la fusión sola, combinada con Zn, y combinada con Fe (elaboración propia, 2021).	68
Tabla 9. Observaciones de la infusión del extracto de las plantas y la infusión combinada con la sal metálica del Zn (elaboración propia, 2021).	69
Tabla 10. Observaciones de la infusión del extracto de las plantas y la infusión combinada con la sal metálica del Fe (elaboración propia, 2021).	70
Tabla 11. Análisis de Espectrofotometría de Uv-Vis (elaboración propia, 2021).	73
Tabla 12. Corridas a realizar acomodado según su pH (elaboración propia, 2021)	82
Tabla 13. Observaciones de la infusión combinada con las sales bimetálicas acomodadas conforme a su temperatura.	83

ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 1. Cantidad de sal de nitrato de zinc ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a utilizar	62
Ecuación 2. Cantidad de sal sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a utilizar.....	63

Abreviaturas

NPs – nanopartículas

Fe - Hierro

Zn - Zinc

Ag - Plata

Au - Oro

Cu - Cobre

Se - Selenio

nm - nanómetros

ND - No Determinados

NR - No Reportados

mL – mililitros

IOT - Internet de las Cosas Industrial

Al - aluminio

Cd - cadmio

Co - cobalto

Pb – plomo

CNT- Nanotubos de Carbono

CO₂. Dióxido de carbono

CAPÍTULO I



1 Capítulo I

1.1 Introducción

Los procesos sustentables han adquirido importancia por diversas razones, en la actualidad existen acuerdos internacionales que buscan la sustentabilidad en procesos al reducir emisiones de CO₂ aprovechando los recursos renovables. La Manufactura verde busca optimizar la eficiencia, resistencia y sostenibilidad en todo el ciclo de vida de elaboración de productos y servicios, que cubran las necesidades de la sociedad y no comprometan la permanencia de las generaciones futuras.

La globalización de la sociedad, requiere cambios en todas las disciplinas. En los últimos años la nanotecnología ha emergido como una interesante alternativa aplicada en infinidad de ramas, materiales o procesos debido a la manipulación a escala nanométrica, logrando propiedades que a tamaño normal no se tienen.

A través de la nanotecnología se pretende aprovechar sustancias activas provenientes de plantas, frutas, hongos, algas, bacterias y virus para obtener nanopartículas con aplicaciones diversas, con impacto a nivel mundial en investigación, desarrollo tecnológico e industrial. Se trata de una tecnología multidisciplinar que incluye la física, la química, la biología y la ingeniería. La riqueza científica de este campo radica en que cuando la materia se presenta y es tratada a escala nanométrica, ésta presenta propiedades y fenómenos totalmente novedosos, que difieren significativamente de las que presentan a escala macroscópica.

El tamaño nanométrico no es nuevo, existen indicios de su obtención desde las civilizaciones Egipcia y Maya, se cree que en esas épocas se sabía de su obtención pero no se podían observar, fue hasta inicios del siglo XX cuando se establecen las bases para desarrollar el microscopio electrónico y con esto se pudo observar el tamaño nanométrico que antes no era posible.

El objetivo de la presente investigación es encontrar un método alternativo y eficiente para la obtención de nanopartículas bimetálicas Fe-Zn mediante un proceso de síntesis verde potencial para una gran variedad de aplicaciones.

1.2 Planteamiento del problema

La manufactura verde se enfoca en la creación de productos a través de procesos que minimizan los impactos ambientales negativos, al tiempo que conservan la energía y los recursos naturales. Ofrece diferentes panoramas utilizando tecnologías sostenibles y métodos de manufactura avanzada, esto solo si el diseño del producto, la producción, el diseño de cadena de suministro, la gestión y la logística, puede ser entendido, desarrollado y gestionado de una manera integrada. Uno de los principales retos de la manufactura sostenible se deriva de la problemática intrínseca basada en sistemas complejos.

La síntesis verde es una técnica alternativa de biorreducción utilizando metales este proceso se basa principalmente en la obtención de nanopartículas utilizando algún agente biológico, es por ello que se trabajó con plantas de las cuales se extrajeron sus propiedades para que estas puedan ser mezcladas con sales metálicas.

Las nanopartículas de Fe-Zn, han sido obtenidas por medio de métodos verdes utilizando diferentes extractos de hojas, flores, frutos y cortezas que al mezclarlas con sales metálicas, reaccionan ante diferentes parámetros como temperatura y pH.

El tema de síntesis verde es novedoso porque en la actualidad el uso de materia como lo son plantas, hongos, virus, bacterias y frutas, está siendo muy empleado para la obtención de nanopartículas utilizando diferentes metales.

En este trabajo se pretende desarrollar la propuesta que contemple síntesis verde para obtener nanopartículas de óxido de hierro-zinc.

¿Es posible obtener nanopartículas bimetálicas Fe-Zn a partir de extractos de plantas?

1.3 Justificación

Según el acuerdo de París que fue firmado entre 184 países incluido México fue planteada la reducción de emisiones de bióxido de carbono para 2030, alineado con la transformación gradual de la economía y la sociedad para promover un crecimiento económico más sostenible (Jagpreet Singh et al 2018).

La síntesis "verde" se ha venido desarrollando como un proceso confiable, sostenible y ecológico para obtener una amplia gama de materiales aplicados en diversos productos y procesos, incluidos los nanomateriales de metal y óxidos metálicos. Es considerada una herramienta importante para reducir efectos destructivos asociados con los métodos tradicionales de síntesis de nanopartículas comúnmente utilizados en laboratorio y la industria. Entre sus aplicaciones se encuentran la obtención de productos sintetizados para la remediación ambiental, actividad antimicrobiana, antifúngicos, antimicótico, medicina y desarrollo de tecnología (Jagpreet Singh et al 2018).

Este trabajo busca desarrollar una alternativa para la obtención de nanopartículas que sea más sostenible y minimice los problemas que influyen en la elección de los materiales y procesos de fabricación de un producto. Las opciones para obtener un agente reductor proveniente de plantas, conllevan impactos económicos y ambientales importantes, es un proceso prometedor para obtención de este de tipo de materiales que se encuentra en desarrollo alrededor del mundo.

1.3.1 Objetivo General

Proponer una alternativa de síntesis verde para obtener un material base nanopartículas de óxido metálicos hierro-zinc.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar generalidades del tema, nanotecnología, biosíntesis verde.
- Revisar bibliografía acerca de las nanopartículas de óxido metálicos hierro- zinc y métodos de síntesis.
- Clasificar información elaborando un análisis de los métodos de síntesis, ventajas y desventajas de acuerdo con los autores consultados.
- Determinar características necesarias para que un material base biológica puede utilizarse en síntesis verde.
- Describir los métodos de síntesis verde de nanopartículas de óxido metálicos hierro-zinc y aplicaciones.
- Establecer la propuesta como alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxido de hierro-zinc.
- Realizar pruebas necesarias experimentales con base en la propuesta y obtención.

1.4 Hipótesis

Por medio de extractos de plantas cultivadas en la región es posible obtener nanopartículas bimetálicas hierro- zinc que pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Manufactura verde

La síntesis verde surgió años atrás sin embargo, es tanto el avance que la tecnología en las industrias busca un enfoque más sustentable por lo cual están interesados en conocer sobre la Tecnología verde y empezar aplicarla. Dentro de las industrias surge la necesidad de generar ahorros y reducir el impacto ambiental en el entorno. Así, que todas aquellas organizaciones que desarrollan e implementan iniciativas verdes son también fuente de proveedores más confiables, implementan mejoras importantes en temas de logística y cuentan con una mejor reputación hacia el público en general (Molina & Muñoz, 2020).

El enfoque de manufactura sostenible ofrece nuevas vías para producir productos de funcionalidad superior utilizando tecnologías sostenibles y métodos de manufactura avanzada, esto solo si el diseño del producto, la producción, el diseño de cadena de suministro, la gestión y la logística, puede ser entendida, desarrollada y gestionada de una manera holística e integrada. Uno de los principales retos de la manufactura sostenible se deriva de la problemática intrínseca basada en sistemas complejos, ya que para lograrlo se deben considerar los tres niveles de interacción integral de la manufactura: productos, procesos y sistemas. Pero al lograrlo se detonarían las bases para crear valor sostenible y crecimiento económico, la fabricación ecológica se trata principalmente de cambiar las prácticas comerciales y de fabricación, así como la mentalidad de las partes interesadas, para mitigar el impacto industrial del cambio climático y otras preocupaciones ambientales. Sin duda, el momento del cambio es ahora. La manufactura “verde”, una tendencia industrial emergente con un futuro viable y a largo plazo para la sostenibilidad, aborda estos desafíos ambientales a nivel sistémico (Molina & Muñoz, 2020).

La Cuarta Revolución Industrial y el Internet de las Cosas Industrial (IIOT) presentan nuevas oportunidades para desbloquear innovaciones de procesos para desarrollar materiales sostenibles y

respetuosos con el medio ambiente; descarbonizar energía; aprovechar la innovación digital para hacer más con menos; y extender el ciclo de vida de los bienes dentro de un marco de cero desperdicios (Sandoval E, 2017).

Nuevos materiales

Los sistemas de procesamiento se pueden mejorar. Además de emplear materiales electrónicos más sustentables, las compañías también pueden incorporar envases ecológicos, que llevan a un ahorro de energía del 40% y a una reducción del 90% en el agua que se requiere para la producción. La enorme recompensa de una postura de manufactura “verde” es el ahorro de energía. Aquí, los beneficios ambientales y empresariales van de la mano. Se observa un futuro brillante para la energía descarbonizante, con la innovación de procesos digitalizados, incluso las industrias con mayor demanda de energía como la producción de concreto, se pueden impulsar prácticas más eficientes y amigables con el clima. Gracias a la tecnología IIOT y al desarrollo de dispositivos conectados inteligentes, los fabricantes son capaces de priorizar los proyectos de eficiencia de recursos junto con los objetivos de productividad. Los activos conectados a lo largo de una instalación pueden proporcionar información sobre el uso de energía en tiempo real, lo que permite a las empresas industriales optimizar la energía y los recursos desde una perspectiva fundamental (Sandoval E, 2017).

Conducir una economía circular

La fabricación ecológica se trata de algo más que aprovechar la producción de materiales de alta tecnología y presionar por prácticas de eficiencia energética. El camino hacia la manufactura “verde”, por el contrario, es circular. Se mueve más allá del enfoque 3R de “reducir, reutilizar, reciclar” hacia un enfoque 5R: “reparar, reutilizar, renovar, re-fabricar y reciclar” impulsando un uso optimizado de los recursos y una vida útil más larga de los productos, lograr cero residuos en vertederos (Sandoval E, 2017).

La propuesta innovadora de la manufactura sostenible se fundamenta en la Metodología 6R basada en múltiples sistemas de ciclos de vida de los productos, esta metodología comprende:

Reducir: Se enfoca en la reducción de recursos en la pre-manufactura, además de la reducción en el uso de energía, materiales y otros recursos durante la manufactura, así como la reducción de emisiones y desperdicios durante la etapa de uso/consumo (Sandoval E, 2017).

Reúso: Se refiere al uso del producto en su totalidad, o sus componentes, después de su primer ciclo de vida, promoviendo nuevos ciclos de vida, evitando así el requerimiento de materiales vírgenes para la producción de nuevos productos y componentes (Sandoval E, 2017).

Reciclar: Involucra el proceso de convertir materiales que de otra forma se considerarían como basura en nuevos materiales y productos (Sandoval E, 2017).

Recuperar: Proceso de recolección de productos al final de su etapa de uso, y su posterior desmontaje, clasificación y limpieza para su utilización en posteriores ciclos de vida del producto (Sandoval E, 2017).

Rediseño: actividad que implica diseñar la próxima generación de productos, permitiendo un uso más eficiente de componentes, materiales y recursos recuperados del ciclo de vida anterior o de la anterior generación de productos (Sandoval E, 2017).

Remanufactura: Implica el reprocesar productos ya utilizados para su restauración a un estradiol original o como un nuevo modelo a través de la reutilización de la mayor cantidad de partes como sea posible sin pérdida de funcionalidad (Sandoval E, 2017).

El tema verde tiene diferentes enfoques ya que este puede ser utilizado en diferentes industrias ya sea textil, alimenticia, agropecuaria etc. Ya que cada una de estas busca la eficiencia de los procesos, favorece la transparencia de la información y aminora el uso de los recursos que podrían representar

contaminación. Existen diferentes maneras en las que una empresa puede involucrarse en el concepto de la Tecnología Verde. Lo primero es conocer sus pilares: la educación, el diseño y la administración (Molina & Muñoz, 2020).

La educación, es un elemento clave que sensibiliza a las personas que están en contacto directo con la tecnología sobre sus repercusiones al medio ambiente. El diseño es lo referente a cómo impacta la logística de una planta o la disposición de los elementos tecnológicos en un supermercado el consumo de energía y por ende, cómo puede optimizarse y reducirse el costo total de propiedad con el manejo adecuado de los recursos. Finalmente, la adecuada administración contribuye con el tema en acciones como el ahorro de hojas de papel cuando se generan reportes y se analizan bases de datos, sin necesidad de imprimirlos (Molina & Muñoz, 2020).

El conocer los pilares de la tecnología verde es una tarea que toda compañía debe considerar seriamente, esto será fundamental para la administración de todo el negocio, ayudará a las compañías a aprovechar el tema verde para satisfacer requerimientos legales, de marketing y relaciones públicas, y a mejorar la eficiencia en su operación; definitivamente, esto es algo positivo para los emprendedores, los inversionistas, los consumidores y desde luego, para el medio ambiente (Molina & Muñoz, 2020).

Adaptándose para el futuro

El hacer que tanto estudiantes como profesionales se adapten a los nuevos cambios que van existiendo, es de suma importancia ya que permite ver un panorama más claro, ofrece avances en la tecnología y fabricación de productos que sean más amigables con el medio ambiente por lo que genera más productividad y eficiencia sin tener inconvenientes en cuanto a la contaminación se busca un enfoque que vaya siendo más amigable con el medio ambiente. El crecimiento económico se puede ir observando con la nueva tecnología la cual va adquiriendo una nueva forma de trabajo. El verdadero poder de la manufactura verde dentro de los procesos productivos en las diferentes ramas en donde esta

puede ser aplicada por consiguiente obtendrá una disminución en contaminación de tal forma que se vean los cambios en el planeta (Cervera-Ferri, 2017).

La manufactura verde busca un cambio en los procesos de forma que estos sean más eco-amigables con el medio ambiente por lo que la nanotecnología va teniendo cada día más avances tecnológicos los cuales pueden ser analizados y empleados por las diferentes ramas o aplicaciones en los distintos sectores (Cervera-Ferri, 2017).

1.5.2 Nanotecnología

La nanotecnología es un avance científico que se va realizando a través de la manipulación de la materia a una escala casi atómica o bien nanométrica para crear nuevas estructuras, materiales y aparatos, que estos a su vez prometen avances científicos en muchos sectores en los cuales lo que se busca es mejorar cada uno de sus procesos o productos, así como, dar el enfoque más amplio a los nuevos productos para el consumidor. La nanotecnología no está definida concretamente, aunque en términos generales abarca estructuras, aparatos y sistemas diseñados que tienen una escala entre 1 y 100 nanómetros, en palabras simples, es la ciencia de manipular la materia a escala molecular y atómica. Los materiales de este tamaño presentan propiedades únicas que afectan las reacciones físicas, químicas y biológicas. El estudio, el desarrollo y la utilización de estas propiedades es parte esencial de las nuevas tecnologías (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Las nanopartículas difieren en varias dimensiones, formas, tamaños, estructura y materiales, puede ser de dimensión cero donde la longitud, el ancho y la altura se fijan en un punto único, en cuanto a la forma puede ser esférico, cilíndrico, tubular, cónico, núcleo hueco, espiral, plano o irregular y su tamaño va de un rango entre 1 nm a 100 nm. La superficie puede ser uniforme

o irregular con ciertas variaciones. Algunas nanopartículas son cristalinas o amorfas con sólidos monocristalinos o multicristalinos sueltos o aglomerados (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Las nanopartículas ahora se utilizan en procesos para mejorar la forma de realización de diferentes productos, mejorara la tecnología con la que están hechos los materiales usando energía renovable. La nanotecnología puede ser usada para tratar problemas sociales que afectan a las comunidades, por ejemplo mejorar las condiciones óptimas de vida como lo son el acceso al agua potable, mejora tratamiento para enfermedades las cuales van teniendo cada vez más una mejoría en la rama de la medicina, en la figura 1 se pueden apreciar los principales factores a los que está enfocada la nanotecnología y cuál es su importancia, estos son puntos clave para un futuro limpio y sostenible (Ealias & Saravanakumar, 2017).



Figura 1. Usos de la nanotecnología modificado de (CIAI, 2017).

La síntesis de materiales a nanoescala y la exploración de sus propiedades fisicoquímicas únicas son ejemplos del rápido crecimiento de las nuevas fronteras de esta tecnología. Como resultado de estos avances, este campo ha ganado un enorme impulso en áreas diversificadas como la electrónica, las aplicaciones biomédicas, la industria alimentaria, la industria química, la industria farmacéutica, la salud ambiental, la industria espacial, la mecánica y la óptica. El desarrollo y la utilización de nanomateriales ha proporcionado un método más confiable y solución alternativa sostenible para diferentes desafíos tecnológicos y ambientales en diversos campos, como la recolección de energía solar, la administración de medicamentos, la catálisis, el tratamiento de aguas residuales y la generación de hidrógeno (Pal et al., 2019).

1.5.3 Tipos de Nanopartículas

Los materiales se distribuyen en varios grupos, según las características fisicoquímicas y superficiales de cada uno, se clasifican generalmente en orgánicas, inorgánicas y nanomateriales basados en carbono (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Nanopartículas orgánicas

Los dendrímeros, micelas, liposomas y ferritina, entre otras se conocen comúnmente como nanopartículas o polímeros orgánicos. Estas nanopartículas son biodegradables, no tóxicas, y algunas partículas como las micelas y los liposomas tienen un núcleo hueco, también conocidas como nanocápsulas y son sensibles a la radiación térmica y electromagnética como el calor y la luz. Estas características únicas los convierten en una opción ideal para la administración de fármacos. La capacidad de transporte del fármaco, su estabilidad y sistemas de liberación, ya sea fármaco atrapado o sistema de fármaco adsorbido, determina su campo de aplicación y su eficacia además de sus características habituales como tamaño, composición, morfología superficial, etc. Estas son las más utilizadas en el campo biomédico, por ejemplo, el sistema de administración de fármacos, ya que son eficientes y también

se pueden inyectar en partes específicas del cuerpo, lo que también se conoce como administración de fármacos dirigida (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Nanopartículas inorgánicas

Las nanopartículas inorgánicas son partículas que no están formadas por carbono, sino a base de metales y óxidos metálicos (Ealias & Saravanakumar, 2017).

A base de Metal

Las nanopartículas que se sintetizan a partir de metales a tamaños nanométricos, ya sea por métodos destructivos o constructivos, son nanopartículas a base de metales. Casi todos los metales se pueden sintetizar en sus nanopartículas, los metales comúnmente utilizados para la síntesis de nanopartículas son aluminio (Al), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), oro (Au), hierro (Fe), plomo (Pb), plata (Ag) y zinc (Zn). Las nanopartículas tienen propiedades distintivas tales como tamaños bajos de 1 a 100 nm, alta relación de área superficial - volumen, tamaño de poro, carga de superficie y densidad de carga de superficie, estructuras cristalinas y amorfas, formas como esféricas y cilíndricas, color, reactividad y sensibilidad a factores ambientales como el aire, la humedad, el calor y la luz solar (Ealias & Saravanakumar, 2017).

A base de óxidos metálicos.

Las nanopartículas a base de óxido metálico se sintetizan para modificar las propiedades de sus respectivas nanopartículas de base metálica, por ejemplo, las nanopartículas de hierro (Fe) se oxidan instantáneamente a óxido de hierro (Fe_2O_3) en presencia de oxígeno a temperatura ambiente, lo que aumenta su reactividad en comparación con las nanopartículas de hierro. Las nanopartículas de óxidos metálicos se sintetizan principalmente debido a su mayor reactividad y eficiencia. Los sintetizados

comúnmente son óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de cerio (CeO_2), óxido de hierro (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), dióxido de silicio (SiO_2), óxido de titanio (TiO_2), óxido de zinc (ZnO). Estas nanopartículas poseen propiedades excepcionales en comparación con sus contrapartes metálicas (Ealias & Saravanakumar, 2017).

A base de carbono

Las nanopartículas hechas completamente de carbono se conocen como basadas en carbono. Se pueden clasificar en fullerenos, grafeno, nanotubos de carbono (CNT), nanofibras de carbono, negro de carbono y, a veces, carbón activado en tamaño nanométrico, se presentan en la Figura 2 (Ealias & Saravanakumar, 2017).



Figura 2. Nanopartículas a base de carbono, (elaboración propia con imágenes de google, 2021)

Fullerenos.

Los fullerenos (C₆₀) son un grupo de moléculas de carbono que tiene forma esférica y está formada por átomos de carbono unidos por hibridación sp². Aproximadamente 28 a 1500 átomos de carbono forman la estructura esférica con diámetros de hasta 8,2 nm para una sola capa y de 4 a 36 nm para fullerenos multicapa (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Grafeno.

El grafeno es un alótropo del carbono, es una red hexagonal de celosía alveolar formada por átomos de carbono en una superficie plana bidimensional. Generalmente el espesor de la hoja de grafeno es de alrededor de 1 nm (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Nanotubos de Carbono (CNT).

Los nanotubos de carbono son hojas de grafeno. con un panal la red de átomos de carbono que se enrolla en cilindros huecos para formar nanotubos de diámetros tan bajos como 0,7 nm para un CNT de una sola capa y 100 nm para CNT de varias capas y una longitud que varía desde unos pocos micrómetros hasta varios milímetros. Los extremos pueden ser huecos o cerrados por medio de una molécula de fullereno (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Nanofibras de Carbono.

Las mismas nanofibras de grafeno se utilizan para producir nanofibras de carbono como CNT, pero enrolladas en forma de cono o copa en lugar de tubos cilíndricos normales (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Carbón Negro.

Material amorfo constituido por carbono, generalmente de forma esférica con diámetros de 20 a 70 nm. La interacción entre las partículas es tan alta que se unen en agregados y se forman aglomerados de alrededor de 500 nm (Ealias & Saravanakumar, 2017).

1.5.4 Métodos de Obtención de nanopartículas

Se emplean diversos métodos para la preparación de nanopartículas metálicas que se clasifican en dos tipos principales: métodos ascendentes y métodos descendentes. La principal diferencia entre ambos métodos es el material de partida de la preparación de nanopartículas. El material a granel se utiliza como material de partida en los métodos de arriba hacia abajo y el tamaño de partícula se reduce a nanopartículas mediante diferentes procesos físicos, químicos y mecánicos, mientras que los átomos o moléculas son el material de partida en los métodos de abajo hacia arriba, en la figura 3 se puede observar dos tipos de métodos de obtención de nanopartículas (Jamkhande et al., 2019).

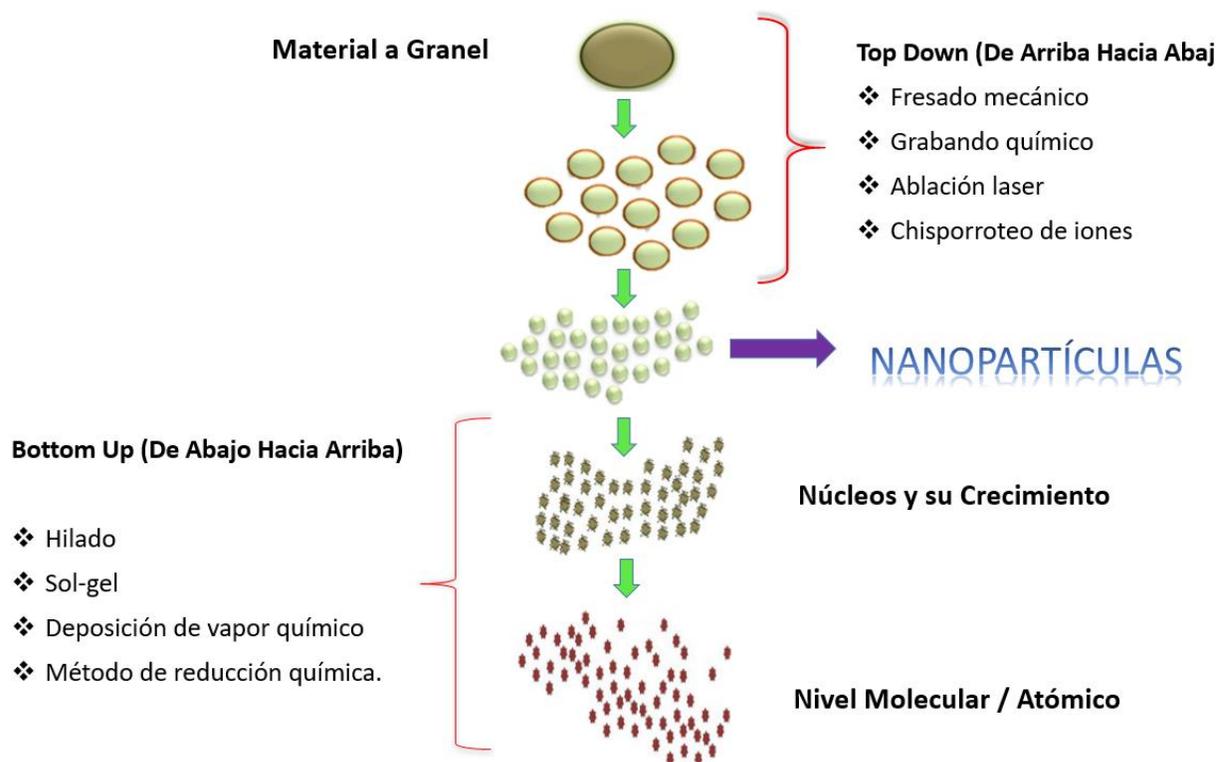


Figura 3. Métodos de obtención de nanopartículas modificada de (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Bottom Up

La síntesis de nanopartículas utilizando un enfoque de abajo hacia arriba se basa en la formación de nanopartículas a partir de moléculas más pequeñas, como la unión de átomos, moléculas o partículas pequeñas. En este método, los bloques de construcción nanoestructurados de las nanopartículas se formaron primero y luego se ensamblaron para producir la nanopartícula final, la mayoría de los métodos incluidos en este enfoque son métodos químicos (Jamkhande et al., 2019).

Top Down

En este método, el material a granel se convierte en pequeñas partículas de tamaño manométrico. La preparación de nanopartículas se basa en la reducción del tamaño del material de

partida mediante diferentes tratamientos físicos y químicos. Incluye métodos como fresado mecánico, ablación térmica y láser. En este enfoque, las nanopartículas se forman mediante un método de reducción de tamaño que significa que el material a granel adecuado se reduce a pequeñas unidades con el uso de métodos litográficos apropiados, por ejemplo, triturado, escupido y molido. La estabilidad, la forma y el tamaño de las nanopartículas pueden ser precisos controlando la temperatura, el pH, la concentración del extracto vegetal y la solución de sal metálica, así como el tiempo de incubación. El principal problema asociado con este método es que el cambio en la química de la superficie y las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas (Jamkhande et al., 2019).

Métodos físicos, químicos y biológicos son propuestos para la síntesis de nanopartículas. Conforme se han ido estudiando estos métodos, apoyados de técnicas de caracterización y después la búsqueda de aplicaciones del nanomaterial, ha surgido un punto de discusión para elegir el método más adecuado al producir nanopartículas de metales (Jamkhande et al., 2019).

Métodos físicos

Los métodos físicos para la síntesis de nanopartículas incluyen: fresado mecánico, molienda de bolas, ablación laser, pulverización de iones, cada uno se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos físicos para la obtención de nanopartículas (elaboración propia, con información de los artículos que se encuentran en la tabla, 2021).

MÉTODO	MECANISMO	AUTOR
Fresado mecánico	Es el más utilizado para producir diversas nanopartículas. La molienda mecánica se utiliza para la molienda y post recocido de nanopartículas durante la síntesis donde se muelen diferentes elementos en una atmósfera inerte. Los factores que influyen son la deformación plástica que conduce a la forma de las partículas, la fractura conduce a la disminución del tamaño de las partículas y la soldadura en frío conduce a un aumento del tamaño de las partículas.	(Ealias & Saravanakumar, 2017)
Molienda de bolas	El principio de funcionamiento de la molienda mecánica es la reducción del tamaño de partícula con molienda de bolas de alta energía. El éxito de la molienda mecánica se ve afectado por la variable del proceso y las propiedades del polvo de molienda. Se clasifica en molienda de baja	(Jamkhande et al., 2019).

	energía y alta energía que depende de la energía mecánica inducida a la mezcla de polvo. Este método es ampliamente preferido para la síntesis de nanopartículas intermetálicas. En este método, el polvo a granel se agrega a un recipiente junto con varias bolas pesadas.	
Ablación laser	Es un método común para la producción de nanopartículas a partir de varios disolventes. La irradiación de un metal sumergido en una solución líquida mediante un rayo láser condensa una columna de plasma que produce nanopartículas. Es un método confiable de arriba hacia abajo que proporciona una solución alternativa a la reducción química convencional de metales para síntesis de nanopartículas basadas en metales. Como LASiS proporciona una síntesis estable de nanopartículas en disolventes orgánicos y agua que no requiere ningún agente estabilizador o productos químicos, es un proceso "verde".	(Ealias & Saravanakumar, 2017)
Pulverización de iones	La pulverización es la deposición de nanopartículas en una superficie expulsando partículas de ella al chocar con iones. La pulverización suele ser una deposición de una capa fina de nanopartículas seguida de un recocido. El grosor de la capa, la temperatura y la duración del recocido, el tipo de sustrato, etc. determina la forma y el tamaño de las nanopartículas.	(Ealias & Saravanakumar, 2017)
Descomposición térmica.	La descomposición térmica es una descomposición química endotérmica producida por el calor que rompe los enlaces químicos en el compuesto. La temperatura específica a la que un elemento se descompone químicamente es la temperatura de descomposición. Las nanopartículas se producen al descomponer el metal a temperaturas específicas que experimentan una reacción química que produce productos secundarios.	(Ealias & Saravanakumar, 2017)

Las principales ventajas de los métodos físicos son el refinamiento de la microestructura de los materiales de partida hasta el régimen de nanoescala. Obtener gran variedad de equilibrio y fases de desequilibrio, fases metaestables cristalinas y cuasicristalinas, aleaciones amorfas, soluciones sólidas y nanoestructura, las desventajas radican en problemas para la obtención de nanopartículas < 10 nm, contaminación del equipo y NPs, contar con el equipo, además de ser poco efectivos para el control de tamaño, forma estructural y composición (Jamkhande et al., 2019).

Métodos químicos

Los métodos químicos para la síntesis de nanopartículas incluyen: Hilado, Sol-gel, Deposición de vapor químico, Reducción química, se describen a detalle en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos químicos para la obtención de nanopartículas (elaboración propia, con información de los artículos que se encuentran en la tabla, 2021).

MÉTODO	MECANISMO	AUTOR
Hilado	La síntesis de nanopartículas por hilado se lleva a cabo mediante un reactor de disco giratorio (SDR). Contiene un disco giratorio dentro de una cámara / reactor donde se pueden controlar los parámetros físicos como la temperatura. El reactor generalmente se llena con nitrógeno u otros gases inertes para eliminar el oxígeno del interior y evitar reacciones químicas. El disco gira a diferente velocidad donde se bombea el líquido, es decir, el precursor y el agua. El giro hace que los átomos o moléculas se fusionen y se precipiten, se recojan y se sequen. Los diversos parámetros operativos, como el caudal de líquido, la velocidad de rotación del disco, la relación líquido / precursor, la ubicación de la alimentación, la superficie del disco, etc. determina las características de las nanopartículas sintetizadas a partir de SDR.	(Ealias & Saravanakumar, 2017)
Sol-gel	Es un proceso químico húmedo que contiene una solución química que actúa como precursor de un sistema integrado de partículas discretas. Los óxidos y cloruros metálicos son los precursores típicamente utilizados en el proceso sol-gel. A continuación, el precursor se dispersa en un líquido huésped mediante agitación, agitación o sonicación y el sistema resultante contiene una fase líquida y una sólida. Se lleva a cabo una separación de fases para recuperar las nanopartículas mediante varios métodos como sedimentación, filtración y centrifugación y la humedad se elimina posteriormente mediante secado.	(Ealias & Saravanakumar, 2017)
Deposición de vapor químico	Es la deposición de una película delgada de reactivos gaseosos sobre un sustrato. La deposición se lleva a cabo en una cámara de reacción a temperatura ambiente combinando moléculas de gas. Se produce una reacción química cuando un sustrato calentado entra en contacto con el gas combinado. Esta reacción produce una fina película de producto sobre la superficie del sustrato que se recupera y utiliza.	(Ealias & Saravanakumar, 2017)
Reducción química	Reducción química por reducción inorgánica y orgánica. Agentes es uno de los métodos más comunes para sintetizar metales coloidales partículas debido a la facilidad de operación y al equipo necesario. Los agentes reductores comúnmente utilizados son el borohidruro de sodio (NaBH_4), bitartrato de potasio ($\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$), metoxi polietilenglicol ($\text{CH}_3\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$), citrato trisódico dihidrato ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_9$), ascorbato e hidrógeno elemental.	(Vijayaraghavan & Ashokkumar, 2017).

Sus principales ventajas son controlar el tamaño de partículas, permite el crecimiento del núcleo-recubrimiento de las nanopartículas y sus aleaciones, las desventajas radican en el tiempo de fabricación, uso de temperatura.

Métodos biológicos

Los métodos biológicos de nanopartículas son un enfoque de síntesis que utilizan microorganismos y plantas que tienen aplicaciones biomédicas. Este enfoque es respetuoso con el medio ambiente, ecológico, seguro, biocompatible, rentable y eficaz. La síntesis verde incluye síntesis a través de plantas, bacterias, hongos, algas, virus utilizando biomasa o extracto biológico como fuente de reductores extracelular o intracelular Agarwal et al., (2017), como se resume en la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos biológicos para la obtención de nanopartículas (elaboración propia, con información de los artículos que se encuentran en la tabla, 2021).

MÉTODO	MECANISMO	AUTOR
Virus	El uso de virus en la biosíntesis de nanopartículas es un método novedoso que ha sido capaz de producir inorgánicos nanomateriales como sulfuro de cadmio (CdS), dióxido de silicio (SiO ₂), óxido de hierro (Fe ₂ O ₃) y sulfuro de zinc (ZnS). Los nanomateriales semiconductores como ZnS y CdS son de interés para los enfoques de la industria de la química y la electrónica verde, ya que su síntesis se ha investigado ampliamente.	(Salem & Fouda, 2021)
Bacterias	Las especies bacterianas se han utilizado ampliamente para aplicaciones biotecnológicas comerciales tales como biorremediación, ingeniería genética y biolixiviación. Las bacterias poseen la capacidad de reducir los iones metálicos y son candidatos trascendentales en la preparación de nanopartículas. Para la preparación de metálicos y otros novedosos. Nanopartículas, se utilizan una variedad de especies bacterianas. Algunos ejemplos de cepas bacterianas que han sido ampliamente explotadas para la síntesis de bioreducciones: Escherichia coli, Lactobacillus casei, Bacillus cereus, Aeromonas, Phaeocystis antarctica, Pseudomonas proteolytica, Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus indicus, Bacillus cecembensis, Enterobacter cloacae, Geobacter, Arthrobacter gangotriensis, y Shewanella oneidensis. Se ha adoptado la síntesis bacteriana de nanopartículas debido a la relativa facilidad de manipulación de las bacterias.	(Singh et al., 2018)
Hongos	La biosíntesis de nanopartículas de metal / óxido de metal mediada por hongos también es un proceso muy eficiente para la generación de nanopartículas monodispersas con morfologías bien definidas. Actúan como mejores agentes	(Singh et al., 2018)

	<p>biológicos para la preparación de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos, debido a la presencia de una variedad de enzimas intracelulares.</p> <p>El mecanismo probable para la formación de las nanopartículas metálicas es la reducción enzimática (reductasa) en la pared celular o dentro de la célula fúngica. <i>Aspergillus niger</i>, <i>Aspergillus fumigatus</i>, <i>Aspergillus flavus</i>, <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>, <i>Fusarium semitectum</i>, <i>Phaenerochaete chrysosporium</i> y <i>Verticillium</i>, de hongos que se utilizan para sintetizar nanopartículas de metal / óxido de metal como plata, oro, dióxido de titanio y óxido de zinc</p>	
Algas	<p>Las algas son plantas simples; sin embargo, carecen de muchos órganos y estructuras distintos que caracterizan a las plantas terrestres. Algunas algas son microscópicas y pueden flotar en aguas superficiales debido a su contenido de lípidos, mientras que otras son macroscópicas y se adhieren a rocas u otras estructuras. Las algas marinas pardas, mostraron potencial para sintetizar nanopartículas de Au extracelularmente en el tamaño rango de 8–12 nm. Otras algas pardas como <i>Turbinaria conoides</i>, algas verdes y algas rojas también investigadas para formación de nanopartículas. Pocos investigadores destacaron la participación de biosorción seguida de biorreducción en la síntesis de nanopartículas por algas marinas.</p>	(Agarwal et al., 2017)
Plantas	<p>Las plantas tienen el potencial de acumular ciertas cantidades. De metales pesados en sus diversas partes. Como consecuencia, Las técnicas de biosíntesis que emplean extractos de plantas han ganado mayor consideración como un simple, eficiente, métodos rentables y factibles, así como un excelente medio alternativo a los métodos de preparación convencionales para la producción de nanopartículas. Hay varias plantas que se pueden utilizar para reducir y estabilizar las nanopartículas metálicas en el proceso de síntesis, Las plantas tienen biomoléculas (como carbohidratos, proteínas y coenzimas) con un potencial ejemplar para reducir la sal metálica en nanopartículas.</p>	(Singh et al., 2018)

Se están desarrollando numerosos métodos de síntesis para mejorar las propiedades y reducir los costos de producción, algunos se modifican para lograr nanopartículas específicas y aumentar sus propiedades ópticas, mecánicas, físicas y químicas (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Las ventajas del enfoque biológico sobre los métodos físicos y químicos tradicionales incluyen eficacia del proceso para catalizar reacciones en medios acuosos a temperatura y presión estándar, así como flexibilidad del proceso ya que se puede implementar en casi cualquier entorno y a cualquier escala (Vijayaraghavan & Ashokkumar, 2017).

Las ventajas de la biosíntesis mediada por plantas sobre otros biomateriales incluyen

- Fácil disponibilidad
- Seguro de manejar
- Económico
- Proceso simple de un paso
- Compuesto por varios metabolitos que pueden ayudar a reducir
- Eliminación del elaborado mantenimiento de cultivos celulares.
- Velocidad de síntesis rápida
- Más respetuoso con el medio ambiente
- Nanopartículas más estables
- Mejor control sobre el tamaño y la forma de las nanopartículas
- Adecuado para síntesis a gran escala

Debido a estas ventajas, varios investigadores se propusieron explorar diferentes especies de plantas por su potencial para sintetizar nanopartículas. Por lo tanto, la presente revisión se centra específicamente en la biosíntesis mediada por plantas de nanopartículas de metales y óxidos metálicos y sus características.

1.5.5 Síntesis verde usando plantas

Partes de plantas como hojas, tallos, raíces, frutos y semillas se han utilizado para la síntesis de nanopartículas (NP) debido a los fitoquímicos exclusivos que producen. El uso de extractos naturales de partes de plantas es un proceso económico y muy ecológico y no implica el uso de ningún grupo base intermedio. Lleva mucho menos tiempo, no implica el uso de equipos costosos ni precursores y proporciona un producto altamente puro y enriquecido en cantidad, libre de impurezas. Las plantas son la fuente más preferida de síntesis de NP porque conducen a la producción a gran escala y la producción de NP estable, variada en forma y tamaño (Agarwal et al., 2017).

La biorreducción implica la reducción de iones metálicos u óxidos metálicos a NP de metal de valencia 0 con la ayuda de fitoquímicos como polisacáridos, compuestos polifenólicos, vitaminas, aminoácidos, alcaloides, terpenoides secretados por la planta. El método de la planta se lava a fondo con agua corriente del grifo y se esteriliza con agua bidestilada, luego, más comúnmente aplicado para la preparación simple de NP a partir de hojas o flores es donde la parte de la planta se guarda para secar a temperatura ambiente, se pesa y se tritura con un mortero. Se agrega Milli-Q H₂O a la parte de la planta de acuerdo con la concentración deseada y la mezcla se hierve bajo agitación continua usando un agitador magnético. La solución se filtra con papel de filtro Whatman y la solución obtenida se utiliza como extracto vegetal (muestra). Se mezcla cierto volumen del extracto con la sal metálica y la mezcla se hierve a la temperatura y tiempo deseados para lograr una mezcla eficiente. Algunos realizan la optimización en este punto usando diferentes temperaturas, pH, concentración de extracto y tiempo. El período de incubación da como resultado un cambio de color de la mezcla que es una confirmación visual de los NP sintetizados (Agarwal et al., 2017).

Polifenoles

Se llaman así al grupo de compuestos químicos formados por uno o más grupos fenoles en su estructura molecular. Son generalmente encontrados en las plantas y alimentos derivados de ellas. Se clasifican en taninos hidrolizables, taninos condensados, fenilpropanoides y flavonoides, siendo estos últimos el subgrupo más amplio de polifenoles (Carrillo-inungaray et al., 2018).

Flavonoides

Del latín *flavus* que significa amarillo por su característico color de cada uno de estos, son el subgrupo más amplio de polifenoles y son solubles en agua. Tienen características medicinales de ser sustancias antimicrobianas y anticancerígenas; tienen una función importante como agentes reductores de inhibir la fotooxidación de las plantas frente a largos periodos de exposición a la luz solar, lo que provoca destrucción de pigmentos convertidores de energía como la clorofila de las hojas de las plantas. Son utilizados últimamente en la síntesis de nanopartículas debido a que pueden actuar como agentes reductores de plata Ag^{1+} a Ag^0 y también pueden actuar como agentes estabilizantes (Carrillo-inungaray et al., 2018).

Quercitina

La quercitina o quercitina, con fórmula química de $C_{15}H_{10}O_7$ y nombre IUPAC de 2-(3,4-dihidroxifenil)-3, 5,7-trihidroxi-4H-1,4-benzopiran-4-ona es un flavonoide que se presenta en altas concentraciones en frutas y verduras. Es el flavonoide más abundante en la dieta del ser humano. Posee un color amarillo cristalino y como todo agente reductor o antioxidante tiene la función de prevenir la oxidación de otras moléculas mediante su capacidad para ceder electrones a estas moléculas llamadas oxidantes como lo muestra la figura 5 (Carrillo-inungaray et al., 2018).

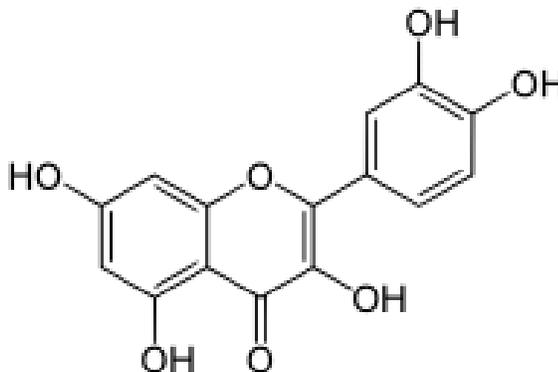


Figura 5. Estructura química de la quercitina (imagen recuperada de google, 2021)

Terpenoides

Los terpenoides (también conocidos como isoprenoides) pertenecen a la subclase de pren lípidos (terpenos), que representan el grupo más grande de productos moleculares pequeños sintetizados por las plantas. Los terpenoides contribuyen al olor, sabor y color de algunas plantas. Los terpenoides en la hoja de geranio pueden ser responsable de la síntesis de nanopartículas. La corteza de *C. zeylanium* es rica en terpenoides, incluidos linalol, eugenol y metil chavicol, que contribuyen a su distintivo aroma. Fue sugerido por Singh et al. (2010) que el eugenol es capaz de liberar un protón a través de su grupo -OH y se transforma a su forma aniónica Pei et al., (2012).

Azúcares reductores

Los azúcares reductores como las monosas, dioses y oligosas son polioles con grupos aldehídos o cetónicos disociados. La capacidad de diferentes azúcares como agentes reductores para la síntesis de nanopartículas metálicas fue demostrada por Panigrahi et al. (2004). Su estudio muestra que se pueden producir nanopartículas de tamaño uniforme si se usa fructosa, mientras que se generan partículas de tamaño variable si se usa glucosa y sacarosa (Pei et al., 2012).

Ácidos orgánicos y metabolitos secundarios de los sistemas de la planta

Las plantas pueden sintetizar una variedad de metabolitos al exponerse a metales. Se acumularon estos metabolitos, particularmente aminoácidos como prolina e histidina, péptidos como glutatión y fitoquelatinas, y aminas como espermina, espermidina, putrescina, nicotianamina y ácidos mugineicos. A concentraciones en el rango milimolar. El contenido de alcaloides y metabolitos secundarios también podría funcionar como agentes reductores para la biosíntesis de nanopartículas metálicas (Pei et al., 2012).

Nanocatalizadores

Los nanocatalizadores como metales semiconductores, metales de valencia cero y nanopartículas bimetálicas, son utilizadas considerablemente en el tratamiento de agua por su relación superficie – masa anormalmente alta, y características dependientes de la forma, así como su capacidad de aumentar la función catalítica de la superficie. Los nanocatalizadores de plata son NP altamente eficientes para la eliminación de contaminantes microbianos presentes en el agua y las Nanopartículas de TiO₂ evidencian una actividad fotocatalítica excepcional, menor toxicidad humana, hidrofilia, menor rentabilidad y mayor estabilidad química (Patanjali et al., 2019).

Nanopartículas de hierro y zinc en la remediación de contaminantes

Las nanopartículas de óxido de hierro se pueden utilizar para eliminar residuos tóxicos, ya que el óxido de hierro a granel puede actuar como agente reductor y descomponer varios productos químicos tóxicos y compuestos en soluciones acuosas. Como se mencionó anteriormente, debido a la gran área de superficie, las nanopartículas son más eficientes en los tratamientos de aguas residuales. El tamaño de una nanopartícula es más pequeña que las células bacterianas (1000 nm), este es un elemento clave para que las nanopartículas puedan ser herramienta en el tratamiento de purificación de aguas. Las

nanopartículas pueden unirse a una matriz sólida como arcillas naturales, residuos de cultivos, carbón activado o zeolita, para mayor eficiencia en tratamientos convencionales (Patanjali et al., 2019).

La remediación de aguas contaminadas, ha sido una de las mayores preocupantes de hoy en día, ya que estos pueden traer severos efectos secundarios en la flora, fauna y en los seres humanos. Existen múltiples técnicas de remediación, de las que cabe destacar la adsorción y fotocatalisis, ya que éstas han demostrado altos grados de eficiencia tanto por separado como en conjunto y los materiales que emplean son fáciles de obtener y económicos. Se han realizado pruebas de fotocatalisis con nanopartículas de óxido de Zinc y adsorción con carbono activado, tanto en conjunto como en separado, También se busca obtener las principales características para lograr mejorar los procesos de fotocatalisis y adsorción, optimizando recursos. Los resultados obtenidos con este método se han mostrado alentadores ante la posibilidad de remediación del agua contaminada, con compuestos como colorantes y antibióticos (Patanjali et al., 2019).

Capítulo II.



Revisión de Literatura

2 Capítulo II. Revisión de Literatura

2.1 Otros Metales

En la **tabla 4** se puede observar las condiciones de operación que trabajaron diversos autores para la obtención de nanopartículas de diferentes metales, cada autor reportó la forma, tamaño y longitud de onda encontrada de acuerdo con el análisis de espectrofotometría UV-vis.

Tabla 4 Condiciones de operación óptimas para la obtención de diferentes nanopartículas metálicas (elaboración propia, 2021).

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Ag	<i>Artemisia annua</i> L.	hoja	pH= 7 a 9 Sal precursora= AgNO₃ Concentración= 1 mM Infusión= 5 g de polvo de hojas en 100 mL de agua triple destilada Relación V:V= 1:1 Temperatura = 40 - 60 °C	Forma= Esférica. Tamaño= ND λ Plasmón superficial= 410 nm	(Aghajanyan et al., 2020)
Ag	<i>Commiphora myrrha</i>	hoja	pH= ND Sal precursora= AgNO₃ Concentración = 1 M Infusión= 10 g de polvo de hoja con 200 mL de agua triple desionizada Relación V: V= 1:1 Temperatura= 65° C	Forma: Esférica con poca aglomeración Tamaño: 22 nm λ Plasmón superficial: 445 nm	(Alwhibi et al., 2020)

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Cu	<i>Azadirachta indica</i>	hojas	pH = 6.6 Sal precursora = CuCl₂ Concentración = 7.5 x 10³ M Infusión= 20 g de pequeños trozos de hojas con 100 mL de agua desionizada Relación V: V= 2:1 Temperatura = 85°C	Forma: Cúbica Tamaño: 48 nm λ Plasmón superficial: 560 nm	(Nagar & Devra, 2018)
Au	<i>Vitis vinifera</i> L.	hojas	pH = ND Sal precursora = HAuCl₄ * 4H₂O Concentración = 0.1 nM Infusión = 25 g de hoja con 100 mL de agua destilada Relación V: V= 1:1 Temperatura = 50°C	Forma= Polígono, incluyendo esférico, triangular y hexagonal. Tamaño: 47.2 nm λ Plasmón superficial: 557 nm	(Dzimitrowicz et al., 2018)
Ag	<i>Salvia officinalis</i>	hojas	pH = 7 Sal precursora = AgNO₃ Concentración = 0.01 M Infusión= 5 g de los trozos de hojas se sumergieron en 200 mL de agua desionizada. Relación V: V = 1:1 Temperatura = 30 °C	Forma: Cuasi esféricas Tamaño: 40 nm λ Plasmón superficial: 446nm	(Albeladi et al., 2020)
Se	<i>Cassia auriculata</i>	hojas	pH= ND Sal precursora= Na₂SeO₃ Concentración= 10 mM Infusión= 5 g de hoja en polvo de hojas en 100 mL de agua bidestilada. Relación V: V= 2.1 Temperatura= 37 °C	Forma: Cristalina amorfa Tamaño: 10 y 20 nm λ Plasmón superficial: 252 nm	(Anu et al., 2020)

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Cu	té verde y negro	hojas	pH= 5.16 Sal precursora= CuSO₄ Concentración = 1 mM Infusión: 10 g de hojas de té con 100 mL Relación V: V= 4: 1 Temperatura = 37 °C	Forma: Esférica Tamaño: 26 a 40 nm λ Plasmón superficial: 362 nm	(Asghar et al., 2018)
Ag	té verde y negro	hojas	pH = 7 Sal precursora = AgNO₃ Concentración: = 1 mM Infusión: 10 g de hojas de té con 100 mL Relación V: V = 9:1 Temperatura: = 37 °C	Forma: Esférica Tamaño: 10 a 20 nm λ Plasmón superficial: 425 nm	(Asghar et al., 2018)

La realización de la tabla 4 se hizo con el fin de conocer la metodología con la que distintos autores trabajaron y analizaron la obtención de nanopartículas con distintos metales y plantas de los cuales se describe la cantidad exacta, se puede observar en la tabla 4 que el órgano vegetal más utilizado son las hojas las cuales son molidas en la mayoría de los casos se reporta el uso de polvo de hojas para la preparación de la infusión. Cada uno de los procesos realizados por distintos autores dan a conocer las diferentes parámetros con los que se trabajó, se puede observar que en los casos que reportan el pH este es superior a 5, mientras que la temperatura varía en un rango de 30 – 85 °C dependiendo del metal que se trate, por ejemplo en el caso de la plata todos los artículos concuerdan en una temperatura mayor a 35 °C pero inferior a 70°C.

2.2 Óxidos de Hierro

En la **tabla 5** se puede observar condiciones de operación en las que algunos investigadores trabajaron con el hierro (Fe) para la obtención de nanopartículas, los autores reportan planta utilizada, condiciones experimentales, forma, tamaño y longitud de onda de máxima absorbancia de acuerdo con el análisis de espectrofotometría UV-Visible.

Tabla 5. Condiciones de operación para la obtención de nanopartículas de Fe (elaboración propia).

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Fe	mango, rosa, neem, semillas de carambola y yemas de clavo	(hojas, brotes y semillas)	pH = ND Sal precursora = $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Concentración = 0.01 M Infusión: 25 g de (hojas de mango, rosa, neem, semillas de carambola) y 4.16 g se mezclan con 50-100 mL de agua destilada. Relación V: V= 1:1 Temperatura= 60 - 70°C	Forma: crystalina Tamaño: 12 nm a 28 nm λ Plasmón superficial: 320 a 325 nm	(Afsheen et al., 2018)
Fe	té verde (<i>Camellia sinensis</i>)	hojas	pH = ND Sal precursora= H_2SO_4 Concentración= 0.1 M Infusión: 5 g en 80 mL Relación V: V= 1: 1 Temperatura: 80° C	Forma: Cuasi esféricas Tamaño: 25 nm λ Plasmón superficial: 610 nm	(De León-Condés et al., 2019)
Fe	té verde y negro	hojas	pH = 5.16 Sal precursora= FeCl_3 Concentración: = 1 mM Infusión: 10 g de hojas de té con 100 mL de DI-H₂O Relación V: V= 4: 1 Temperatura: 37°C	Forma: Esférica Tamaño: 42 a 60 nm λ Plasmón superficial: 362 y 425 nm	(Asgar et al., 2018)

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Fe	<i>Ruellia tuberosa (RT)</i>	hoja	pH = ND Sal precursora: FeSO₄ Concentración= 1 M Infusión: 5 g de hojas, se picaron y se hirvieron en 100 mL de agua desionizada Relación V: V= 1:1 Temperatura = 165.52 °C	Forma: Nanovarillas hexagonales con aglomeración Tamaño: 52.78 nm λ Plasmón superficial: 405 nm	(Vasantharaj et al., 2019)
Fe	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	semilla	pH = ND Sal precursora = FeCl₃ * 6H₂O Concentración = 0.01 M Infusión: 20.0 mg en 50.0 mL de agua bidestilada Relación V: V= 2:1 Temperatura = 30° C	Forma: cúbica central Tamaño: 14 nm λ Plasmón superficial: 464 nm	(Radini et al., 2018)
Fe	<i>corteza de Ulmus davidiana</i>	corteza	pH = ND Sal precursora: Fe₂O₃ Concentración: 0.25 mM Infusión: Se agregaron 5 g de corteza en polvo a 200 mL de agua Milli-Q desionizada Relación V: V = 1:1 Temperatura: 60° C	Forma: Esférica Tamaño: 50 nm λ Plasmón superficial: ND	(Mishra et al., 2015)
Fe	<i>E. crassipes</i>	hoja	pH = ND Sal precursora = FeSO₄ Concentración= 0.1 M Infusión= 5g de hojas con 100 mL de agua destilada Relación V: V= 1:1 Temperatura= 37 °C	Forma: Esférica Tamaño: 23.3 ± 1 nm λ Plasmón superficial: 402 y 415 nm	(Jagathesan & Rajiv, 2018)

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Fe	<i>extracto de cáscara de plátano</i>	cáscaras de plátano	pH: ND Sal precursora= FeCl₃ * 6H₂O Concentración: 1.0 M Infusión: 250 mL de agua desionizada, se añadieron 80 g de cáscara de plátano molida Relación V: V= 1:1 Temperatura: 25 y 50 °C	Forma: Cilíndricas Tamaño: 70.0 ± 0.4 nm λ Plasmón superficial: 440 nm	(Ohemeng et al., 2020)

La realización de la tabla 5 se hizo con el fin de conocer la metodología con la que distintos autores trabajaron y analizar la obtención de nanopartículas de hierro (Fe) con diferentes plantas de las cuales se describe la cantidad exacta que se ocupó se puede observar en la tabla 5 el órgano vegetal más utilizado son las hojas las cuales se muelen pues en la mayoría de los casos se reporta el uso de polvo de hojas para la preparación de la infusión. Cada uno de estos procesos realizados por distintos autores dan a conocer las diferentes parámetros con los que se trabajó, se puede observar que en la mayoría de los casos no se reporta el pH, mientras que la temperatura varia en un rango de 25 – 170 °C, mientras que su relación V: V por lo general trabajan 1:1 esto quiere decir que es más estable la formación de nanopartículas.

2.3 Óxidos de Zinc

En la **tabla 6** se puede observar las condiciones de operación con las que varios investigadores trabajaron con el zinc (Zn) para la obtención de nanopartículas, los autores reportan además la forma, tamaño y longitud de onda de máxima absorbancia de acuerdo con el análisis de espectrofotometría UV-Visible.

Tabla 6. Condiciones de operación para la obtención de nanopartículas de Zn (elaboración propia)

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Zn	<i>Costuslgneus</i>	Hojas	pH = ND Sal precursora = $Zn(NO_3)_2$ Concentración = NR Infusión= 3 g de polvo de hojas en 200 mL de agua destilada Relación V: V = 2:1 Temperatura= 200 ° C	Forma: Esférica Tamaño: 28 nm λ Plasmón superficial: 212 nm	(Chinnasamy et al., 2018)
Zn	<i>Nyctanthes arbor-tristis</i>	Flores	pH= 9 a 12 Sal precursora = $ZnC_4H_6O_4$ Concentración: 0.02 M Infusión: 10 g de polvo en 100 mL de agua destilada. Relación V: V= 1:1 Temperatura: 90° C	Forma: agregados Tamaño: 16,58 nm λ Plasmón superficial: 369 nm	(Jamdagni et al., 2018)
Zn	<i>Delonix. regia</i>	Hojas	pH: ND Sal precursora= $Zn(NO_3)_2 * 6H_2O$ Concentración= 0.1 M Infusión= 2 g de extracto de hoja en 10 mL de agua destilada Relación V: V= 1:1 Temperatura= 70 ° C	Forma: Hexagonal Tamaño: 20 nm. λ Plasmón superficial: 312 nm	(Shabaaz Begum et al., 2020)
Zn	<i>Scutellaria baicalensis</i>	Raíces	pH= ND Sal precursora= $Zn(NO_3)_2 * 6H_2O$ Concentración= 0.1 mM Infusión= 10 g de polvo de hoja en 100mL de agua destilada Relación V: V= 1:1 Temperatura= 150 °C	Forma: Esféricas e irregulares Tamaño: 67.38 nm λ Plasmón superficial: 517 nm	(Tetty & Shin, 2019)

Metal	Planta utilizada	Órgano	Condiciones de operación	Características de las NPs	Autor
Zn	<i>cáscaras de limones, naranjas, pomelos y tomates</i>	Cascaras	pH= ND Sal precursora= Zn(NO₃)₂ * 6H₂O Concentración= NR Infusión= 1g de cada uno de las cascaras de los frutos en 50 mL de agua desionizada Relación V: V= 1:1 Temperatura= 60° C	Forma: Hexagonal Tamaño: 19.66 nm λ Plasmón superficial: 400 nm	(Nava et al., 2017)
Zn	<i>Atalantia monophylla</i>	hoja	pH= ND Sal precursora= Zn(O₂CCH₃)₂(H₂O)₂ Concentración= 0.1 M Infusión= 10g de polvo de hoja en 100ml de agua destilada Relación V: V = 1:1 Temperatura= 60 °C	Forma: Esférica Tamaño: 9,6 a 25,5 nm λ Plasmón superficial: 352 nm	(Vijayakumar et al., 2018)
Zn	<i>P. caerulea</i> L.	Hoja	pH= ND Sal precursora= Zn(O₂CCH₃)₂(H₂O)₂ Concentración= 1 mM Infusión= 5 g de hojas con 100 mL de Milli-Q. Relación V: V= 1:2 Temperatura= 80 °C	Forma: Esférica Tamaño: 30–50 nm λ Plasmón superficial: 380 nm	(Santhoshkumar et al., 2017)
Zn	<i>E. globulus</i>	Hoja	pH: ND Sal precursora= Zn (NO₃)₂ * 6H₂O Concentración: 0.1 M Infusión: 20 g de polvo de hojas a 100 mL de agua desionizada Relación V: V= 1:1 Temperatura= 80°C	Forma= hexagonal Tamaño= 11.6 nm λ Plasmón superficial= 361 nm	(Siripireddy & Mandal, 2017)

La realización de la tabla 6 se hizo con el fin de conocer la metodología con la que distintos autores trabajaron y analizaron la obtención de nanopartículas de zinc (Zn) con diferentes plantas de las cuales se describe la cantidad exacta que se ocupó se puede observar en la tabla 5 el órgano vegetal más utilizado son las hojas las cuales se muelen pues en la mayoría de los casos se reporta el uso de polvo de hojas para la preparación de la infusión. Cada uno de estos procesos realizados por distintos autores dan a conocer las diferentes parámetros con los que se trabajó, se puede observar que en la mayoría de los casos no se reporta el pH, mientras que la temperatura varía en un rango de 60 – 90°C, existen excepciones en donde trabajan rangos de temperatura más elevada como lo es en 400°C este tipo de temperatura hace referencia a que el proceso será llevado a calcinación por eso es que se ocupan altas temperaturas.

Capítulo III.



Metodología

3 Capítulo III. Metodología Propuesta

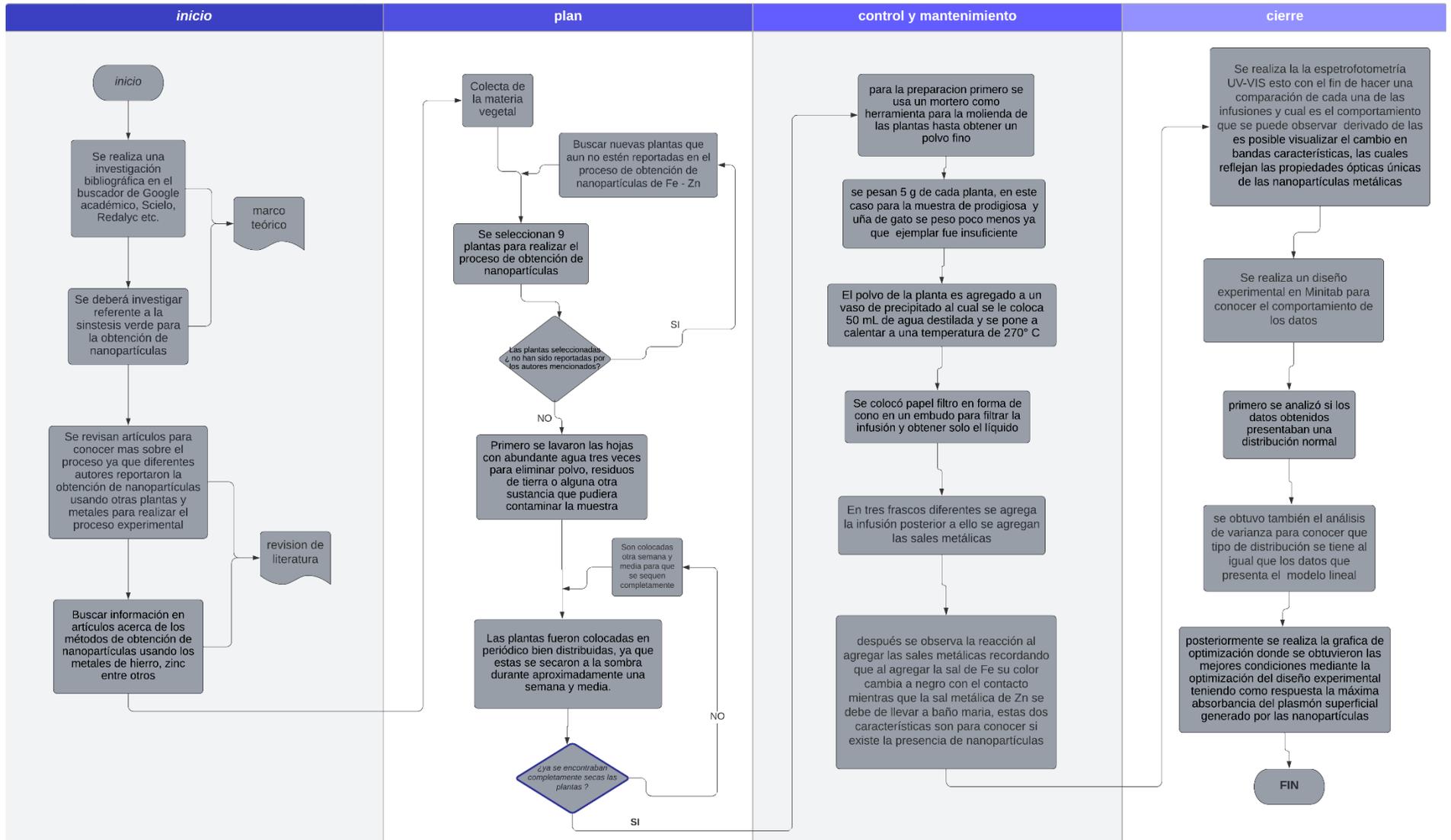


Figura 6. Diagrama de flujo con las fases de la metodología que se realizó en la presente investigación (Elaboración propia, 2021).

3.1 FASE I: Investigación bibliográfica

Se realizó una investigación bibliográfica en el buscador de Google académico, Scielo, Redalyc etc. Estos buscadores proporcionaron acceso a artículos de interés, usando palabras clave como manufactura verde, síntesis verde, obtención de nanopartículas a base de metales, biosíntesis, de esta forma se fueron encontrando artículos que ayudaron a la realización de la parte teórica así como también se revisó en los artículos los autores que ya habían trabajado con plantas para la obtención de nanopartículas y cuáles de ellas ya estaban reportadas para así trabajar con aquellas que aún no lo estuvieran y se pudiera obtener resultados diferentes a los ya reportados, este proceso ayudó a identificar 9 plantas para que estas fueran utilizadas, el trabajar con artículos o revistas especializadas dan una perspectiva diferente ya que estos mencionan resultados verídicos.

3.2 FASE II: Colecta de Materia Vegetal

En el proceso experimental lo primero que se realizó fue la colecta de las plantas, estas fueron recolectadas en el jardín de una casa situada en el pueblo de Coamilpa de Juárez perteneciente al municipio de Tianguistenco, Estado de México. Primero se lavaron las hojas con abundante agua tres veces para eliminar polvo, residuos de tierra o alguna otra sustancia que pudiera contaminar la muestra, posterior a ello las plantas fueron colocadas en un periódico bien distribuidas, ya que estas se secaron a la sombra durante aproximadamente una semana y media.



Figura 7. Proceso de secado de las plantas: **A**(*Brickellia cavanillesii*), **B**(*Artemisia absinthium*), **C**(*Ruta graveolens*), **D**(*Uncaria tomentosa*), **E**(*Ruta graveolens*), **F**(*Justicia spicigera*), **G**(*Artemisia absinthium*), **H**(*Origanum majorana.*), **I**(*Uncaria tomentosa*), **J**(*Brickellia cavanillesii*)

3.3 FASE III: Pruebas de reducción con el material vegetal colectado y las sales metálicas

Preparación de Infusiones

Para la preparación de las infusiones lo primero fue usar un mortero como herramienta para la molienda de las plantas hasta obtener un polvo fino como se muestra en la figura 7.

Después de tener todas las plantas molidas se ocupó la relación 1 g de polvo /10 mL de agua destilada por lo que se realizó el siguiente paso que es pesar 5g de cada planta, en este caso para la muestra de prodigiosa solo se pesaron 2 g pues el ejemplar fue insuficiente, lo mismo ocurrió para la muestra de la uña de gato de la cual solo se obtuvieron 1.8 g de polvo, posteriormente el polvo se adiciona a vaso de precipitados de 50 mL, se mide con una probeta 50 mL de agua destilada la cual se agrega al vaso de precipitando en donde ya se encuentra el polvo y se pone a calentar a una temperatura de 270° C, una vez que empieza la ebullición la temperatura se baja a 60° C y se cronometra un tiempo de 10 min dejándolo hervir en agitación constante. Para las dos plantas de las cuales se obtuvo poca cantidad de polvo se usaron 20 mL de agua destilada con una temperatura de 270° C una vez que estas empezaran a hervir solo se cronometro 5min.

Una vez que termina el tiempo, en otro vaso de precipitado se colocó papel filtro en forma de cono en un embudo para filtrar la infusión y obtener solo el líquido, una vez ya filtrado todo con ayuda de una pipeta y una perilla se distribuyó la infusión en tres diferentes frascos, en dos se agregaron 2 mL y en el tercero 4 mL de infusión.



Figura 8. Molienda de las plantas a utilizar en el proceso experimental



Figura 9. Polvo vegetal de cada planta a utilizar para preparar las infusiones, A) mejorana, B) muicle, C) ruda, D) ajeno, E) árnica, F) prodigiosa, G) uña de gato, H) cola de caballo, I) tomillo



Figura 10. Preparación de las infusiones colocadas en una parrilla dejándolas hervir para obtener su extracto.



Figura 11. Filtrado de la infusión para remover la biomasa vegetal.

Preparación de las Sales Metálicas (Fe y Zn)

Para la preparación de las sales metálicas lo primero que se debe de identificar es que tipo de sal se ocupará para cada una de ellas y la cantidad de concentración esto con el fin de que se pueda realizar la operación correspondiente de la cantidad de sal a utilizar para ello se realizó lo siguiente:

Nitrato de Zinc

Para la preparación de la solución de nitrato de zinc ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0.1 M, se identificaron algunos datos necesarios a partir de la información en la etiqueta del reactivo como lo son:

PM=297.49g

Pureza =99.1%

Volumen a preparar 50 mL = 0.05L

$$0.05\cancel{\text{L}} \left| \frac{0.1 \cancel{\text{mol}}}{\cancel{\text{L}}} \right| \left| \frac{297.49\text{g}}{\cancel{\text{mol}}} \right| \left| \frac{100\%}{99.1\%} \right| = 1.500958628\text{g}$$

Ecuación 1. Cantidad de sal de nitrato de zinc ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a utilizar

La sal fue pesada en una balanza analítica donde la cantidad a utilizar **ecuación 1** de nitrato de zinc fue de 1.5050 g esta sal se agregó en una matraz aforado de 50 mL, se aforo con agua destilada, se tapó y se agito para disolver la sal.

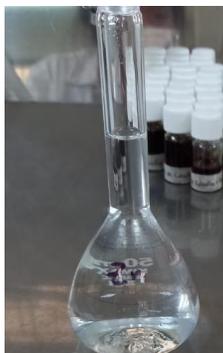


Figura 12. Solución de nitrato de zinc ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Posterior a ello se mide el pH de la solución salina del nitrato de zinc a temperatura ambiente.

Sulfato Ferroso

Para la preparación de la solución de sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a una concentración de 0.02 M, se identificaron algunos datos necesarios a partir de la información en la etiqueta del reactivo como lo son:

PM = 278.02 g

Pureza = 100%

Volumen a preparar 50mL = 0.05L

$$0.05\text{L} \left| \frac{0.02 \text{ mol}}{\text{L}} \right| \left| \frac{278.02 \text{ g}}{\text{mol}} \right| \left| \frac{100\%}{100\%} \right| = 0.27802 \text{ g} = 278.02 \text{ mg}$$

Ecuación 2. Cantidad de sal sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a utilizar

La sal fue pesada en una balanza analítica en donde la cantidad a utilizar **ecuación 2** de sulfato ferroso fue de 278.2 mg esta sal se agrega en una matraz aforado de 50 mL, se aforo, tapo y agito para disolver la sal.



Figura 13. Solución de sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Posterior a ello se mide el pH de la solución salina de sulfato ferroso a temperatura ambiente.

Reacción de Reducción

Para las reacciones de reducción se realizó lo siguiente, a los dos frascos previamente preparados con 2 mL de infusión se adicionaron otros 2 mL de solución FeSO_4 y de $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ respectivamente, las reacciones de reducción realizadas con la solución de FeSO_4 se realizaron a temperatura ambiente registrando los cambios de color observados, para el $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ una vez realizada la reacción de reducción se colocaron en baño maría a 80°C durante 40 min al final de lo cual se registraron los cambios observados.

3.4 FASE IV: Diseño experimental para determinar condiciones óptimas de obtención

En esta fase se utilizó el programa de Minitab Ver. 17.0 con el que se generó un diseño experimental para conocer las condiciones óptimas de producción de NPs, se propusieron como variables la temperatura, pH y relación volumen, con dos niveles para cada una (60 y 90°C ; 5 y 12 para pH; 1:1 y 2:1 rel. Volumen). El Diseño utilizado fue Box-Behnken con las características que muestra la tabla 7.

Tabla 7. Diseño de Box-Behnken obtenido con Minitab

Factores:	3	Réplicas:	1
Corridas base:	15	Total de corridas:	15
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Puntos centrales:	3		

Tabla de diseño

Corrida	Blq	A	B	C
1	1	-1	-1	0
2	1	1	-1	0
3	1	-1	1	0
4	1	1	1	0
5	1	-1	0	-1
6	1	1	0	-1
7	1	-1	0	1
8	1	1	0	1
9	1	0	-1	-1
10	1	0	1	-1
11	1	0	-1	1
12	1	0	1	1
13	1	0	0	0
14	1	0	0	0
15	1	0	0	0

En este diseño se muestra el número de corridas con el cual se trabajará con base a tres factores que son elementales para conocer las condiciones óptimas para la obtención de nanopartículas los cuales son temperatura y pH.

Posterior a ello se tiene que realizar el análisis UV- VIS este nos va a indicar la presencia o ausencia, así como intensidad del plasmón superficial generado por las NPs se monitoreo mediante Espectrofotometría UV-Vis con el espectrofotómetro HACH DR 5000.

Capítulo IV.



Resultados – Discusión

4 Capítulo IV. Resultados – Discusión

4.1 Fase I

En esta fase se realizó una investigación bibliográfica la cual se puede observar en el Capítulo II en las **Tablas 1, 2,3.**

4.2 Fase II

En esta fase se realizó la colecta de las plantas para este caso se tenían planeadas 12 de las cuales solo se pudo coleccionar 9 las cuales fueron *Ruta graveolens* (ruda), *Artemisia absinthium*. L (ajenjo), *Árnica Montana*. L (árnica), *Justicia spicigera*. Schltl (muicle), *Thymus vulgaris*. L (tomillo), *Uncaria tomentosa*. Willd DC (uña de gato), *Origanum majorana*. L (mejorana), *Brickellia cavanillesii*. (Cass.) A.Gray (prodigiosa) y *Esquisetum arvense*. L (cola de caballo), todas estas plantas fueron colectadas en el jardín ya que son de fácil de encontrar u obtener.

4.3 Fase III

En esta fase inicialmente se registró el pH como se muestra en la tabla 8, donde se comparó el pH de la infusión sola y combinada con la sal de Zn y Fe respectivamente. Como se sabe el pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Algunos estudios realizados por diferentes autores mencionan que una función importante de la reacción del pH es su capacidad para cambiar las cargas eléctricas de las biomoléculas, lo que podría afectar su capacidad de protección y estabilización y, posteriormente, el crecimiento de las nanopartículas. Nagar & Devra (2018) hacen mención que para lograr la formación de nanopartículas en diferentes formas se recomienda mantener un rango de pH particular, es decir que para lograr mantener una estabilidad en la obtención de nanopartículas a gran tamaño el pH recomendado es de 2 y para obtener nanopartículas pequeñas se recomienda trabajar con pH altos en un rango de 5-6. Por otro lado el trabajar con pH ácido provoca que no se formen NPs, lo que

indica que el pH ácido suprime la síntesis de NPs debido a que en condiciones ácidas, es probable que las biomoléculas se inactiven, por lo que la síntesis de NPs no podría ocurrir mencionado por Nagar & Devra (2018).

En la tabla 8 se puede observar que el pH de la infusión sola y las infusiones con las sales metálicas en algunas presenta una disminución mientras que en una de estas mezclas el pH aumenta esto dice que incremento de una unidad en la escala logarítmica.

Tabla 8. Comparación del pH en la fusión sola, combinada con Zn, y combinada con Fe (elaboración propia, 2021).

Infusion	pH		
	Infusion	Infusion + Zn	Infusion + Fe
<i>Ruta graveolens</i> (ruda)	5	4	4
<i>Artemisia absinthium</i> (ajenjo)	5	4	5
<i>Árnica Montana</i> (arnica)	6	5	6
<i>Justicia spicigera</i> (muicle)	13	5	Indeterminado
<i>Thymus vulgaris</i> (tomillo)	5	5	5.5
<i>Uncaria tomentosa</i> (uña de gato)	6	5	5
<i>Origanum majorana</i> (mejorana)	5	5	6
<i>Brickellia cavanillesii</i> (prodigiosa)	5	5	Indeterminado
<i>Esquisetum arvense</i> (cola de caballo)	5	5	5

En la tabla 8 y 9 se registraron las observaciones que presento la infusión al agregarle las sales metálicas mismas que presentan un cambio de color distinto en la infusión al agregarle la sal metálica cambia a un color café-amarillento esto es un indicativo que existe la presencia de nanopartículas de Zn en las primeras infusiones sin embargo, para obtener mejores resultado estas muestras son llevadas a baño maría a una temperatura de 80 ° C, mientras que las otras infusiones a las cual se les agregaría sal metálica de Fe su coloración cambió a color negro al contacto esto también reportado por Asghar et al., (2018), Ohemeng et al., (2020) y Vasantharaj et al., (2019), este cambio es indicativo que ocurrió la formación de nanopartículas.

Tabla 9. Observaciones de la infusión del extracto de las plantas y la infusión combinada con la sal metálica del Zn (elaboración propia, 2021).

NOMBRE COMUN	INFUSION + Zn	OBSERVACIONES	IMAGEN
Ruda	<i>Ruta graveolens</i> + Zn	Los componentes de la ruda se precipitaron antes de juntarse con la sal de Zn la fusión presentó un cambio de color de café claro a Amarillo	
Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono café claro turbio	
Arnica	<i>Arnica Montana</i> + Zn	La fusión presentó un cambio en el color el cual paso a café claro verdoso y al contacto con la solución se formó un coágulo y se hizo homogenizo	
Muicle	<i>Justicia spicigera</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono más claro	
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono color café claro tendencia a Amarillo	
Uña de gato	<i>Uncaria tomentosa</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono café amarilloso	

NOMBRE COMUN	INFUSION + Zn	OBSERVACIONES	IMAGEN
Mejorana	<i>Origanum majorana</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono café rojizo a café claro, pasando 5 min de reacción la mejorana empezó a sedimentar	
Prodigiosa	<i>Brickellia cavanillesii</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono rojizo claro con turbiedad	
Cola de caballo	<i>Esquisetum arvense</i> + Zn	La solución de reducción cambio a un tono café naranja	

En las reacciones del zinc se llevaron a baño maría a una temperatura de 80° C para poder afirmar la presencia de nanopartículas en cada una de las infusiones, hubo un caso que fue el de la mejorana que antes de ser llevada a baño maría la infusión empezó a sedimentar es decir que su reacción fue de manera inmediata por lo que está ya no se tuvo que llevar a baño maría puesto que ya estaba confirmada la presencia de nanopartículas.

Tabla 10. Observaciones de la infusión del extracto de las plantas y la infusión combinada con la sal metálica del Fe (elaboración propia, 2021).

NOMBRE COMUN	INFUSION + Fe	OBSERVACIONES	IMAGEN
Ruda	<i>Ruta graveolens</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono verdoso	

NOMBRE COMUN	INFUSION + Fe	OBSERVACIONES	IMAGEN
Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono café verdoso	
Arnica	<i>Árnica Montana</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono negro al contacto	
Muicle	<i>Justicia spicigera</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono negro al contacto	
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono negro al contacto	
Uña de gato	<i>Uncaria tomentosa</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono negro al contacto	
Mejorana	<i>Origanum majorana</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono negro al contacto	
Prodigiosa	<i>Brickellia cavanillesii</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono negro al contacto	

NOMBRE COMUN	INFUSION + Fe	OBSERVACIONES	IMAGEN
Cola de caballo	<i>Esquisetum arvense</i> + Fe	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro rojizo	

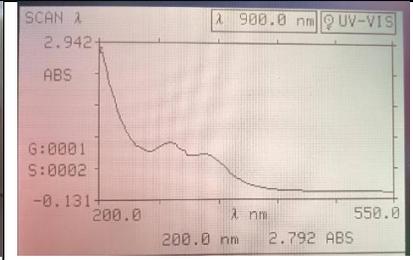
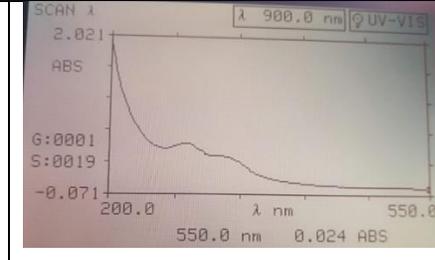
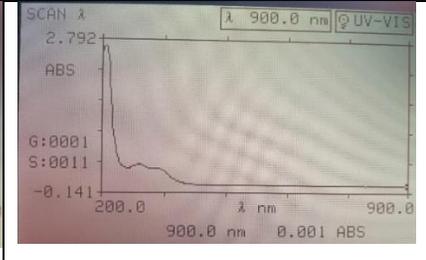
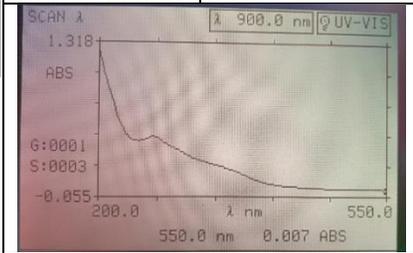
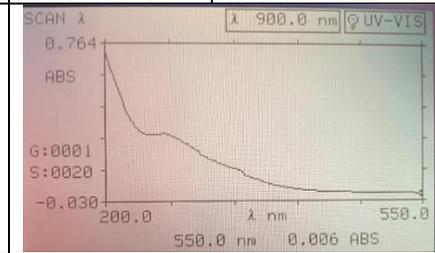
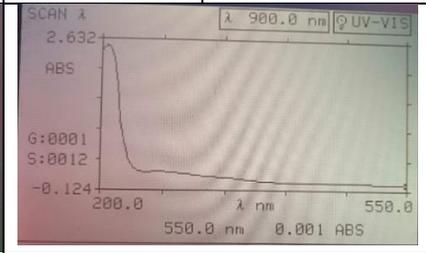
Todas las reacciones con Fe se hicieron a temperatura ambiente la reacción es al instante, una forma de demostrar que si hubo cambios al agregar la solución del Fe es que la infusión se vuelve negra al instante

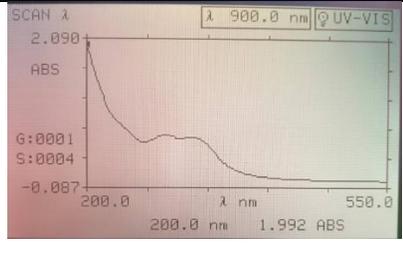
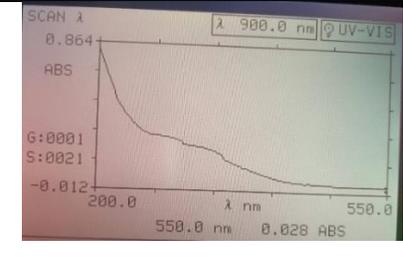
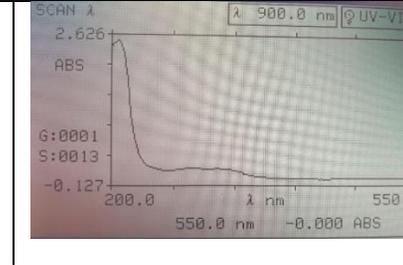
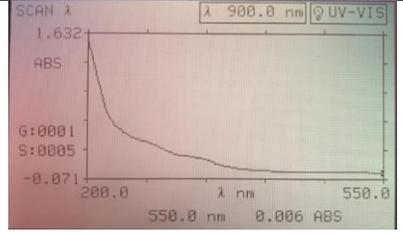
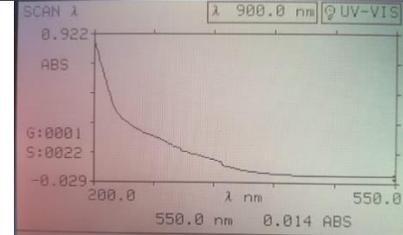
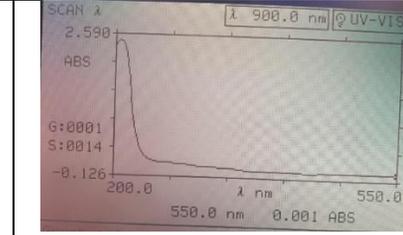
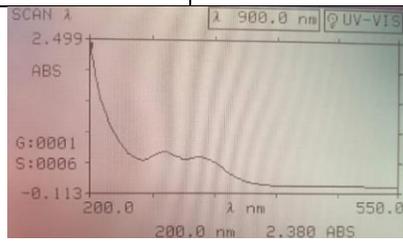
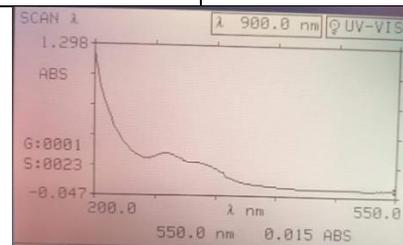
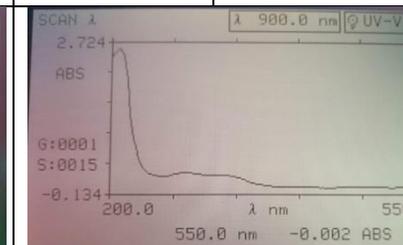
4.3.1 Análisis De Espectrofotometría De UV-Vis

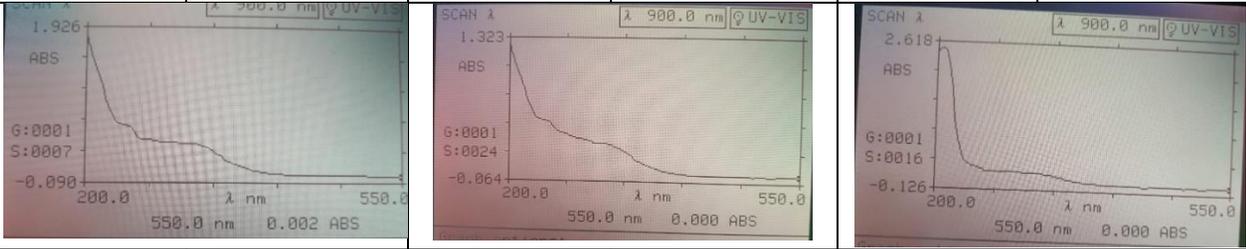
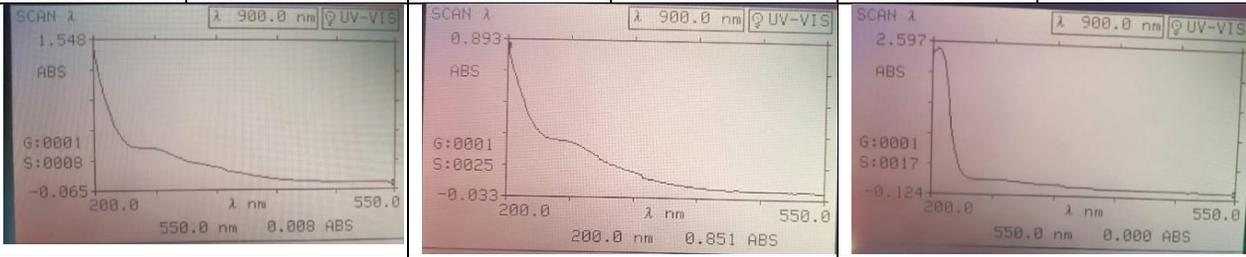
En la tabla 11 se mostró el análisis de espectrofotometría que presentó cada una de las infusiones en estas se compararon los resultados. Todos los espectros de las columnas A muestran la unión de agua destilada con la base biológica (infusión). En la columnas B se muestra cuando esta infusión, actúa como agente reductor y se agrega a una solución de hierro dando como resultado el espectro donde se visualiza bandas características de hierro como lo reportó De León- Condés et al., (2019). En la columnas C se muestra cuando esta infusión, que actúa como agente reductor se agrega a una solución de zinc dando como resultado el espectro donde se visualiza bandas características de zinc como lo reporto Chinnasamy et al., (2018).

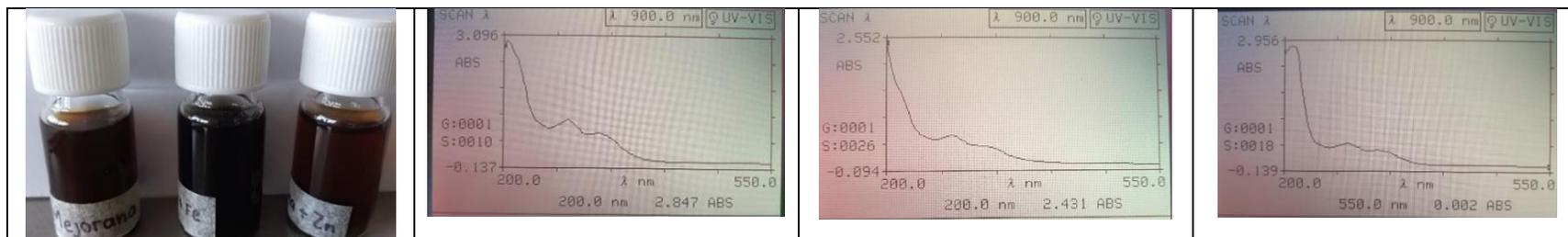
Tabla 11. Análisis de Espectrofotometría de Uv-Vis (elaboración propia, 2021).

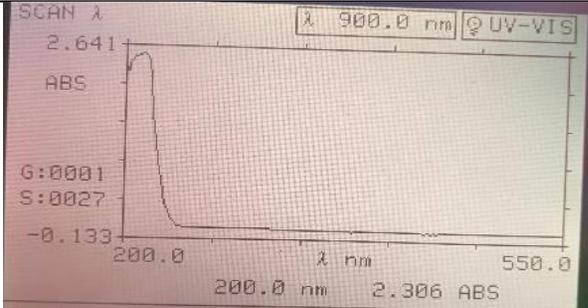
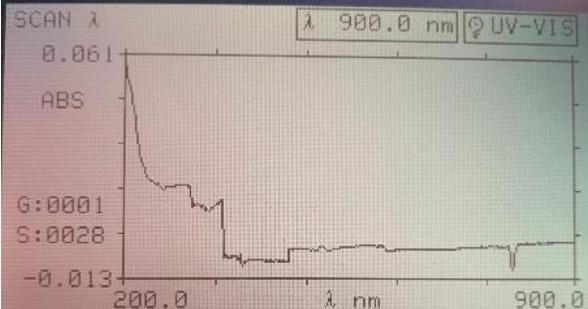
INFUSIÓN	Absorbancia máxima					
	A. Infusion		B. Fe		C. Zn	
	Longitud de onda	Absorbancia. máxima	Longitud de onda	Absorbancia. máxima	Longitud de onda	Absorbancia. máxima
<i>Brickellia cavanillesii</i> (Prodigiosa)	322	0.761	322	0.426	322	0.326
	282	0.997	282	0.598	282	0.410
	202	2.802	200	1.926	208	2.658

																											
<p><i>Equisetum arvense</i> (Cola de caballo)</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>266</td> <td>0.478</td> </tr> <tr> <td>202</td> <td>1.188</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	266	0.478	202	1.188	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>266</td> <td>0.310</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.728</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	266	0.310	200	0.728	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>266</td> <td>0.218</td> </tr> <tr> <td>206</td> <td>2.506</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	266	0.218	206	2.506						
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
266	0.478																										
202	1.188																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
266	0.310																										
200	0.728																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
266	0.218																										
206	2.506																										
																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.660</td> </tr> <tr> <td>290</td> <td>0.691</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>1.992</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.660	290	0.691	200	1.992	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.251</td> </tr> <tr> <td>290</td> <td>0.299</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.824</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.251	290	0.299	200	0.824	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.183</td> </tr> <tr> <td>290</td> <td>0.188</td> </tr> <tr> <td>208</td> <td>2.500</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.183	290	0.188	208	2.500
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.660																										
290	0.691																										
200	1.992																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.251																										
290	0.299																										
200	0.824																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.183																										
290	0.188																										
208	2.500																										
<p><i>Árnica Montana</i> (Arnica)</p>																											

																											
<p><i>Artemisia absinthium</i> (Ajenjo)</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.187</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>1.555</td> </tr> </tbody> </table> 	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.187	200	1.555	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.146</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.878</td> </tr> </tbody> </table> 	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.146	200	0.878	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.070</td> </tr> <tr> <td>206</td> <td>2.467</td> </tr> </tbody> </table> 	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.070	206	2.467						
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.187																										
200	1.555																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.146																										
200	0.878																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.070																										
206	2.467																										
<p><i>Thymus vulgaris</i> (Tomillo)</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.512</td> </tr> <tr> <td>282</td> <td>0.610</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>2.380</td> </tr> </tbody> </table> 	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.512	282	0.610	200	2.380	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.247</td> </tr> <tr> <td>282</td> <td>0.336</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>1.237</td> </tr> </tbody> </table> 	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.247	282	0.336	200	1.237	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud de onda</th> <th>Absorbancia. Máxima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>322</td> <td>0.232</td> </tr> <tr> <td>282</td> <td>0.275</td> </tr> <tr> <td>208</td> <td>2.594</td> </tr> </tbody> </table> 	Longitud de onda	Absorbancia. Máxima	322	0.232	282	0.275	208	2.594
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.512																										
282	0.610																										
200	2.380																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.247																										
282	0.336																										
200	1.237																										
Longitud de onda	Absorbancia. Máxima																										
322	0.232																										
282	0.275																										
208	2.594																										

<p><i>Ruta graveolens</i> (Ruda)</p> 	<p>Longitud de onda</p> <p>322 248 200</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.409 0.626 1.834</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>322 248 200</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.294 0.510 1.260</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>322 282 208</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.192 0.296 2.494</p>
						
<p><i>Uncaria tomentosa</i> (Uña de gato)</p> 	<p>Longitud de onda</p> <p>264 200</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.390 1.474</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>264 200</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.300 0.851</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>264 206</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.153 2.473</p>
						
<p><i>Origanum majorana</i> (Mejorana)</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>322 284 204</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.741 1.036 2.949</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>322 284 200</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.396 0.605 2.431</p>	<p>Longitud de onda</p> <p>322 284 208</p>	<p>Absorbancia. Máxima</p> <p>0.365 0.524 2.796</p>



INFUSION	LONGITUD DE ONDA	ABSORVANCIA MÁXIMA	IMAGEN
Espectro del Zn	214	2.515	
Espectro de Fe	200	0.058	

Por medio de los espectros UV-VIS de cada metal, es posible visualizar el cambio en bandas características, las cuales reflejan las propiedades ópticas únicas de las nanopartículas metálicas que permiten la interacción y la resonancia con la luz, lo que provoca la aparición de una banda característica de resonancia que se denomina plasmón superficial (Rónavári, 2021).

La aparición del plasmón es la confirmación que se obtuvo el tamaño nanométrico de cada metal en este caso Fe y Zn. En los espectros donde no aparece el plasmón, no existe el tamaño nanométrico, por lo tanto donde sí se visualiza el plasmón es la mejor opción, en este caso el resultado fue *Origanum majorana*. (Mejorana).

La capacidad de reducción es decir de obtener nanopartículas de metal que tiene la mejorana es debido a que contiene polifenoles el autor El-Moursi et al., (2018) realizó el estudio y confirma que los posee. Los polifenoles contienen grupos hidroxilo y ácido carboxílico que son los responsables de la reducción, tienen la propiedad de funcionar como agentes quelantes de iones metálicos catalizando la formación de NPs metálicas como lo reportan Marslin et al., (2018) y Vijayaraghavan & Ashokkumar, (2017).

En la figura 14 se muestra el procedimiento que se realizó para la obtención de nanopartículas utilizando las 9 plantas propuestas y con base en estas poder elegir con que planta era mejor trabajar para obtener mejores resultados.

Conclusión sobre que planta fue mejor

De acuerdo con el análisis de cambio de color de las reacciones de reducción, la planta que mejor respuesta presentó al contacto con las soluciones de las sales metálicas fue la (*Origanum majorana*) mejorana, debido a que al combinar la sal con la infusión del extracto de la hoja en el caso del zinc empezó a sedimentar sin necesidad de haber sido llevado a baño maría mientras que en caso del Fe cambio a color negro al contacto con la infusión lo cual es una de las primeras señales que indica que se está llevando a cabo una reducción y por lo tanto generación de NPs (Shigwenya et al., 2019).

Mediante el análisis de los espectros UV-vis se observó una mayor absorbancia en las longitudes de onda características de las NPs de Zn y de Fe relacionada a una mayor generación de NPs

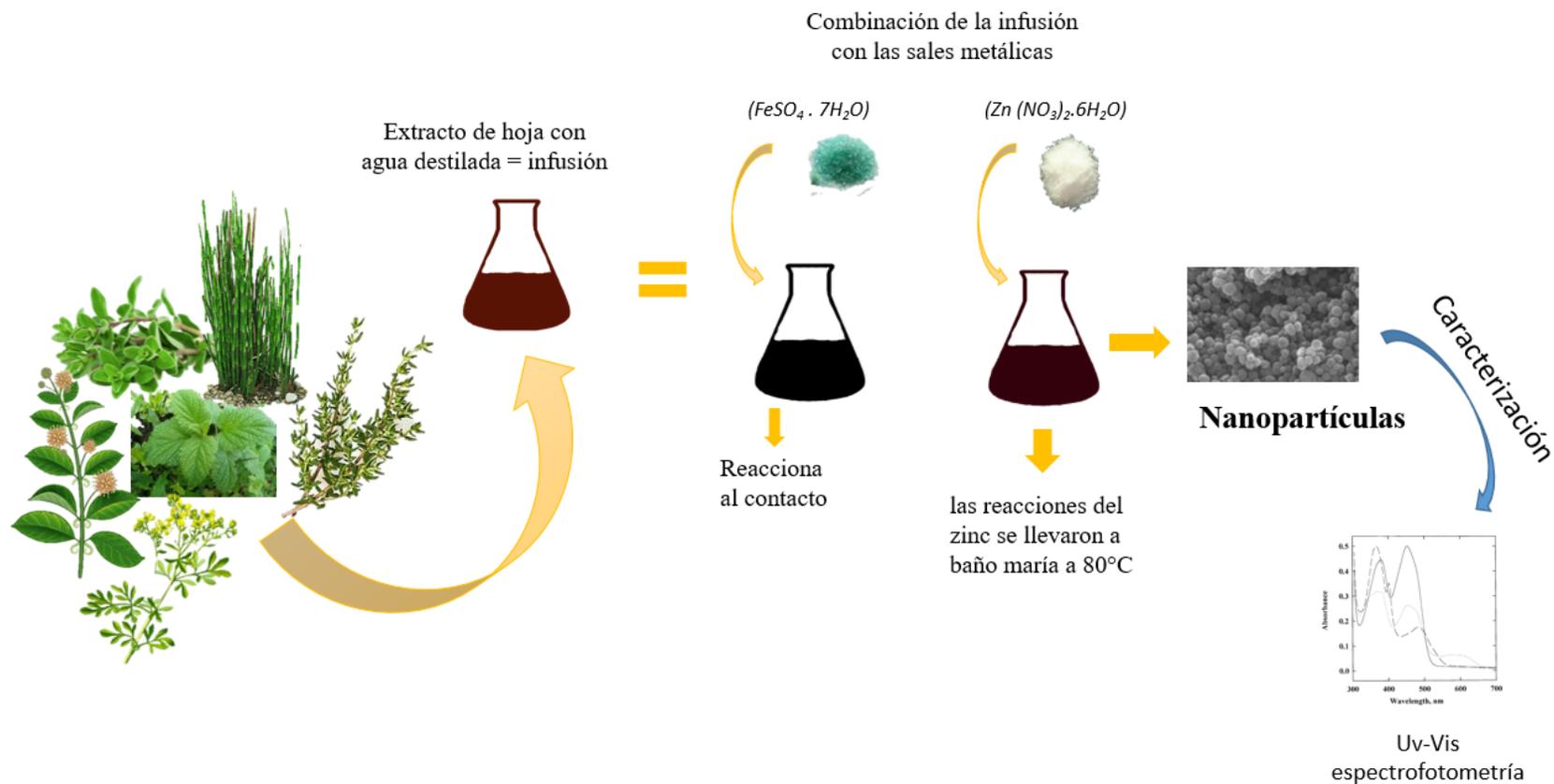


Figura 14. Diagrama del proceso de obtención de nanopartículas (Elaboración propia con imágenes de google, 202

4.4 Fase IV

Una vez identificada la mejorana como mejor planta se continuó con la realización del diseño experimental para obtener las condiciones óptimas de preparación de las NPs bimetálicas Fe-Zn.

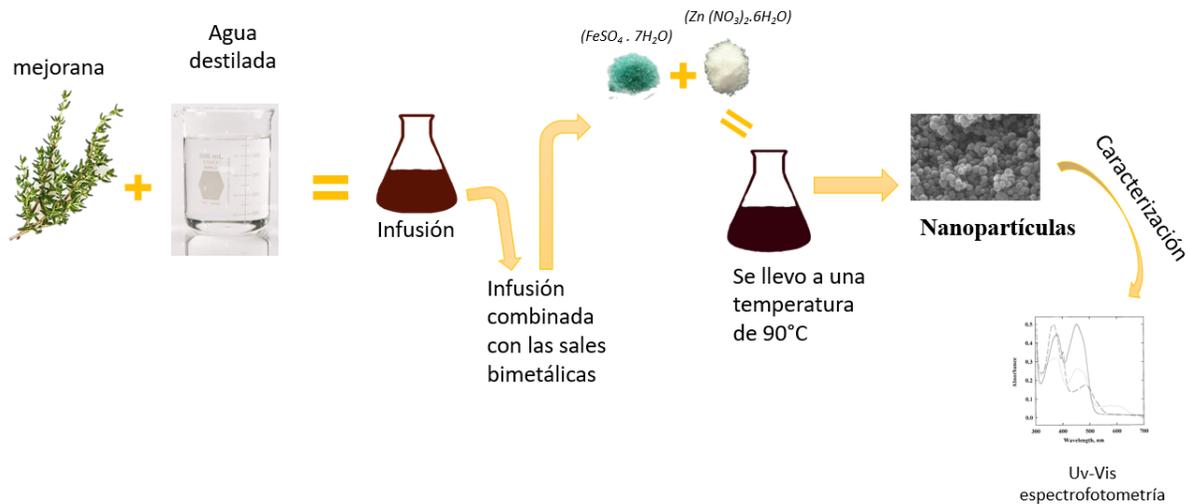


Figura 15. Proceso de obtención de nanopartículas con la mejorana y las sales bimetálicas (elaboración propia con imágenes de google, 2022).

Se preparó la infusión identificando la cantidad de extracto de las hojas se ocuparía, cantidad de agua destilada, concentración de las sales metálicas Zn 0.1M y Fe 0.02M, de nitrato de zinc ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) se pesó 1.5036 g y de sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.2783 g las sales se mezclaron en un matraz aforado de 50mL, se aforó con agua destilada se agitó posterior a ello se pesaron 15 g de polvo de *Origanum majorana* (Mejorana) en 150 mL de agua destilada fueron mezcladas y se calentaron a una temperatura de 280° C hasta hervir, una vez que ya está hirviendo se baja a la temperatura a 60° C y se cronometran 10 min para sacar la infusión de la parrilla y continuar con el proceso de filtrado una vez terminando de filtrar se coloca en vasos de precipitado donde se deja enfriar y posteriormente se midió el pH que fue de 5.58, se ajustó de acuerdo al diseño experimental y se ordenaron las corridas como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Corridas a realizar acomodado según su pH (elaboración propia, 2021)

Corrida	pH	Temperatura (°C)	Volumen V:V (mL)
1	5	60	1.5 = 6i:4m
3	5	90	1.5 = 6i:4m
5	5	75	1.0 = 4i:4m
7	5	75	2.0 =6i:3m
9	8.5	60	1.0 = 4i:4m
10	8.5	90	1.0 = 4i:4m
11	8.5	60	2.0 =6i:3m
12	8.5	90	2.0 =6i:3m
13	8.5	75	1.5 = 6i:4m
2	12	60	1.5 = 6i:4m
4	12	90	1.5 = 6i:4m
6	12	75	1.0 = 4i:4m
8	12	75	2.0 = 6i:3m

***i:** infusión; **m:** sales bimetálicas

El ajuste de pH se realizó en cada uno de los vasos de precipitado donde previamente se colocó cierta cantidad de infusión, los valores a ajustar fueron: 5, 8.5 y 12, para bajar el pH se ocupó ácido sulfúrico a una concentración de 4 M y para subir el pH se usó hidróxido de sodio a una concentración de 2 M las cuales se agregaron por gota, el resultado que se obtuvo para el primer pH fue de 5.02, para el segundo de 8.52 y el tercero de 11.90. También se midió el pH se las sales bimetálicas el cual se registró en 4.69

Posteriormente se adicionó en frascos la cantidad de infusión correspondiente a la relación V: V de cada una de las corridas observada en la tabla 12.

En la tabla 13 se registraron las observaciones de la reacción de reducción donde se combina la infusión con la solución bimetálica (Fe-Zn) donde estas se acomodaron de acuerdo con la temperatura a la cual fueron llevadas para la obtención de NPs.

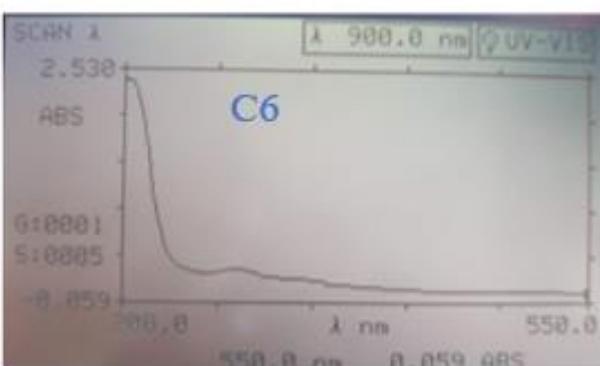
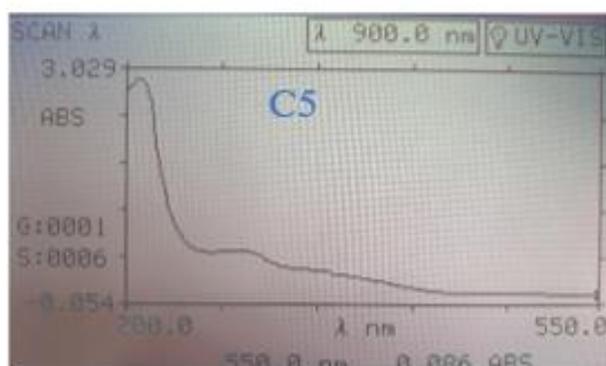
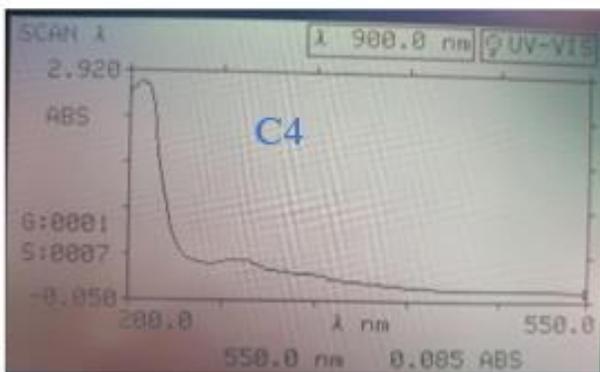
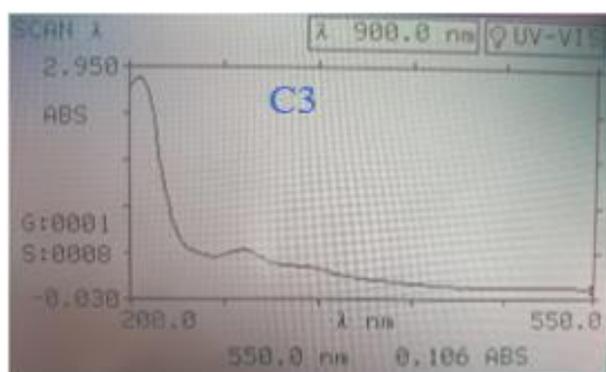
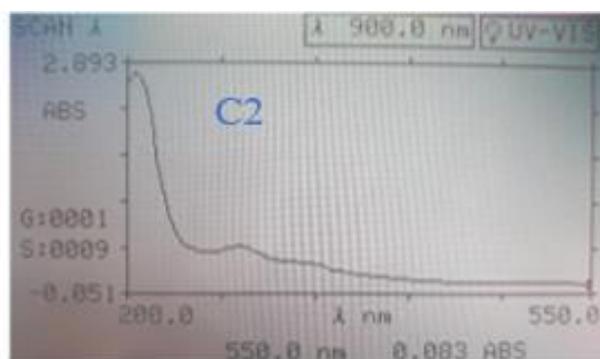
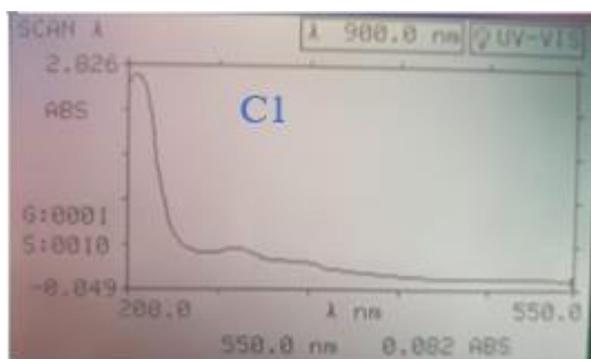
Tabla 13. Observaciones de la infusión combinada con las sales bimetálicas acomodadas conforme a su temperatura.

Corrida	Observaciones	Temperatura	Imagen
1	La solución de reducción cambio a un tono café al contacto	60	
9	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro con turbiedad	60	
11	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro con turbiedad	60	
2	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro con turbiedad	60	
5	La solución de reducción cambio a un tono café verdoso al contacto	75	 
7	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro	75	
13	La solución de reducción cambio a un tono café verdoso con turbiedad	75	
6	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro con turbiedad	75	
8	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro con turbiedad	75	
3	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro	90	

10	La solución de reducción cambio a un tono café verdoso con turbiedad	90	
12	La solución de reducción cambio a un tono café verdoso con turbiedad	90	
4	La solución de reducción cambio a un tono café oscuro con turbiedad	90	

Como conclusión se puede apreciar de forma visual la presencia de nanopartículas en cada una de las corridas en las cuales se ocupó las sales bimetálicas con el extracto de la mejorana, colocadas a diferentes temperaturas lo cual lleva a detectar que en la temperatura de 90° C se tiene mayor presencia de nanopartículas.

Aquí se muestran los espectros generados al combinar la infusión de la mejorana con las sales bimetálicas de Fe y Zn en donde se puede corroborar la presencia nanopartículas de estos metales las cuales se obtuvieron con diferentes temperaturas y pH esto con el fin de conocer si existía algún tipo de variación.



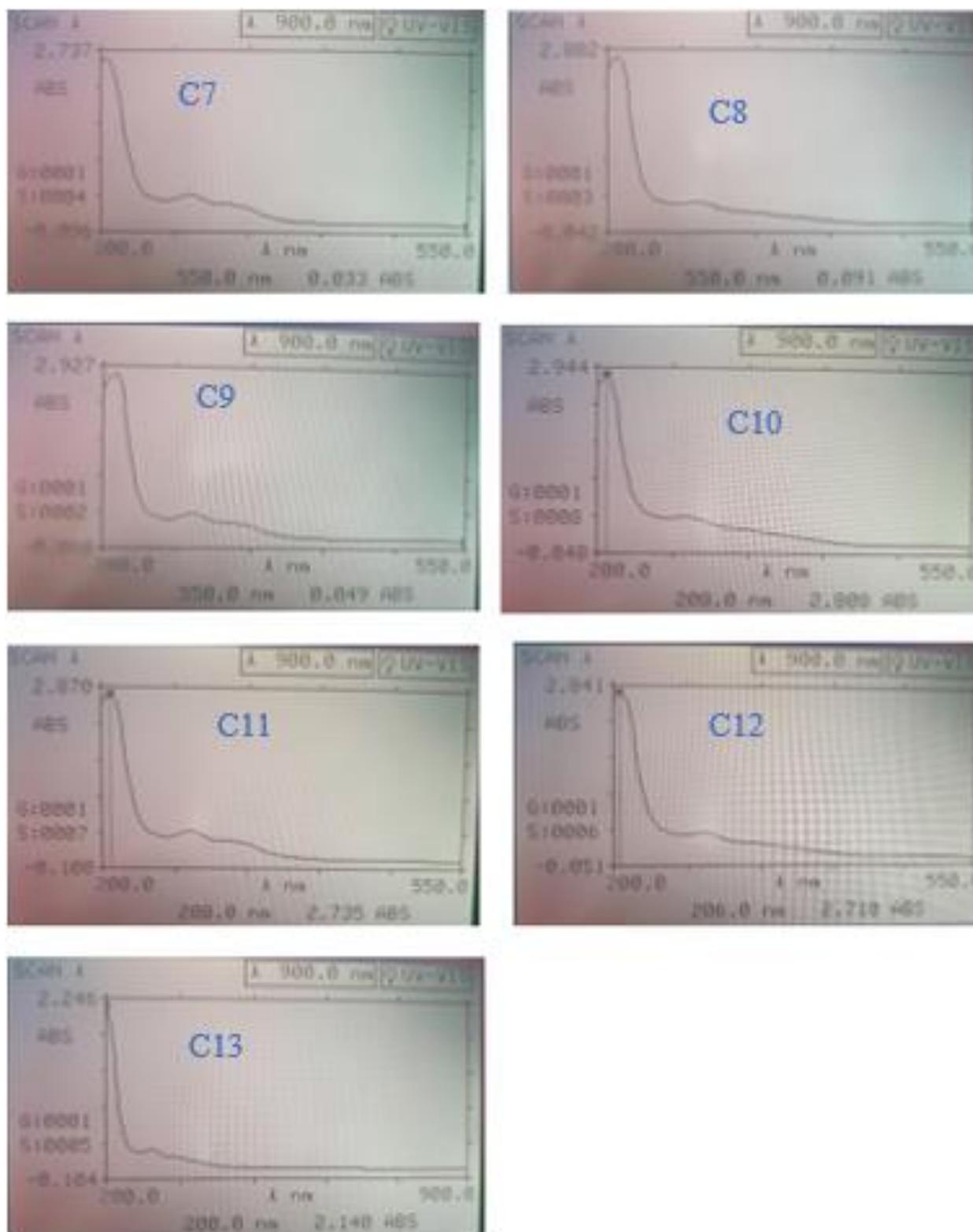
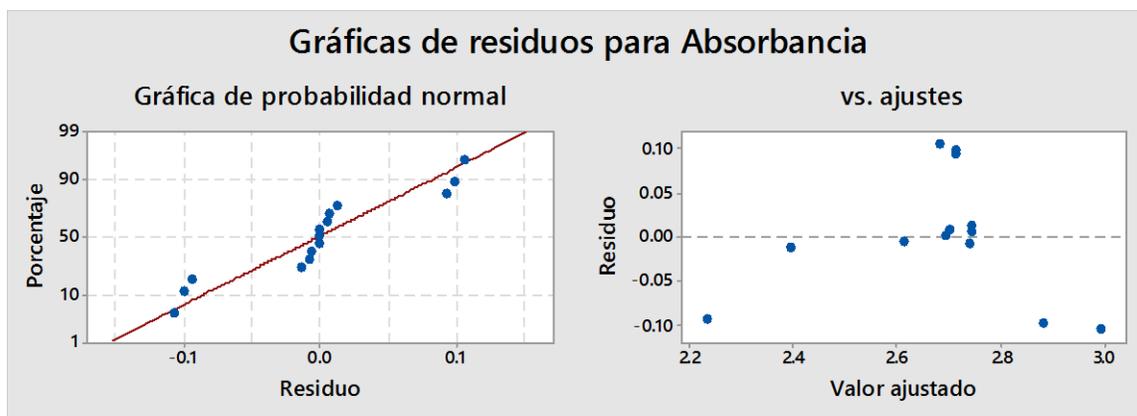


Figura 16. Espectros generados por las; C1(Corrída 1), C2(Corrída 2), C3(Corrída 3), C4(Corrída 4), C5(Corrída 5), C6(Corrída 6), C7(Corrída 7), C8(Corrída 8), C9(Corrída 9), C10(Corrída 10), C11(Corrída 11), C12(Corrída 12), C13(Corrída 13).

4.4.1 Análisis de Diseño Experimental

Regresión de superficie de respuesta: Absorbancia vs. pH, Temperatura, Relación V: V

Para realizar un análisis ANOVA primero se analizó si los datos obtenidos presentaban una distribución normal, lo cual se confirmó mediante un análisis de probabilidad normal figura XX



Con el Análisis de Varianza se determinó que el comportamiento es normal gráfica, lo que estos datos muestran es que el modelo lineal de p en la temperatura y pH son menores a 0.05.

El pH presentó según el análisis de ANOVA una $p < 0.05$ (0.036), por lo tanto es estadísticamente significativo para la absorbancia del plasmón superficial de las NPs generadas.

En este análisis se obtuvo una R cuadrada de 87.99% esto quiere decir que si hay un ajuste correcto la cual se muestra en el modelo lineal y una ecuación de absorbancia, en la figura 17 se puede observar el comportamiento de que obtuvo la mejorana con la relación de todos los parámetros arrojados por Minitab 2017.

Gráfica de optimización

Para la propuesta de obtención de nanopartículas, se obtuvieron las mejores condiciones mediante la optimización del diseño experimental teniendo como respuesta la máxima absorbancia del plasmón superficial generado por las nanopartículas, los resultados fueron un pH 12, temperatura de 90°C y una

relación volumen de 2:1 (2 veces el vol. de la infusión con respecto a la sal metálica) con estos parámetros se comprobó que la obtención de nanopartículas es mayor así como lo muestra la figura 17.

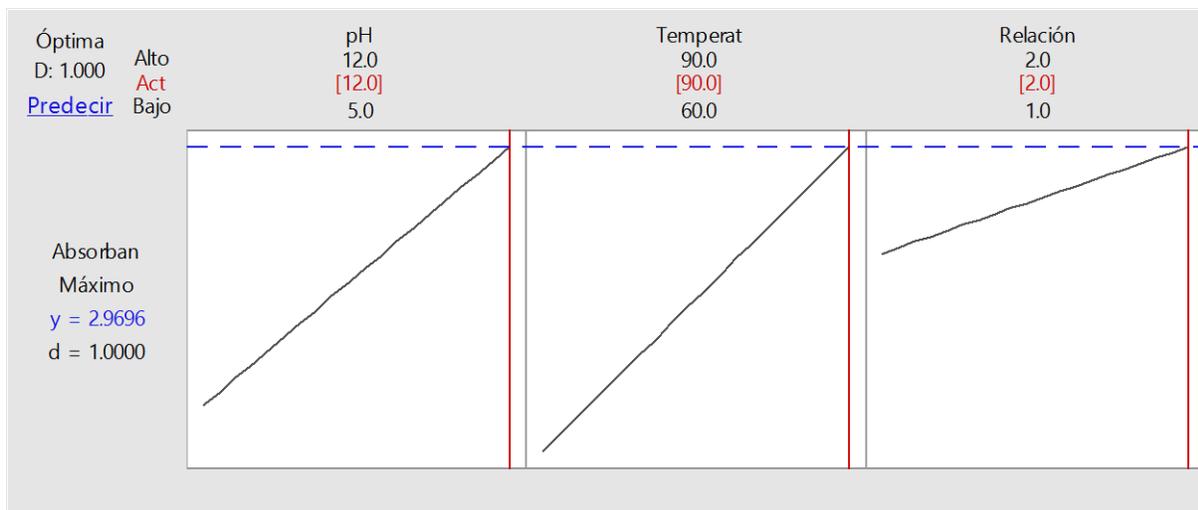


Figura 17. Grafica de optimización (obtenida del programa Minitab 17, 2021)

5 Conclusiones y Limitaciones

- Se determinaron las generalidades del tema, nanotecnología y biosíntesis verde de las cuales se determinó que temas se abordarían para la realización del proceso experimental.
- Se realizó una investigación bibliográfica consultado artículos en donde se llevó a cabo el mismo procedimiento pero con diferentes metales y materia vegetal relacionados con la obtención de nanopartículas por lo que también fueron hallados artículos con los metales de hierro y zinc donde dan a conocer la existencia de nanopartículas sin embargo, se realizaron estudios para conocer otras características.
- Se clasificó la información obtenida de cada uno de los artículos en donde se ocupó los metales hierro y zinc esto con el fin de conocer las características con las que cada autor trabajó en su diseño experimental para conocer si efectivamente había presencia de nanopartículas al igual que identificar las ventajas y desventajas de los métodos que utilizaron en el uso de síntesis verde.
- Analizando los resultados obtenidos mediante espectrofotometría UV-vis para la evaluación de reducción de los metales probados con las infusiones de las diferentes plantas se determinó que el extracto de mejorana es el más adecuado.
- De acuerdo con el análisis estadístico del diseño experimental se tomó en cuenta las mejores condiciones para la realización de las pruebas con pH 12, temperatura 90 y V: V 2:1, los espectros que se generaron con las soluciones salinas se corrobora la presencia de hierro Fe y Zn.

6 Recomendaciones

Es recomendable considerar ambas especies para pruebas futuras ya que después de haber realizado pruebas con distintas plantas se comprobó que estas ayudan a reducir el Fe y el Zn. Se logró identificar que la planta más apta para realizar esta síntesis verde es la mejorana, como segunda opción la prodigiosa ya que de estas dos plantas se obtuvieron resultados favorables.

Se recomienda considerar las condiciones que ya fueron probadas en esta investigación para la obtención de las nanopartículas bimetálicas, sin embargo existen muchos factores que podrían afectar el procedimiento por lo que se recomienda que el proceso se realice con paciencia y las medidas necesarias que no afecten las muestras.

Para dar continuidad al presente proyecto en cuanto una aplicación ambiental de remediación de agua contaminada se necesita encontrar un soporte en donde las nanopartículas obtenidas puedan realizar una función catalítica.

7 Competencias Desarrolladas y/o Aplicadas

ASIGNATURA	COMPETENCIA
Química	<p>Adquiere conocimientos básicos sobre la estructura de los compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, así como su nomenclatura, propiedades físicas, reactividad, energía y equilibrio, considerando los impactos económico y al medio ambiente.</p> <p>Toma decisiones con base en los conocimientos adquiridos que permitan seleccionar materiales industriales y asegura las condiciones de sustentabilidad, higiene y seguridad industrial y la responsabilidad social.</p>
Fundamentos de Investigación	<p>Aplica herramientas metodológicas de investigación en la elaboración de escritos académicos, producto del desarrollo de la investigación documental en temáticas de su área, que lo habilitan para ser autónomo en la adquisición y construcción de conocimientos que fortalecen su desarrollo profesional.</p>
Procesos de Fabricación	<p>Analiza e Interpreta el funcionamiento de los hornos así como las materias primas utilizados para la obtención del hierro y acero; conocer y optimizar los procesos empleados y conocer los tratamientos térmicos aplicados a los materiales ferrosos y no ferrosos, los procesos que cambian la forma de los materiales, la composición, el uso de los materiales plásticos y cerámicos de los procesos.</p>
Desarrollo Sustentable	<p>Aplica visión sustentable en el presente, en los ámbitos social, económico y ambiental que le permite evaluar el impacto de la sociedad sobre el entorno mismo, tomando en cuenta las estrategias</p>

ASIGNATURA	COMPETENCIA
Taller de Investigación I	<p>Elaborar un protocolo de investigación en el área de su formación profesional.</p> <p>Buscar y clasificar los diferentes tipos de investigación en el ámbito científico y tecnológico dentro y fuera de la institución.</p> <p>Desarrolla los elementos del protocolo en un documento de forma estructurada.</p> <p>Presenta en forma oral y escrita el protocolo de investigación.</p> <p>Presenta en plenaria el prototipo del proyecto de investigación.</p>
Taller de Investigación II	<p>Conoce los diferentes tipos de informes de investigación para desarrollar el escrito de al menos uno de ellos.</p> <p>Elabora artículos científicos destinados a publicación a partir del proyecto de investigación realizado previamente.</p> <p>Desarrolla sus habilidades para realizar una presentación de impacto con la meta de participación en ponencia externa.</p>

8 Referencias Bibliográficas

- Afsheen, S., Tahir, M. B., Iqbal, T., Liaqat, A., & Abrar, M. (2018). Green synthesis and characterization of novel iron particles by using different extracts. *Journal of Alloys and Compounds*, 732, 935–944. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.10.137>
- Agarwal, H., Venkat Kumar, S., & Rajeshkumar, S. (2017). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles – An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.03.002>
- Aghajanyan, A., Gabrielyan, L., Schubert, R., & Trchounian, A. (2020). Silver ion bioreduction in nanoparticles using *Artemisia annua* L. extract: characterization and application as antibacterial agents. *AMB Express*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01002-w>
- Albeladi, S. S. R., Malik, M. A., & Al-Thabaiti, S. A. (2020). Facile biofabrication of silver nanoparticles using *Salvia officinalis* leaf extract and its catalytic activity towards Congo red dye degradation. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10031–10044. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.074>
- Alwhibi, M. S., Soliman, D. A., al khaldy, H., Alonaizan, A., Abdulhaq Marraiki, N., El-Zaidy, M., & AlSubeie, M. S. (2020). Green biosynthesis of silver nanoparticle using *Commiphora myrrh* extract and evaluation of their antimicrobial activity and colon cancer cells viability. *Journal of King Saud University - Science*, 32(8), 3372–3379. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.09.024>
- Anu, K., Devanesan, S., Prasanth, R., AlSalhi, M. S., Ajithkumar, S., & Singaravelu, G. (2020). Biogenesis of selenium nanoparticles and their anti-leukemia activity. *Journal of King Saud University - Science*, 32(4), 2520–2526. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.04.018>
- Asghar, M. A., Zahir, E., Shahid, S. M., Khan, M. N., Asghar, M. A., Iqbal, J., & Walker, G. (2018). Iron, copper and silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B1 adsorption activity. *LWT - Food Science and Technology*, 90(June 2017), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>
- Cervera-Ferri, J. L. (2017). Indicadores de producción verde. *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL)*.
- Chinnasamy, C., Tamilselvam, P., Karthick, B., Sidharth, B., & Senthilnathan, M. (2018). Green Synthesis, Characterization and Optimization Studies of Zinc Oxide Nano Particles Using *Costusigneus* Leaf Extract. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6728–6735. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.331>
- De León-Condés, C. A., Roa-Morales, G., Martínez-Barrera, G., Balderas-Hernández, P., Menchaca-Campos, C., & Ureña-Núñez, F. (2019). A novel sulfonated waste polystyrene / iron oxide nanoparticles composite: Green synthesis, characterization and applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1), 102841. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.102841>
- Dzimitrowicz, A., Jamroz, P., diCenzo, G. C., Gil, W., Bojszczak, W., Motyka, A., Pogoda, D., & Pohl, P. (2018). Fermented juices as reducing and capping agents for the biosynthesis of size-defined spherical gold nanoparticles. *Journal of Saudi Chemical Society*, 22(7), 767–776. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2017.12.008>

- Ealias, A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3), 0–15. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>
- El-Moursi, A., Talaat, I., & Balbaa, L. K. (2018). Physiological effect of some antioxidant polyphenols on sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plants. *Nusantara Bioscience*, 4(1), 11–15. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n040103>
- Jagathesan, G., & Rajiv, P. (2018). Biosynthesis and characterization of iron oxide nanoparticles using *Eichhornia crassipes* leaf extract and assessing their antibacterial activity. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13(December 2017), 90–94. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.014>
- Jamdagni, P., Khatri, P., & Rana, J. S. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity. *Journal of King Saud University - Science*, 30(2), 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.10.002>
- Jamkhande, P. G., Ghule, N. W., Bamer, A. H., & Kalaskar, M. G. (2019). Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 53(July), 101174. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101174>
- Marslin, G., Siram, K., Maqbool, Q., Selvakesavan, R. K., Kruszka, D., Kachlicki, P., & Franklin, G. (2018). Secondary metabolites in the green synthesis of metallic nanoparticles. *Materials*, 11(6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma11060940>
- Mishra, K., Basavegowda, N., & Lee, Y. R. (2015). Biosynthesis of Fe, Pd, and Fe-Pd bimetallic nanoparticles and their application as recyclable catalysts for [3 + 2] cycloaddition reaction: A comparative approach. *Catalysis Science and Technology*, 5(5), 2612–2621. <https://doi.org/10.1039/c5cy00099h>
- Molina & Muñoz. (2020). *Cadena de abastecimiento verde en los almacenes de grandes superficies de barranquilla*. 86.
- Nagar, N., & Devra, V. (2018). Green synthesis and characterization of copper nanoparticles using *Azadirachta indica* leaves. *Materials Chemistry and Physics*, 213, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.04.007>
- Nava, O. J., Soto-Robles, C. A., Gómez-Gutiérrez, C. M., Vilchis-Nestor, A. R., Castro-Beltrán, A., Olivas, A., & Luque, P. A. (2017). Fruit peel extract mediated green synthesis of zinc oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 1147, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.06.078>
- Ohemeng, P. O., Dankyi, E., Darko, S., Yaya, A., Salifu, A. A., Ahenkorah, C., & Apalangya, V. A. (2020). Iron and silver nanostructures: Biosynthesis, characterization and their catalytic properties. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 22, 100453. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2020.100453>
- Pal, G., Rai, P., & Pandey, A. (2019). Green synthesis of nanoparticles: A greener approach for a cleaner future. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, 1–26. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102579-6.00001-0>
- Radini, I. A., Hasan, N., Malik, M. A., & Khan, Z. (2018). Biosynthesis of iron nanoparticles using

- Trigonella foenum-graecum seed extract for photocatalytic methyl orange dye degradation and antibacterial applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.014>
- Salem, S. S., & Fouda, A. (2021). Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Prospective Biotechnological Applications: an Overview. *Biological Trace Element Research*, 199(1), 344–370. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02138-3>
- Sandoval E. (2017). *La Economía Circular, una propuesta para la construcción del Desarrollo Sostenible*. 8(15), 58–65.
- 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>
- Shabaaz Begum, J. P., Manjunath, K., Pratibha, S., Dhananjaya, N., Sahu, P., & Kashaw, S. (2020). Bioreduction synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Delonix regia* leaf extract (Gul Mohar) and its agromedicinal applications. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 5(4), 468–475. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2020.07.009>
- Shigwenya, E., Patrick, M., Kareru, G., Gachui, E., Augustine, M., Nyabola, O., Indire, S., Jared, W., & Nyang, O. (2019). *Biosynthesis of iron nanoparticles using *Ageratum conyzoides* extracts, their antimicrobial and photocatalytic activity*. April.
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). “Green” synthesis of metals and their oxide nanoparticles: Applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>
- Siripireddy, B., & Mandal, B. K. (2017). Facile green synthesis of zinc oxide nanoparticles by *Eucalyptus globulus* and their photocatalytic and antioxidant activity. *Advanced Powder Technology*, 28(3), 785–797. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2016.11.026>
- Tetty, C. O., & Shin, H. M. (2019). Evaluation of the antioxidant and cytotoxic activities of zinc oxide nanoparticles synthesized using *scutellaria baicalensis* root. *Scientific African*, 6, e00157. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00157>
- Vasantharaj, S., Sathiyavimal, S., Senthilkumar, P., LewisOscar, F., & Pugazhendhi, A. (2019). Biosynthesis of iron oxide nanoparticles using leaf extract of *Ruellia tuberosa*: Antimicrobial properties and their applications in photocatalytic degradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 192(November 2018), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.12.025>
- Vijayakumar, S., Mahadevan, S., Arulmozhi, P., Sriram, S., & Praseetha, P. K. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Atalantia monophylla* leaf extracts: Characterization and antimicrobial analysis. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 82(April), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.03.017>
- Vijayaraghavan, K., & Ashokkumar, T. (2017). Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: A review of literature, factors affecting synthesis, characterization techniques and applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4866–4883. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.026>
- Yew, Y. P., Shameli, K., Miyake, M., Ahmad Khairudin, N. B. B., Mohamad, S. E. B., Naiki, T., & Lee, K.

X. (2020). Green biosynthesis of superparamagnetic magnetite Fe₃O₄ nanoparticles and biomedical applications in targeted anticancer drug delivery system: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 2287–2308. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.04.013>

9 Anexo

Anexo 1.

Orden Est	Orden Corrida	TipoPt	Bloques	pH	Temperatura	Relación V:V	Absorbancia
1	1	2	1	5	60	1.5	2.14
2	2	2	1	12	60	1.5	2.71
3	3	2	1	5	90	1.5	2.735
4	4	2	1	12	90	1.5	2.808
5	5	2	1	5	75	1	2.79
6	6	2	1	12	75	1	2.749
7	7	2	1	5	75	2	2.608
8	8	2	1	12	75	2	2.889
9	9	2	1	8.5	60	1	2.383
10	10	2	1	8.5	90	1	2.785
11	11	2	1	8.5	60	2	2.814
12	12	2	1	8.5	90	2	2.759
13	13	0	1	8.5	75	1.5	2.696
14	14	0	1	8.5	75	1.5	2.696
15	15	0	1	8.5	75	1.5	2.696

Anexo 2. Tabla de anova Regresión de superficie de respuesta: Absorbancia vs. pH, Temperatura, Relación V:V

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.441368	0.049041	4.07	0.068
Lineal	3	0.249132	0.083044	6.89	0.032
pH	1	0.097461	0.097461	8.09	0.036
Temperatura	1	0.135200	0.135200	11.22	0.020

Anexo 3. Resumen del modelo

R-cuad. R-cuad.

S R-cuad. (ajustado) (pred)
0.109765 87.99% 66.37% 0.00%

Anexo 4. Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Absorbancia = -2.53 + 0.157 pH + 0.1088 Temperatura - 0.058 Relación V:V - 0.00098 pH*pH
- 0.000381 Temperatura*Temperatura + 0.300 Relación V:V*Relación V:V
- 0.00237 pH*Temperatura + 0.0460 pH*Relación V:V
- 0.01523 Temperatura*Relación V:V