

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

“Síntesis verde de compuesto de nanopartículas de hierro-cobre”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

Esmeralda Palomares Veraza

DIRIGIDA POR:

Dra. Cristina Arely de León Condes

Dra. Maribel González Torres

Santiago Tianguistenco, Estado de México, Marzo 2022.

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Josefina Veraza y Claudio Palomares, por apoyarme en todo momento, por ser los principales promotores de que este sueño se hiciera realidad, por los valores que me han inculcado, por confiar y creer en mí, por los consejos y sobre todo por ser un excelente ejemplo a seguir.

A mis hermanos por ser parte de mi vida y presentar la unidad familiar. A Yesenia, Miriam y Diego por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a la maestra Jazmín Reyes por haber compartido sus conocimientos por haber tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante y sobre todo su amistad.

Gracias Dra. Cristina Arely De León por creer en mí y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi Tesis Profesional en el Área de Investigación y el apoyo y facilidades que me otorgo durante el desarrollo. Por dame la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender nuevas cosas.

Gracias Dra. Maribel González por guiarme en el desarrollo de mi tesis, por darme la oportunidad de aprender nuevos conocimientos a lo largo de mi carrera.

A la Lic. Miriam Delgadillo y a la Lic. Nayelly Osorio por haber sido excelentes compañeras a lo largo de mi carrera por haberme tenido la paciencia necesaria por atenderme

siempre en cualquier situación y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre por ser atentas, empáticas conmigo.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias inolvidables.

Esmeralda.

RESUMEN

La síntesis verde de nanopartículas ha experimentado un gran avance, es considerada rentable y sustentable. En la presente investigación el objetivo fue la obtención de nanopartículas Fe-Cu probando diversos agentes reductores como frutos y plantas, aplicadas en sales metálicas siguiendo un proceso verde para lograr tamaño nanométrico. La caracterización fue realizada empleando la técnica de Espectrofotometría UV- visible donde determina el tamaño nanométrico por medio del plasmón superficial de cada metal. El mejor biorreductor de acuerdo a su plasmón fue la hoja de guayaba (*Psidium guajava L.*) para ambos metales, con el cual posteriormente se realizó un diseño experimental uniendo las sales de FeSO₄-CuSO₄, las mejores condiciones fueron determinadas mediante la máxima absorbancia en el análisis UV-vis, el análisis estadístico del diseño demostró que el factor determinante para la generación de nanopartículas fue la relación volumen con una contribución del 35.27 %. Las condiciones óptimas fueron halladas a un pH 4.0, temperatura 30°C y relación V: V 3:1, adicionando 3 mL de extracto vegetal por cada mL de solución bimetálica.

Palabras clave: Espectrofotometría UV-visible, nanopartículas, síntesis verde, sales metálicas.

ABSTRACT

The green synthesis of nanoparticles has experienced a great advance, it is considered profitable and sustainable. In the present investigation, the objective was to obtain Fe-Cu nanoparticles by testing various reducing agents such as fruits and plants, applied in metallic salts following a green process to achieve nanometric size. The characterization was carried out using the UV-visible Spectrophotometry technique which confirmed the nanometric size by means of the surface plasmon of each metal. The best bioreducer according to its plasmon was the guava leaf (*Psidium guajava* L.) for both metals, with which an experimental design was subsequently carried out by joining the FeSO_4 - CuSO_4 salts, the best conditions were determined by the maximum absorbance in the UV-vis analysis, the statistical analysis of the design showed that the determining factor for the generation of nanoparticles was the volume ratio with a contribution of 35.27%. Optimum conditions were found at pH 4.0, temperature 30°C and V:V ratio 3:1, adding 3 mL of plant extract for each mL of bimetallic solution.

Keywords: UV-visible spectrophotometry, nanoparticles, green synthesis, metallic salts

INDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
INDICE	5
INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS	12
CAPÍTULO I.....	14
1.1 Introducción	15
1.2 Planteamiento del problema.....	16
1.3 Justificación	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General:	18
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	18
1.5 Hipótesis.....	19
1.6 Marco teórico	20
1.6.1 Manufactura sustentable.....	20
1.6.1.1 De los Tiempos “verdes” a la Química Verde	22
1.6.1.2 El papel de la ingeniería de procesos en el logro del desarrollo sostenible	24
1.6.1.3 La sustentabilidad en las organizaciones de manufactura.....	25
1. 6.1.4 Importancia de la manufactura sustentable a nivel mundial	25

1.6.1.5 Procesos industriales sustentables	27
1.6.1.6 Ecología industrial.....	28
1.6.1.7 Importancia del medio ambiente para la industria	28
1.6.1.8 Recursos naturales como materia prima.....	29
1.6.2 Nanotecnología	29
1.6.2.1 Tipos de nanomateriales.....	31
1.6.2.2 Nanopartículas.....	34
1.6.2.3 Nanopartículas Metálicas	35
1.6.2.4 Nanopartículas de hierro	36
1.6.2.5 Nanopartículas de cobre	37
1.6.2.6 Métodos de síntesis de nanopartículas	38
1.6.2.6.1 Enfoque descendente o Top-Down	39
1.6.2.6.2 Enfoque ascendente o Bottom-Up.....	40
1.6.2.6.3 Síntesis verde.....	41
1.6.2.6.3 Ventajas del uso de plantas.....	42
CAPÍTULO II	45
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	46
2.1 Nanopartículas metálicas y bimetálicas	46
CAPÍTULO III	51
3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA	52
3.1.1 Actividad 1: Determinar generalidades del tema, nanotecnología y síntesis verde	53
3.1.2 Actividad 2: Revisar bibliografía acerca de las nanopartículas de óxidos metálicos y métodos de síntesis.....	53

3.1.3 Actividad 3: Analizar y clasificar información elaborando un análisis de los métodos de síntesis, ventajas y desventajas de acuerdo con los autores consultados.	53
3.1.4 Actividad 4: Describir los métodos de síntesis verde de nanopartículas de óxidos metálicos y aplicaciones.	54
3.1.5 Actividad 5: Identificar características de agentes biológicas necesarias para ser utilizadas en síntesis verde	54
3.1.6 Actividad 6: Establecer la propuesta como alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxido metálico.	66
3.1.7 Actividad 7: Realizar pruebas necesarias experimentales con base en la propuesta y obtención.	66
3. Preparación de infusión de hoja de guayaba	73
CAPITULO IV	76
4.1 Diagrama de flujo del proceso de obtencion de nanoparticulas de Cu y Fe	77
4.1.1 Esquema de la obtencion de nanoparticulas de Cu y Fe	78
4.2 RESULTADOS- DISCUSION	79
4.2.1 Actividad 1: Determinar generalidades del tema, nanotecnología y síntesis verde	79
4.2.2 Actividad 2: Revisar bibliografía acerca de las nanopartículas de óxidos metálicos y métodos de síntesis.....	79
4.2.3 Actividad 3: Analizar y clasificar información elaborando un análisis de los métodos de síntesis, ventajas y desventajas de acuerdo con los autores consultados.	79
4.2.4 Actividad 4: Describir los métodos de síntesis verde de nanopartículas de óxidos metálicos y aplicaciones	79
4.2.5 Actividad 5: Identificar características de agentes biológicas necesarias para ser	

utilizadas en síntesis verde	80
4.2.6 Actividad 6: Establecer la propuesta como alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxido metálico.	80
4.2.7 Actividad 7: Realizar pruebas necesarias experimentales con base en la propuesta y obtención.	80
4.3 Reacciones de reducción de infusiones FeSO_4 y CuSO_4	81
4.4 Obtención de espectros UV-vis de las reacciones de reducción con Cu y Fe.....	84
4.5 Reacción reducción generadas a partir del diseño experimental.....	94
4.6 Análisis estadístico diseño experimental	99
CONCLUSIONES Y LIMITACIONES	101
RECOMENDACIONES	103
FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Subsistemas sostenibles (Elaboración propia con información Stock & Seliger, 2016).	21
Figura 2 Fundamentos para el diseño de procesos industriales sostenibles (Pérez & Meza, 2013).	28
Figura 3 Compuestos basados en carbono (Rodríguez, 2012).....	32
Figura 4 Representación de los dendrímero (Rodríguez, 2012)	33
Figura 5 Compuestos a los nano- óxidos funcionales (Rodríguez, 2012).....	33
Figura 6 Nanopartículas de Ag, de diferentes formas y tamaños (R. Pérez, 2016)	34
Figura 7 Esquema de la reacción $A+B = C$, Izquierda: material en “bulk”, Derecha: Nanopartícula (Modificado de (R. Pérez, 2016)).....	35
Figura 8 Estructura espinela de la magnetita $Fe^3 O^4$ (Méndez, 2020).....	37
Figura 9 Izquierda: Cobre en estado nativo, Derecha: Np’s de Cu en disolución (R. Pérez, 2016).	38
Figura 10 Esquema representativo de las dos rutas de síntesis de Nanoparticulas (Elaboración propia).	38
Figura 11 Esquema de las diferentes estrategias utilizadas para la síntesis de nanopartículas (Elaboración propia)	39
Figura 12 Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata metales (Gomez Garzón, 2018).	42
Figura 13 Síntesis de fitoparticulas (Jonapá-hernández et al., 2020).....	44

Figura 14 Diagrama de bloque sobre la metodología que se realizó en esta investigación (Elaboración propia)	52
Figura 15 Procedimiento de molienda del tomillo (Elaboración propia).....	55
Figura 16 Procedimiento de molienda de la Equinácea (Elaboración propia).....	57
Figura 17 Procedimiento de molienda de la hoja de guayaba (Elaboración propia).....	58
Figura 18 Procedimiento de la obtención de la pulpa de guayaba (Elaboración propia).....	58
Figura 19 Procedimiento de la molienda de la hoja de níspero (Elaboración propia)	59
Figura 20 Procedimiento de la obtención del níspero fruto (Elaboración propia).....	59
Figura 21 Procedimiento de la obtención del hueso de aguacate rayado (Elaboración propia)....	60
Figura 22 Procedimiento de la obtención de la cascara de limón (Elaboración propia).....	61
Figura 23 Procedimiento de la obtención del brócoli (Elaboración propia).	62
Figura 24 Procedimiento de la obtención de la cascara de naranja rayada (Elaboración propia). 63	
Figura 25 Procedimiento de la obtención del árnica (Elaboración propia).....	63
Figura 26 Procedimiento de la obtención de la moringa molida (Elaboración propia)	64
Figura 27 Procedimiento de la obtención del pelo de elote (Elaboración propia)	65
Figura 28 Procedimiento de la obtención de la pingüica (Elaboración propia).	66
Figura 29 Solución $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Elaboración propia).	70
Figura 30 Solución $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ marca Fermont (Elaboración propia).	71
Figura 31 Ebullición de hoja de guayaba a 280°C (Elaboración propia).....	73

Figura 32 Infusión hoja de guayaba (Elaboración propia).....	73
Figura 33 Solución Sal de FeSO_4 y CuSO_4 (Elaboración propia).....	74
Figura 34 Diagrama de flujo del proceso de obtención de nanopartículas de Cu y Fe (Elaboración propia).....	77
Figura 35 Esquema representativo de la obtención de nanopartículas de Cu y Fe (Elaboración propia).....	78
Figura 36 Gráfica de probabilidad normal (Minitab 17.0).....	99
Figura 37 Diagrama de Pareto (Minitab 17.0)	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de los nanomateriales según su dimensionalidad (Modificada de (Ramos, 2017)	30
Tabla 1.2 Aplicaciones Nanotecnológicas en la Industria (Elaboración propia con información de (Esquillor, 2018).	31
Tabla 1.3 Enfoques descendentes Top-Dow (Elaboración propia con información de (Ramos, 2017)	39
Tabla 1.4 Enfoques ascendentes Bottom-Up (Elaboración propia con información de Ramos, 2017)	40
Tabla 1.5 Estudio de obtención de nanopartículas metálicas, condiciones y características obtenidas (Elaboración Propia).....	46
Tabla 1.6 Estudio de obtención de nanopartículas bimetálicas, condiciones y características obtenidas (Elaboración Propia).....	49
Tabla 1.7 Peso y pH de frutos y hojas secas (Elaboración propia).....	67
Tabla 1.8 Tabla de diseño en Minitab (Elaboración propia).....	72
Tabla 1.9 Corrida con pH 4 (Elaboración propia).....	74
Tabla 2.0 Reacción de reducción de infusiones (Elaboración propia).....	81
Tabla 2.1 Reacción de reducción de infusiones (Elaboración propia).....	83
Tabla 2.2 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia).....	86
Tabla 2.3 Infusiones reacción de reducción a temperatura de 18°C (Elaboración propia).	94
Tabla 2.4 Infusiones reacción de reducción a temperatura de 24°C (Elaboración propia)	95

Tabla 2.5 Infusiones reacción de reducción a temperatura de 30°C (Elaboración propia)	95
Tabla 2.6 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia)	97
Tabla 2.7 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia)	97
Tabla 2.8 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia)	98
Tabla 2.9 Competencias desarrolladas y aplicadas (Elaboración propia).....	104

CAPÍTULO I



1.1 Introducción

La importancia de la manufactura sustentable hoy en día ha sido de gran impacto para la sociedad e industrias debido a su implementación en las diferentes etapas del proceso productivo; La manufactura se define como el conjunto de procesos de transformación de materia prima en un producto terminado. Sin embargo, extendiendo este concepto se incluye también todas las actividades relacionadas con la distribución, mercadotecnia, mantenimiento y soporte del producto. Como parte del proceso continuo de calidad, es necesario mejorar los sistemas y procesos integrando prácticas verdes, tanto para evitar accidentes, penalizaciones y mejorar la calidad de las condiciones de trabajo.

Dentro de la manufactura verde surge la nanotecnología desde el diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, cuando se manipula la materia a escala tan minúscula, demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevos. Siguiendo la ruta de los procesos verdes, la nanotecnología ofrece metodologías de síntesis verde que representan una nueva filosofía y establece estándares altos para llevar a cabo la investigación y producción de sustancias y procesos químicos, maximizando sus beneficios y minimizando los efectos secundarios que pueden ser dañinos al ser humano y al medio ambiente.

El objetivo de la presente investigación es proponer una alternativa de síntesis verde para obtención de nanopartículas de óxidos metálicos potenciales para remediación de agua contaminada con colorante.

1.2 Planteamiento del problema

Los problemas ambientales surgen por la generación de desechos, desde la antigüedad la interacción del hombre con su entorno ha impactado al medio ambiente y hoy en día en mayor proporción o escala, ya que existe una intrincada red de causas como: el elevado crecimiento demográfico, el desarrollo y la difusión de la tecnología industrial, la creciente urbanización y el avance de la frontera agrícola, debido a éstas se implementó la manufactura verde en las industrias generando así una mejor productividad y calidad de nuevos productos de “fabricación sostenible”, que permite la reducción de los impactos ambientales en la fabricación y desarrollo de nuevos materiales más amigables con el ambiente.

La nanotecnología propone la generación de materiales a escala nanométrica para la resolución de problemas ambientales, algunos métodos de obtención de nanomateriales requieren un alto consumo de reactivos químicos, lo que implica un elevado costo además del daño ambiental asociado, para mitigar estos problemas surge la síntesis verde de nanopartículas que se basa en la reducción de metales mediante especies vegetales con poder antioxidante en lugar de reductores químicos.

Entre las moléculas que presentan actividad antioxidante en los extractos vegetales se encuentran los polifenoles, azúcares reducidos, bases nitrogenadas y aminoácidos que son capaces de reducir cationes en una disolución de sal metálica.

1.3 Justificación

En la actualidad diversas industrias se enfrentan a una excesiva generación de desechos contaminantes en sus procesos productivos, descargando contaminantes difíciles de degradarse en el medio ambiente, por lo tanto la manufactura verde, representa una opción para combatir el problema, en este sentido la nanotecnología ha generado gran interés debido a las posibilidades de controlar las propiedades de un material en escala nanométrica a partir de unidades estructurales básicas como fibras, partículas u otros componentes, estos materiales pueden ser ensamblados favoreciendo el desarrollo de aplicaciones en campos tan diversos como la biomedicina, electrónica, industrial y ambiental.

Una de las ventajas de la síntesis verde es el empleo de los principios de la química verde que permite la posibilidad de controlar el tamaño de las nanopartículas variando diversos parámetros, empleando extractos vegetales sin necesidad de usar agentes reductores, estabilizantes y/o solventes tóxicos. Además el proceso es económico, consume poca energía y es sencillo de desarrollar.

Esta investigación busca obtener las mejores condiciones de trabajo para la obtención de nanopartículas de óxidos metálicos que puedan ser aplicadas en remediación de agua contaminada por colorantes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Proponer una alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxidos metálicos potenciales para remediación de agua contaminada con colorante.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- a) Determinar generalidades del tema, nanotecnología y síntesis verde.
- b) Revisar bibliografía acerca de las nanopartículas de óxidos metálicos y métodos de síntesis.
- c) Analizar y clasificar información elaborando un análisis de los métodos de síntesis, ventajas y desventajas de acuerdo con los autores consultados.
- d) Describir los métodos de síntesis verde de nanopartículas de óxidos metálicos y aplicaciones.
- e) Determinar características de agentes biológicas necesarias para ser utilizadas en síntesis verde.
- f) Establecer la propuesta como alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxidos metálicos.
- g) Realizar pruebas necesarias experimentales con base en la propuesta y obtención.

1.5 Hipótesis

Obtención de nanopartículas de óxidos metálicos mediante síntesis verde a partir de extractos vegetales.

1.6 Marco teórico

1.6.1 Manufactura sustentable

El concepto de sustentabilidad surgió de una serie de reuniones e informes en las décadas de 70- 80's, y fue motivado en gran medida por incidentes y desastres ambientales como preocupaciones tales como temores sobre la contaminación química y el agotamiento de los recursos, la frase “fabricación sostenible” se utiliza a veces de forma vaga para describir acciones relacionadas con la caracterización del gramo y la reducción de los impactos ambientales de la fabricación (Stock & Seliger, 2016).

Sin embargo, la sostenibilidad implica mucho más que el simple acto de analizar y modificar el comportamiento medioambiental de los procesos y sistemas de fabricación, así como la creación de productos manufacturados que usan materiales y procesos que minimizan los impactos negativos al medio ambiente, conservan energía y recursos naturales, son seguros para los trabajadores, comunidades, consumidores y son viables económicamente. El término también se usa para describir tecnologías de generación de energía sostenible como fotovoltaica, turbinas eólicas, biorreactores, biofiltración, biorremediación, desalinización entre otras (Stock & Seliger, 2016).

Un sistema puede considerarse insostenible cuando la sociedad consume recursos y produce desechos a un ritmo que excede la capacidad del sistema de mantener el equilibrio. Estrictamente hablando, la sostenibilidad sólo puede discutirse en el contexto de un sistema cerrado, como el que se muestra en la Figura 1. Los subsistemas de fabricación que coexisten son los subsistemas humanos, ecológicos y naturales, por tanto, la fabricación sostenible es una filosofía que no puede considerarse independiente del entorno más amplio. La fabricación es una función de negocio y, como tal, establece el valor económico de las soluciones de ingeniería. La

medición de la norma de desempeño ambiental y social presenta una tarea más desafiante para la ingeniería y los negocios (Stock & Seliger, 2016).

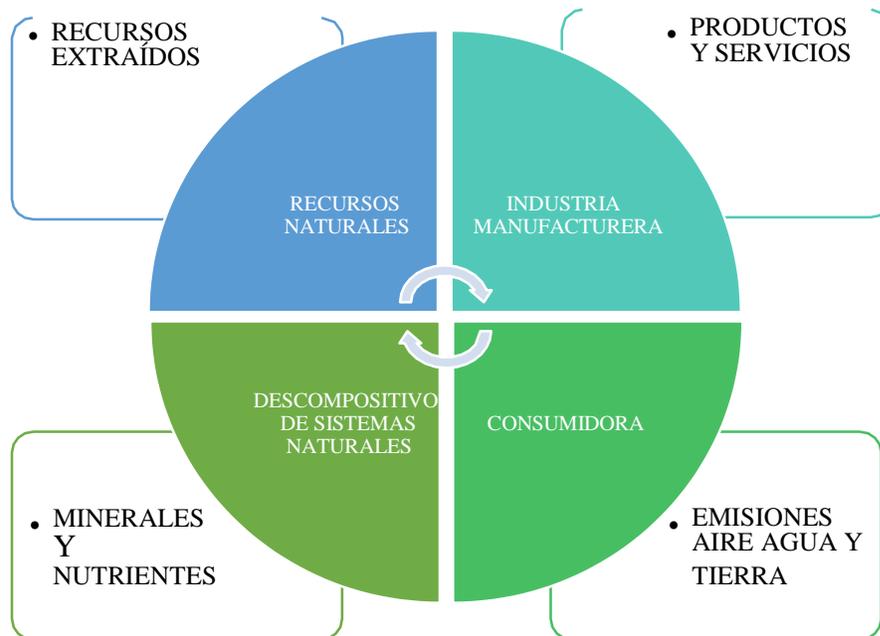


Figura 1 Subsistemas sostenibles (Elaboración propia con información Stock & Seliger, 2016).

Las herramientas de gestión ambiental incluyen balance de masa es decir, considerar las entradas y salidas de un proceso para determinar su eficacia y desperdicio. La contabilidad de costos total está relacionada con los costos de materiales, energía, mano de obra, eliminación de desechos y otros costos de artículos diversos. El ciclo de vida del producto también es una parte importante de estas herramientas, en el desarrollo de este estudio, las funciones de costos relevantes se derivan en secuencia desde un punto de vista de proceso de ingeniería sistemática. Imponer la responsabilidad ampliada del productor es un medio para lograr un punto de apalancamiento crítico entre los beneficios ambientales y comerciales. Los fabricantes tienen la capacidad única de facilitar la recuperación y refabricación de productos mediante el diseño. A

través del diseño y ciclo de vida del producto, se seleccionan los materiales adecuados, fácilmente reciclables, se evitan materiales y componentes inusuales y peligrosos, reduciendo los impactos negativos en el medio ambiente (Stock & Seliger, 2016).

1.6.1.1 De los Tiempos “verdes” a la Química Verde

La palabra “verde” sirve para indicar, la acción o hecho que se esté involucrando, en cualquier actividad humana, se hace con cuidado al medio ambiente o que se están utilizando procesos o técnicas con el menor involucramiento de sustancias tóxicas. En pocas palabras una persona o institución es “verde” sí contamina menos el medio que lo rodea aire, agua o suelo al llevar a cabo cualquier tipo de actividad, industrial, agrícola, de recreación, entre otras. En el campo de la química, es imprescindible el uso de sustancias, compuestos tóxicos, llamados solventes o reactivos. (Gomez Garzón, 2018)

La química verde por su parte se define como el diseño de los productos químicos y procesos con el propósito de reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas. Esta definición fue formulada a inicios de 1990 y, desde entonces, ha adquirido una alta importancia. Alrededor del mundo, se han creado organismos, tanto gubernamentales como privados, que han generado programas de prevención. Se han creado programas educativos, basados en la química verde, en distintas universidades del mundo. En el año de 1997 apareció la primera revista dedicada a la química verde: Green Chemistry Journal of the Royal Society Chemistry, Un aspecto es el concepto del diseño esto incluye la innovación, planeación o concepción sistemática. Por lo tanto, la química verde se caracteriza por la cuidada planeación de síntesis química y diseño molecular para reducir consecuencias adversas (Gomez Garzón, 2018).

La química verde ha sido utilizada en todos los ámbitos industriales: aeroespacial, automotriz, electrónica, agrícola, farmacéutico entre otros, su meta es lograr una sustentabilidad técnica y/o

económica a través del diseño de metodologías involucradas en la fabricación de un producto que minimicen el uso directo de sustancias químicas peligrosas, así como, se disminuya al máximo la generación de residuos contaminantes o al menos que sean altamente biodegradables durante su elaboración (Gomez Garzón, 2018).

Los 12 principios de la química verde son:

- 1.- Prevenir la contaminación - Minimizando la generación de desechos.
- 2.- Economía de átomo - Diseñar métodos sintéticos para lograr la máxima incorporación en el producto final de los materiales utilizados en el proceso.
- 3.- Menos síntesis química con materiales peligrosos - Siempre que sea posible, los métodos de producción deben estar diseñados para la producción de las sustancias menos tóxicas para las personas o el medioambiente.
- 4.- Diseñar químicos más seguros - Los productos químicos deben estar diseñados para cumplir su función con el mínimo daño posible a las personas o el medioambiente.
- 5.- Solventes más seguros - Intentar no utilizar solventes u otros químicos innecesarios. Si es necesario usarlos, no deben ser perjudiciales para el medioambiente.
- 6.-Diseñar para ahorrar energía - Reducir al mínimo la energía necesaria para generar una reacción, a fin de reducir el impacto ambiental y económico. De ser posible, los procesos se deben llevar adelante a temperaturas y presiones ambiente.
- 7.- Usar materias primas renovables - Siempre que sea posible.
- 8.- Reducir los productos derivados - Intentar que la reacción no implique demasiados pasos, porque eso implica la necesidad de usar más reactivos y se generan más desechos.

- 9.- Catálisis - Las reacciones con catalizador son más eficientes que las no catalizadas.
- 10.- Diseñar productos degradables - Cuando se terminan de usar los productos químicos, deben poder descomponerse en sustancias que no sean tóxicas y que no permanezcan en el medioambiente.
- 11.- Análisis en tiempo real para prevenir la contaminación - Es necesario desarrollar metodologías que permitan detectar productos perjudiciales antes de elaborarlos.
- 12.- Composiciones químicas naturalmente más seguras para prevenir accidentes - Las sustancias utilizadas en un proceso químico se deben elegir con el objetivo de minimizar el riesgo de accidentes químicos, esto incluye explosiones e incendios.

1.6.1.2 El papel de la ingeniería de procesos en el logro del desarrollo sostenible

La ingeniería de procesos es una especialidad tecnológica que aplica los principios fundamentales de la ingeniería como economía y ecología, busca producir bienes o productos que la sociedad requiere para satisfacer sus necesidades. El proceso productivo corresponde al componente operativo de la empresa, la cual para ser competitiva debe buscar producir óptimamente, es decir, con eficiencia tecnológica, organizacional, económica, social y ambiental. Los ingenieros de procesos diseñan, operan y controlan procesos industriales o procesos químicos tecnológicos, en los cuales se utilizan y transforman materias primas, recursos naturales o sustancias químicas resultantes de otros procesos, en productos o insumos. Actualmente el nuevo paradigma de los ingenieros de procesos se centra en el diseño y operación de procesos industriales sostenibles (Javaid et al., 2021).

1.6.1.3 La sustentabilidad en las organizaciones de manufactura

En las empresas de manufactura, existe el sentimiento de ser medioambientalmente responsable si se adoptan a prácticas de manufactura sustentable, el cual debe proporcionar beneficios económicos a corto plazo. En el caso particular de México, existe escasa conciencia hacia la sustentabilidad en la industria, así lo revela información obtenida de un artículo de la revista manufactura de circulación nacional y que es un referente en México para las empresas de manufactura. Resulta revelador el párrafo anterior, ya que muestra la poca importancia que actualmente las empresas de manufactura mexicanas otorgan el uso eficiente de sustentabilidad. En este contexto se crea una circunstancia adversa para el medio ambiente, difícil de modificar sin la existencia de una real conciencia sustentable por parte de los directivos de las plantas de manufactura, lo cual se lograría establecer de una manera clara y formal la relación benéfica entre la responsabilidad ambiental, la manufactura y las utilidades del negocio (Javaid et al., 2021).

1. 6.1.4 Importancia de la manufactura sustentable a nivel mundial

El tema es de gran importancia, si se considera que la manufactura a nivel global consume grandes cantidades de recursos y genera enormes cantidades de desperdicios, baste decir que la manufactura a nivel mundial consume un tercio de la energía mundial y genera el 36% del total de CO₂ el principal gas de efecto de invernadero (GEI), en México indican que la industria generadora de energía contribuye con un 21% y la manufactura con un 8% a la emisión del gas, sin embargo es el sector de las industrias quien más energía consume contabilizando 60% del total consumido en el país mientras que solo el 30% de las empresas en México cuentan con un sistema de medición energética, lo que manifiesta la escasa conciencia ambiental de las empresas es por lo tanto fundamental que las plantas de manufactura adopten prácticas sustentables o manufactura sustentable (Perry, 2014).

Algunas estadísticas que reseñan la conciencia ambiental en México se muestran a continuación:

- Sólo el 30% de las empresas en México tienen un sistema de medición de consumo de energía eléctrica.
- El sector industrial demanda el 60% de la electricidad del país, y ya se ha visto como está contribuye a la emisión de CO₂.
- El 79% de la electricidad en México proviene de combustibles fósiles, petróleo, gas, carbón.
- El perfil de consumo de electricidad es como sigue:
 - 46% motores eléctricos de corriente alterna
 - 17% refrigeración
 - 10% iluminación
 - 10% procesos
 - 9% Aire acondicionado

Los datos anteriores muestran la poca importancia que en general las empresas de manufactura mexicanas otorgan al tema del consumo de la electricidad, y como este consumo está relacionado íntimamente con los tres aspectos anteriormente mencionados, particularmente aquel relacionado con el compromiso medioambiental, la sustentabilidad y el desarrollo sustentable son: (Perry, 2014).

- Energía

- Agua
- Uso de recursos (insumos)
- Residuos sólidos y/o peligrosos.
- Emisiones a la atmósfera o al agua.
- Transportación (personal, MP, PT, proveedores)
- Biodiversidad

1.6.1.5 Procesos industriales sustentables

Un proceso industrial es el conjunto de etapas que hacen posible la transformación de la materia prima e insumos en productos, subproductos, residuos y desechos. Los procesos industriales sustentables son procesos también constituidos por etapas que hacen posible la transformación, pero que potencian el aprovechamiento de los materiales y la energía para la producción de bienes o productos útiles y minimizan o eliminan la presencia de residuos y desechos. Los principios del diseño de procesos industriales sostenibles, tienen que conjugar aspectos inherentes al diseño de procesos, minimizando el impacto ambiental y mejorando la sostenibilidad del diseño final. En la Figura 2 muestra el diseño sostenible en ingeniería de procesos se basa necesariamente en el diseño tradicional de ingeniería química, apoyándose además en las disciplinas como la Química Verde, la Ingeniería Verde, el diseño integrado de la cuna a la cuna, la ecología industrial y la biomimética. La integración de estas disciplinas en el panorama actual del diseño permitirá crear un marco de referencia para el desarrollo de productos, procesos y sistemas de producción, cuyos componentes no sean peligrosos, generen un estado de bienestar, consideren y respeten cada uno de los ciclos de vida de los productos que intervienen e imiten en lo posible a los sistemas naturales (L. Pérez & Meza, 2013).

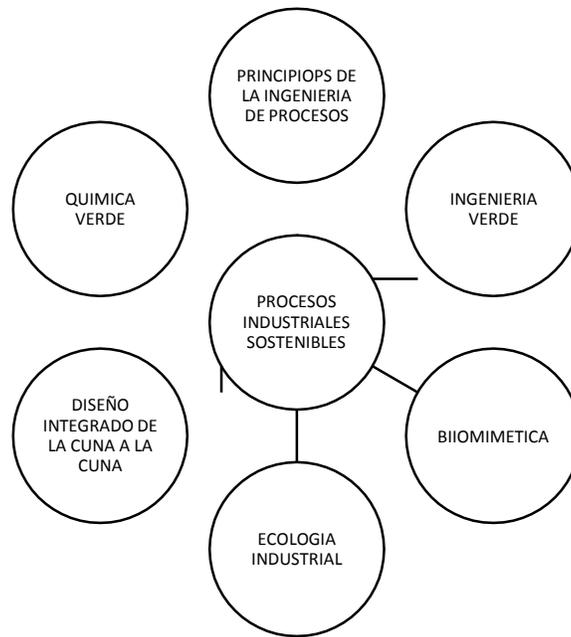


Figura 2 Fundamentos para el diseño de procesos industriales sostenibles (Pérez & Meza, 2013).

1.6.1.6 Ecología industrial

La ecología industrial plantea una analogía entre los sistemas ecológicos naturales y la “comunidad” de plantas industriales (infraestructuras o instalaciones industriales). Al igual que en un ecosistema biológico, en un ecosistema industrial cada proceso debe ser visto como una parte dependiente e interrelacionada de un todo o de un sistema mayor. La ecología industrial explora nuevas posibilidades para la interrelación entre empresas, como resultado de un replanteamiento de las actividades industriales y en respuesta al conocimiento cada vez más completo sobre sus impactos ambientales (L. Pérez & Meza, 2013).

1.6.1.7 Importancia del medio ambiente para la industria

Una gran parte de la sociedad se ha beneficiado de los productos y el bienestar creado por la industria pero durante años, el sector industrial químico no tuvo en cuenta los impactos negativos que sus actividades generaban contaminantes en el medio ambiente (local, regional o

global). La industria ha comprendido que la inversión en investigación científica y tecnológica, y en especial aquella que trata de la relación entre los aspectos tecnológicos y los aspectos ambientales, genera innovaciones que contribuyen a aumentar la competitividad y la rentabilidad de las empresas que son socialmente responsables de sus actividades y mejora continua (L. Pérez & Meza, 2013).

1.6.1.8 Recursos naturales como materia prima

El término recurso natural resulta fácil de entender intuitivamente, pero sin embargo es muy difícil de conceptualizar. Si se intenta definir los recursos naturales con base a sus propiedades físicas, se puede indicar que los recursos naturales son factores que afectan los procesos de producción y consumo, tienen su origen en fenómenos o procesos naturales que escapan al control del hombre. Los procesos naturales de generación del recurso pueden ser biológicos, geológicos o químicos. Si se intenta definir los recursos desde un punto de vista económico, se puede decir que los recursos naturales son factores que afectan las actividades productivas, pero que no han sido elaborados por el hombre, ni tampoco han sido obtenidos a través de un proceso de fabricación iniciado por el hombre (L. Pérez & Meza, 2013).

1.6.2 Nanotecnología

La palabra "nanotecnología" define las ciencias y técnicas que se aplican a un nivel de nano escala, esto es una medida extremadamente pequeña que permiten trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. En síntesis llevaría a la posibilidad de fabricar materiales y máquinas a partir del reordenamiento de átomos y moléculas (Gomez Garzón, 2018).

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, cuando

se manipula la materia a escala tan minúscula de átomos y moléculas, demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevos. Por lo tanto los científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos y sistemas novedosos, poco costosos con propiedades únicas. De manera general, se podría definir a la nanotecnología como la fabricación de materiales, estructuras, dispositivos y sistemas funcionales a través del control y ensamblado de la materia a la escala del nanómetro (de 0.1 a 100 nm, del átomo hasta por debajo de la célula) (Ramos, 2017).

La nanotecnología puede ser clasificada según la dimensionalidad de la nanoestructura, como se muestra en la Tabla 1.1 Estos pueden ser nanopartículas objetos donde todas las dimensiones espaciales son nanométricas, nanocables (objetos que se alargan en la mesoescala en una dirección espacial pero con una sección transversal nanométrica) y superficies delgadas (superficies constituidas por unas pocas capas atómicas de espesor) tales como revestimientos o películas (Ramos, 2017).

Tabla 1.1 Clasificación de los nanomateriales según su dimensionalidad (Modificada de (Ramos, 2017).

NANOTECNOLOGIA		
Nanomateriales		
Dimensionalidad de nanoestructuras		
CERO	UNA	DOS
Nanopartículas:	Nanocables:	Nanopelículas:
- Metal noble	- Metal	- Multicapas metálicas
- Puntos cuánticos	- Óxido de metal	- Grafeno
semiconductores	- Calcogenuros metálicos	- Nanopelículas inorgánicas
- Poliméricas	- Semiconductor	- Dicalcogenuros de metales de transición
	- Nanotubos de carbono	

La nanotecnología se utiliza en diversas áreas de las ciencias físicas, químicas, biológicas, en la Tabla 1.2 se muestran algunos ejemplos de sus principales aplicaciones industriales.

Tabla 1.2 Aplicaciones Nanotecnológicas en la Industria (Elaboración propia con información de (Esquillor, 2018).

ÁREA	PRODUCTOS
Construcción	Nuevos materiales aislantes, impermeabilizantes, barnices anti fuego para el tratamiento de madera, pisos, recubrimientos, etc.
Energía	Celdas solares, baterías, pilas.
Deporte	Lentes, raquetas, palos de golf.
Cosmético	Diversos productos de limpieza y conservación de vidrio, madera, cerámica, metales.
Química	Componentes, adhesivos, fluidos magnéticos, materiales compuestos, plásticos, hules.
Textil	Recubrimientos de telas, ropa inteligente.
Automotriz	Materiales ligeros, pintura anti- rayado, catalizadores, llantas, sensores.
Medicina	Sistemas de administración de medicamentos, adhesivos dentales, medios de contraste, sistemas de exámenes y diagnósticos <i>in situ</i> , prótesis, implantes, agentes anti-microbianos.
Alimenticia	Empaques, sensores, aditivos.
Domésticos	Diversos productos de limpieza y conservación de vidrio, madera, cerámica, metales.

1.6.2.1 Tipos de nanomateriales

La Agencia del Medioambiente de los EE.UU. ha clasificado los nanomateriales en cuatro tipos de acuerdo con su componente principal (Gomez Garzón, 2018).

➤ **Basados en carbono**

Estos nanomateriales están compuestos mayoritariamente por carbono y suelen adoptar formas como esferas huecas, elipsoides o tubos. Los nanomateriales de carbono con forma elipsoidal o esférica se conocen como fullerenos, mientras que los cilíndricos reciben el nombre de nanotubos. Estas partículas tienen muchas aplicaciones posibles, incluido el desarrollo de recubrimientos y películas mejoradas, materiales más ligeros y

resistentes en diversas aplicaciones en el campo de la electrónica la Figura 3 muestra sus diferentes formas y tamaños en diversas aplicaciones (Rodríguez, 2012).

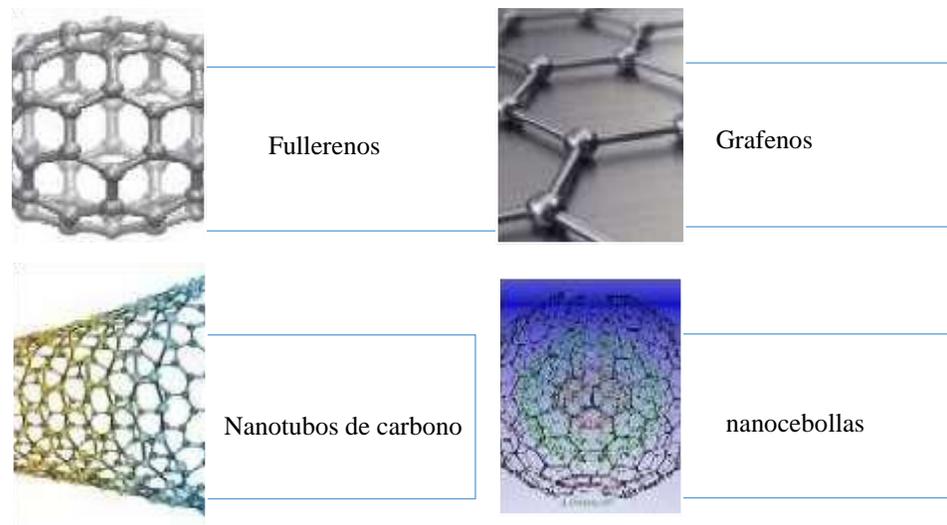


Figura 3 Compuestos basados en carbono (Rodríguez, 2012).

➤ Basados en metales.

Estos nanomateriales incluyen puntos cuánticos, nanopartículas y óxidos metálicos como el dióxido de titanio (Rodríguez, 2012).

➤ Dendrímeros

Estos nanomateriales son polímeros de tamaño nanométrico construidos a partir de unidades ramificadas. La superficie de un dendrímero tiene numerosos extremos decadena, que se pueden adaptar para desempeñar funciones químicas específicas. Esta propiedad se podría utilizar también para la catálisis. Además, debido a que los dendrímeros tridimensionales contienen cavidades interiores en las que se pueden introducir otras moléculas, pueden ser útiles para la administración de fármacos. En la Figura 4 muestra cómo se va componiendo los dendrímeros, se forman a partir de

generaciones, core multifuncionales, ramificaciones y grupos terminales (Rodríguez, 2012).

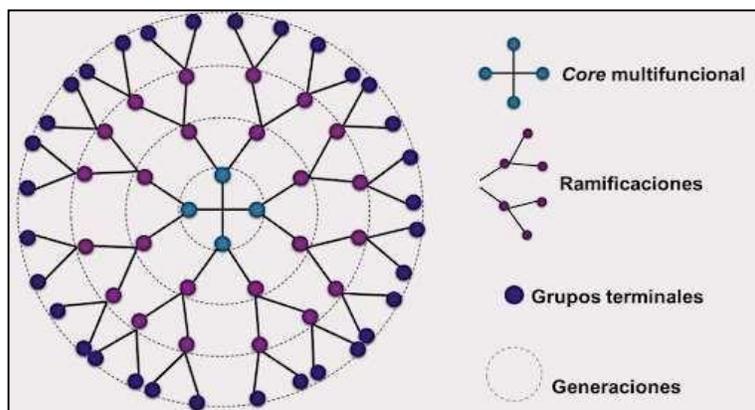


Figura 4 Representación de los dendrímero (Rodríguez, 2012).

➤ Compuestos

Los compuestos combinan las nanopartículas con otras nanopartículas o con materiales de mayor tamaño. Las nanopartículas, como arcilla a nanoescala, ya se están añadiendo a numerosos productos, desde piezas de automóviles a materiales de empaquetado, para mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas, protectoras entre otras, En la Figura 5 muestra los nano óxidos y sus componentes que lo integran como son: baterías, materiales bidimensionales, sensores y catalizadores, células solares, optoelectrónica, microscopía electrónica (Rodríguez, 2012).

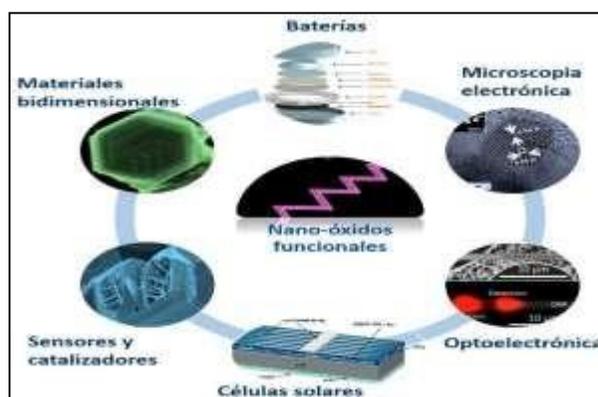


Figura 5 Compuestos a los nano-óxidos funcionales (Rodríguez, 2012).

1.6.2.2 Nanopartículas

Las nanopartículas son estructuras compuestas por unos cuantos átomos o moléculas que oscilan entre 1 y 100 nm, existen de varias formas, esféricas, triangulares y hexagonales o de otras formas. La Figura 6 muestra las formas de nanopartículas de Au y Ag consideradas nanoestructuras de dimensión cero (0D) ya que todas sus dimensiones caen dentro de la escala nanométrica, se observan formas hexagonales y triangulares (Ramos, 2017).

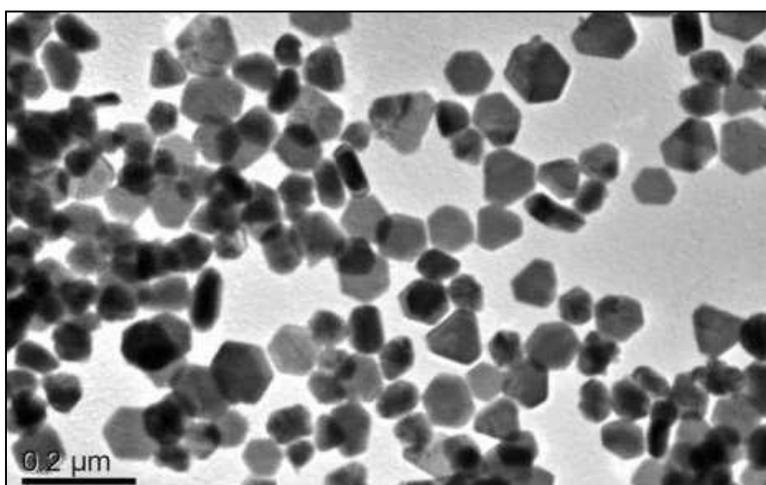


Figura 6 Nanopartículas de Ag, de diferentes formas y tamaños (R. Pérez, 2016).

En la nanoescala, existe un incremento en la relación superficie - volumen de cualquier material. Un significativo porcentaje de los átomos que componen una nanopartícula se encuentra en la superficie de la misma (Ramos, 2017).

Considérese la siguiente reacción (Ec.1)



En donde A es un gas o una sustancia disuelta en un líquido y B es un sólido; solamente los átomos de la superficie del sólido podrán participar en la reacción química, si el sólido en cuestión (B) son nanopartículas la mayoría de los átomos que componen dichas nanoestructuras

se encuentran en la superficie, y por lo tanto se tiene una mayor área superficial disponible como muestra la Figura 7 (Ramos, 2017).

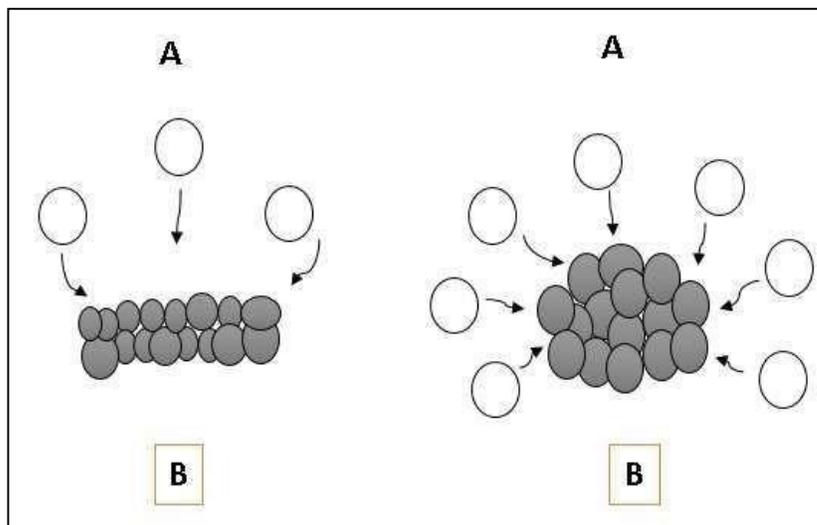


Figura 7 Esquema de la reacción $A+B = C$, Izquierda: material en “bulk”, Derecha: Nanopartícula (Modificado de (R. Pérez, 2016).

Las nanopartículas son producidas a partir de diferentes tipos de metales como el oro, hierro, platino o de óxidos metálicos; en la actualidad las nanopartículas más usadas y caracterizadas son las sintetizadas a partir de iones de plata (Ag), debido a sus propiedades físicas (conductividad), químicas (estabilidad) y biológicas (actividad catalítica y antibacterial) (Gomez Garzón, 2018).

1.6.2.3 Nanopartículas Metálicas

Las nanoestructuras más estudiadas son especialmente las de metales nobles, como el Au y Pt, debido a que exhiben propiedades físicas, químicas y biológicas que son intrínsecas a su tamaño nanométrico. Las nanopartículas de metales, son las más fáciles de sintetizar, así como de controlar el tamaño y la forma y encontrar aplicaciones útiles, de ahí que reciban especial atención por parte de la comunidad científica. Los metales a granel o en “bulk” son dúctiles, maleables, de alta densidad y generalmente se encuentran en su forma cristalina en la naturaleza;

sin embargo, esas propiedades cambian en la nanoescala, por ejemplo, nanopartículas de oro de 1 a 10 nm, presentan un comportamiento de semiconductores, cuando en su forma “bulk” son excelentes conductores del calor y la electricidad. Las nanopartículas metálicas poseen propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas y químicas que son únicas entre ellas, destacan las propiedades químicas que están siendo aprovechadas en el campo de la catálisis debido a su relación área superficial-volumen, como se observa en la Figura 6. El método de síntesis que se emplee tendrá un impacto directo en la forma y tamaño de las nanopartículas y por ende, en sus propiedades (R. Pérez, 2016).

1.6.2.4 Nanopartículas de hierro

En la actualidad existen dos combinaciones atómicas que son consideradas como nanopartículas de hierro, y se trata de la magnetita (Fe_3O_4), como de maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). La magnetita Fe_3O_4 (o también Fe_2O_4), es un óxido de hierro, donde el 27,6 % de los átomos corresponden al elemento oxígeno (O) y el 72,4 % pertenecen a átomos de hierro (Fe). La proporción de los cationes puede expresarse de la siguiente manera: $\text{Fe}^{3+} (\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}) \text{O}_4$, los mismos que al cristalizarse forman un sistema cúbico centrado en la cara (FCC de oxígenos, $a = 8,40 \text{ \AA}$), donde se tiene un punto de red definido en las caras de los vértices y un punto definido en el centro geométrico de la caras Figura 8 (Méndez, 2020).

La estructura atómica molecular consta de 56 átomos en total, de los cuales 32 son de O y 24 son cationes (ion con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones) de Fe, de estos últimos 16 se encuentran en forma férrica (Fe^{3+}) y 8 están en su forma ferrosa (Fe^{2+}). Todas estas distribuciones atómicas permiten capas octaédricas y tetraédricas de hierro. La estructura de magnetita (Fe_3O_4) se caracteriza por un empaquetamiento cúbico compacto centrado en las caras

de oxígenos (o estructura cristalina de espinela), donde los espacios tetraédricos (Td) y octaédricos (Oh) están parcialmente ocupados (Méndez, 2020).

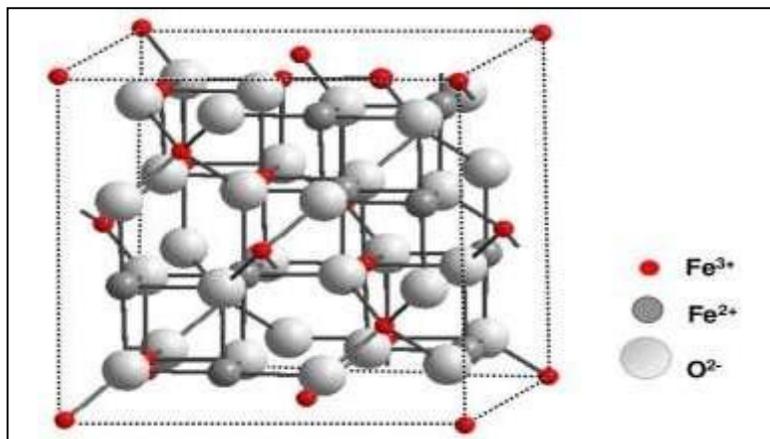


Figura 8 Estructura espinela de la magnetita Fe^3O^4 (Méndez, 2020).

1.6.2.5 Nanopartículas de cobre

El cobre es un elemento metálico, número atómico 29, pertenece a la misma familia que la plata (Grupo 11) ubicado en la tabla periódica, se representa por el símbolo Cu. Es un metal de transición interna, de color rojizo y brillante, posee propiedades muy similares a las de la plata. Se le puede encontrar en la naturaleza como disulfuro de cobre y hierro ($FeCuS^2$) en el mineral Calcopirita. Es el segundo mejor conductor de la electricidad (el primero es la plata), sin embargo, es el metal más utilizado para aplicaciones eléctricas debido a su menor costo con respecto a la plata. Figura 9 las nanopartículas de cobre también poseen actividad catalítica y en la actualidad son objeto de intensa investigación en este campo, además se sabe que poseen propiedades antimicrobianas y antimicóticas. Al igual que las nanopartículas de plata, sus propiedades tienen una gran dependencia en la forma y tamaño del que estén compuestas (R. Pérez, 2016).



Figura 9 Izquierda: Cobre en estado nativo, Derecha: Np's de Cu en disolución (R. Pérez, 2016).

1.6.2.6 Métodos de síntesis de nanopartículas

En las últimas décadas se han desarrollado diversos métodos para la síntesis de nanopartículas. De forma general hay dos rutas a seguir para ello, la Figura 10 muestra un esquema de ambas rutas de síntesis (Ramos, 2017).

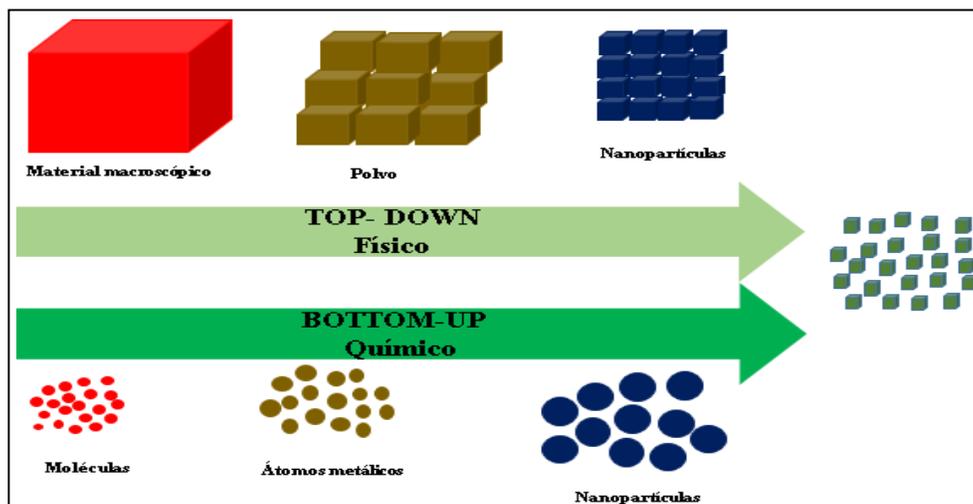


Figura 10 Esquema representativo de las dos rutas de síntesis de Nanopartículas (Elaboración propia).

Existen numerosos métodos disponibles para sintetizar nanopartículas, sin embargo el desafío actual se dirige hacia el control del tamaño de la nanopartícula, distribución de tamaño, morfología, cristalinidad y propiedades. Todo esto con el fin de aplicar las nanopartículas a un propósito determinado y preparar una variedad de materiales. En la Figura 11 muestra la

clasificación de los métodos de síntesis de acuerdo con la estrategia que siguen también pueden clasificarse por la fuente de energía utilizada o por la naturaleza del proceso (García, 2013).

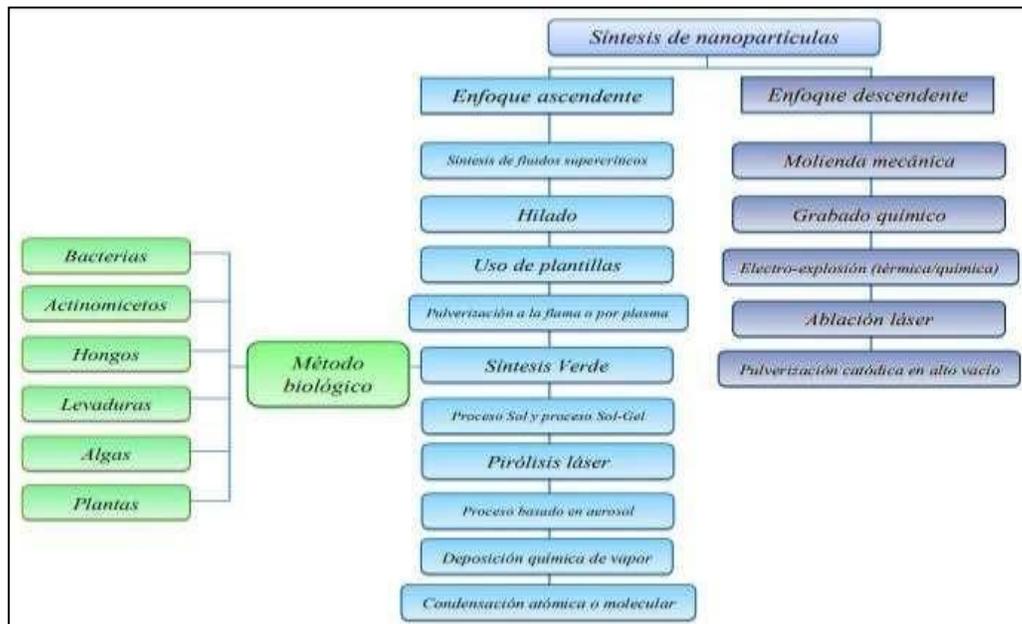


Figura 11 Esquema de las diferentes estrategias utilizadas para la síntesis de nanopartículas (Elaboración propia)

1.6.2.6.1 Enfoque descendente o Top-Down

Son los métodos que reducen partículas macroscópicas a tamaño manométrico (Ramos, 2017).

Los principales procesos del enfoque descendente se muestran en la Tabla 1.3

Tabla 1.3 Enfoques descendentes Top-Dow (Elaboración propia con información de (Ramos, 2017).

Concepto	Descripción
Foto-litografía	El proceso consiste en producir una máscara que lleva la información de patrón requerida y posteriormente transferir ese patrón, usando alguna técnica óptica en un polímero fotoactivo o fotorresistente (Ramos, 2017).
Litografía por irradiación de electrones	La litografía de haz de electrones consiste en la irradiación de electrones de una superficie que está cubierta con una resistencia sensible a electrones por medio de un haz de electrones enfocado (Ramos, 2017).
Nanosphere lithography (NSL)	La NSL es una herramienta de fabricación barata para producir matrices regulares y homogéneas de nanopartículas de diferentes tamaños. Este método combina las ventajas de los enfoques “top-down” y “bottom-up” (Ramos, 2017).

1.6.2.6.2 Enfoque ascendente o Bottom-Up

Estos métodos parten de átomos que se agregan en una fase acuosa o gaseosa para la síntesis de las nanopartículas. De manera general, se reconoce que la ruta de síntesis “Top-down” está compuesta por una serie de métodos físicos, mientras que la ruta “Bottom-up” se compone de métodos químicos (Ramos, 2017).

Los principales procesos de enfoque ascendente se muestran en la tabla 1.4

Tabla 1.4 Enfoques ascendentes Bottom-Up (Elaboración propia con información de Ramos, 2017).

Concepto	Descripción
Síntesis química húmeda	La síntesis húmeda comprende todas aquellas rutas que involucren el uso de disoluciones. El método químico es relativamente barato, no tóxico, en el que se invierte relativamente poco tiempo, muy simple ya que contiene pocas sustancias químicas y no requieren sofisticados instrumentos costosos (Ramos, 2017).
Microemulsión:	El método de microemulsión es una de las técnicas de preparación más versátil que permite controlar las propiedades de las partículas tales como tamaño, geometría, morfología, homogeneidad y superficie. Las microemulsiones son isotrópicas, macroscópicamente homogéneas y termodinámicamente estables y contienen al menos tres componentes, los cuales son una fase polar (usualmente agua), una fase no polar (usualmente aceite) y un surfactante (Ramos, 2017).
Sol-gel	El proceso sol-gel es una técnica química húmeda, este método se utiliza principalmente para la fabricación de materiales partiendo de una solución química (sol) que actúa como precursor de una red integrada (o gel) de partículas discretas (Ramos, 2017).
Autoensamblaje	El autoensamblaje es la asociación espontánea de un conjunto de moléculas en una o más estructuras supramoleculares, impulsadas por múltiples interacciones no covalentes. Estas interacciones incluyen enlaces de hidrógeno, atracción electrostática y fuerzas de Van der Waals, y a menudo están controladas por el efecto hidrófobo (Ramos, 2017).

Los métodos de producción se pueden clasificar según la fase en la que se encuentran las nanopartículas, es decir, producción en fase vapor, líquida y sólida. La producción de nanopartículas en fase vapor se lleva a cabo a menudo a altas temperaturas y en vacío, descarga de arco en gas o a presión atmosférica, la descarga de arco en líquido, pirolisis y disposición química en fase vapor. La formación de nanopartículas en fase líquida sigue una ruta química húmeda. Existen métodos para controlar el tipo, forma y tamaño de nanopartículas, los cuales son el solvotérmico, el sol-gel, el basado en plantillas y el método micela/microemulsión. Por último, la síntesis de nanopartículas en fase sólida ha sido desarrollada recientemente. Es denominada método mecánico químico y la tipología más usada, generalmente, emplea un procedimiento de molienda (Ramos, 2017).

1.6.2.6.3 Síntesis verde

La producción habitual de nanopartículas utiliza materiales tóxicos como: solventes y surfactantes el cual puede afectar el medio ambiente. La síntesis verde es una técnica de alternativa de bioproducción de material nanoparticulado junto con material metálico (oro, plata, hierro, cobre y óxidos metálicos), que busca ser amigable con el medioambiente. El proceso se basó al principio en la biorremediación, técnica en la cual las funciones naturales de las plantas son usadas para extraer y recuperar metales de suelos previamente contaminados con estos, ya que las plantas no solo acumulaban metales, sino que también los metales eran depositados como nanopartículas. Uno de los primeros reportes sobre el uso de la síntesis verde para producir nanopartículas de plata fue con plantas de alfalfa tratadas con nitrato de plata como fuente de iones de plata. El análisis de los tejidos reveló que las nanopartículas de plata que medían entre 2 a 20 nm de diámetro se habían acumulado en las raíces y brotes de las plantas (Gomez Garzón, 2018).

La síntesis verde se basa en la reducción de metales mediante especies naturales con poder antioxidante. Durante la última década se ha demostrado que muchos sistemas biológicos pueden reemplazar los agentes químicos reductores incluyendo, plantas y algas, diatomeas, bacterias, levaduras, hongos, virus y células humanas. Los microorganismos son capaces de transformar los iones inorgánicos metálicos en nanopartículas de metal por medio de las capacidades reductoras de los metabolitos y de las proteínas de estos mismos como se muestra en la Figura 12. La síntesis de las nanopartículas puede llevarse a cabo a nivel intra o extracelular, es así como las plantas son capaces de reducir los mismos iones inorgánicos en nanopartículas metálicas tanto en su superficie vegetal, como en ciertos tejidos, un ejemplo es el nitrato de plata u óxidos metálicos y óxido de titanio. Diferentes estrategias con plantas han sido desarrolladas para la síntesis de las nanopartículas, algunas usan sales de metales (Gomez Garzón, 2018).

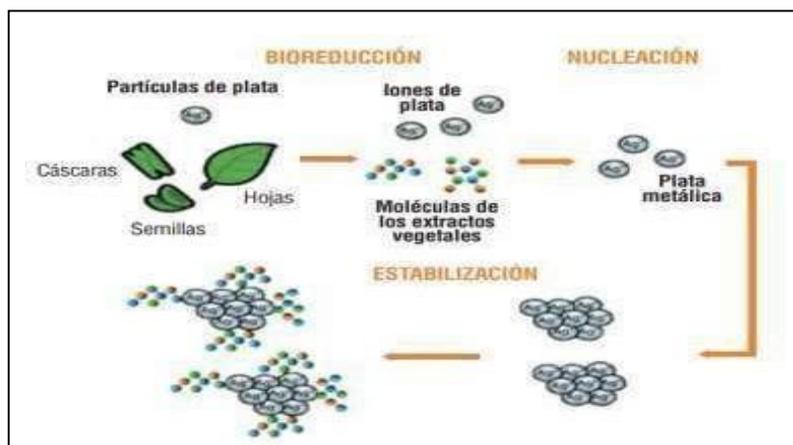


Figura 12 Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata metales (Gomez Garzón, 2018).

El uso de extractos de plantas para sintetizar nanopartículas es el método más rápido.

1.6.2.6.3 Ventajas del uso de plantas

El usar plantas para la elaboración de una síntesis verde con lleva a tener grandes ventaja las cuales son las siguientes:

- Disponibilidad de plantas
- Fácil de conseguir
- Económico
- Ahorro energético
- Proceso más rápido y sin necesidad de usar materiales tóxicos.
- Proceso a realizar a temperaturas ambientales.
- Se pueden realizar para cualquier tipo de elementos.

La síntesis de nanopartículas a partir de extractos de plantas implica tres fases: (1) fase de activación, (2) fase de crecimiento y (3) fase de terminación del proceso. Durante la activación, se producirá la reducción de iones metálicos, y esto conduce a la formación de nuevas estructuras mediante autoorganización (nucleación) reducción de átomos metálicos. La segunda fase implica el crecimiento de la estructura recién formada y una mayor reducción de los iones metálicos con un aumento de la estabilidad termodinámica de las nanopartículas formadas. La Figura 13 representa de forma general los pasos de la síntesis de fitonanopartículas, así como las principales herramientas reportadas para la caracterización de las fitonanopartículas de cobre (Jonapá-hernández et al., 2020).

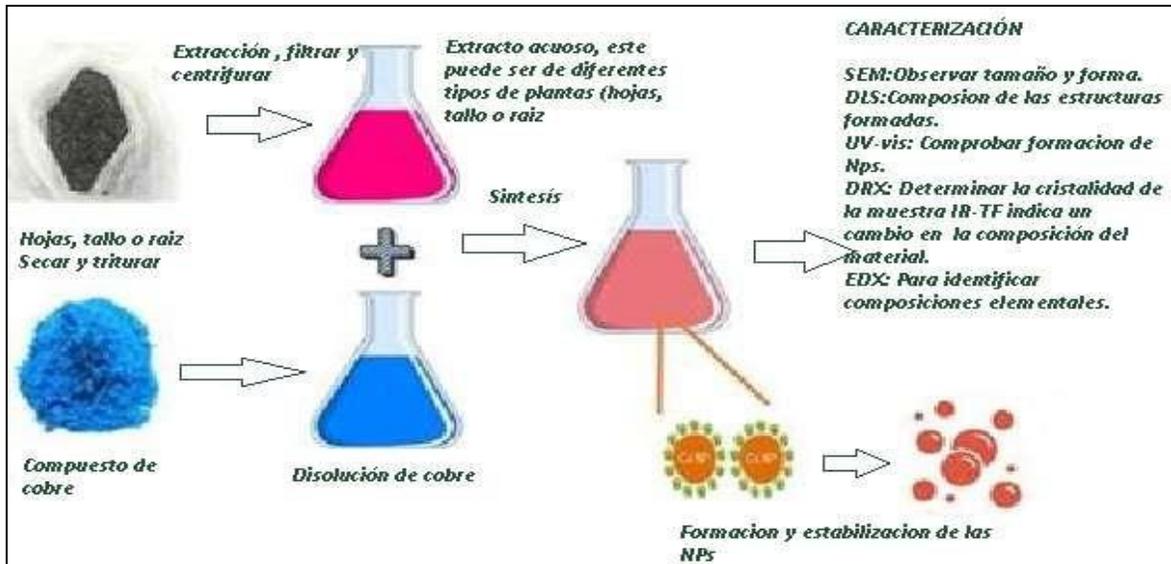
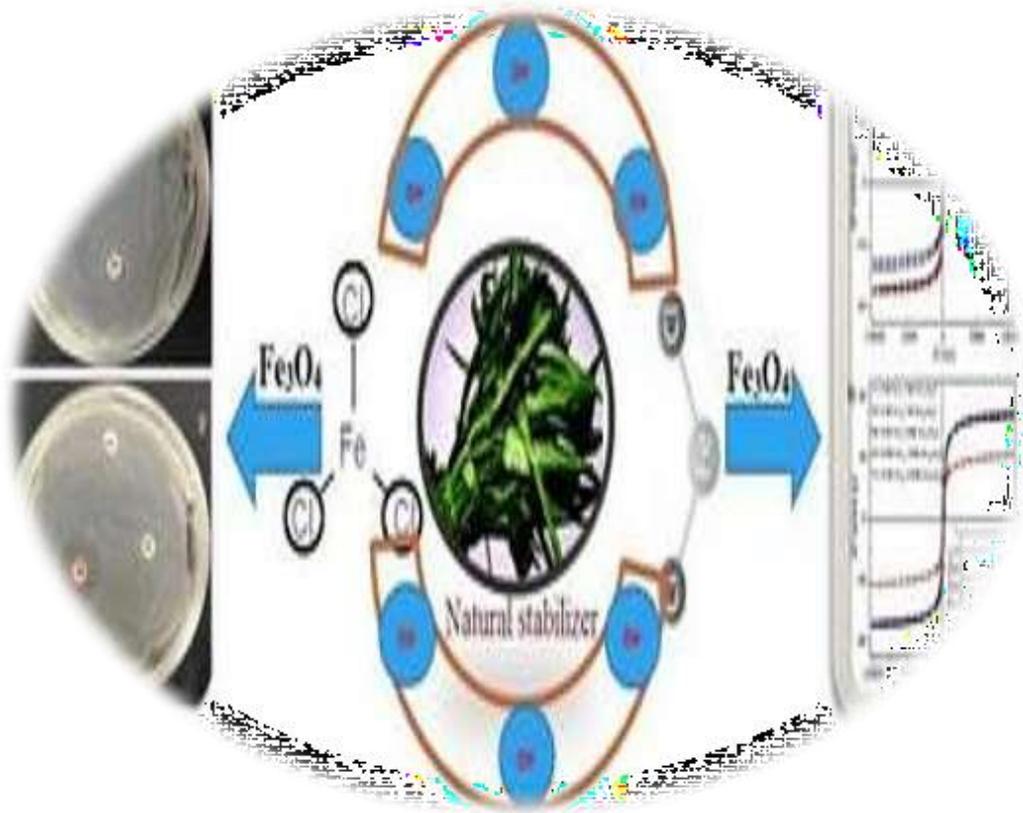


Figura 13 Síntesis de fitopartículas (Jonapá-hernández et al., 2020).

CAPÍTULO II



2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Nanopartículas metálicas y bimetálicas

La formación de nanopartículas mediante el uso de plantas y sus extractos han visualizado una gran atención, puesto que de acuerdo con los artículos revisados, los investigadores buscan prolongar la vida útil de las nanopartículas metálicas, evitar efectos no deseados como la agregación en solución acuosa y el uso de solventes orgánicos, así como la reutilización y el reciclaje de las nanopartículas, es vital seleccionar agentes estabilizadores y formas de funcionalización que sean amigables con el medio ambiente, no tóxicas y fáciles de implementar.

En la Tabla 1.5 se resume información destacada obtenida de diversos artículos donde varios investigadores experimentaron con plantas para la obtención de nanopartículas metálicas de Au, Ag, Cu, Zn, Fe y Pt, se describen las condiciones que se aplicaron y las características que se obtuvieron.

Tabla 1.5 Estudio de obtención de nanopartículas metálicas, condiciones y características obtenidas (Elaboración Propia).

Metal	Plantas utilizadas	Condiciones de las nanopartículas	Tamaño y forma de las nanopartículas	Autor
Au	<i>Alfalfa (Medicago sativa)</i>	pH 3.89 Temperatura ambiente Sal precursora: AgNO ₃ Concentración de sal: 1: 1M	Forma cubica Tamaño 2 - 20nm	(Valencia, 2019).
	<i>Aspergillus terreus</i>	pH 4.60 Temperatura 30 ° C Sal precursora: Ag ₂ S Concentración de sal: 1:3M	Forma esférica Tamaño 20 a 29 nm	(Fatimah et al., 2020).
	<i>Clitorea ternatea (Conchita azul)</i>	pH 3.69 Temperatura ambiente Sal precursora: AgCl Concentración de sal: 1:6M	Forma cubica Tamaño 230-300 nm y 500-550 nm	(Fatimah et al., 2020).
	<i>Cassia auriculata</i>	pH 4.12 Temperatura ambiente Sal precursora: AgCl Concentración de sal: 1:1M	Forma en triangular Tamaño 150-205nm	(Anu et al., 2020).

Ag	<i>Capsicum annum</i> L. (pimiento de Cayena)	pH 4.73 Temperatura ambiente Sal precursora: AgNO ₃ Concentración de sal:1.2M	Forma esférica Tamaño 150-200nm.	(Liu et al., 2020).
	<i>Bombyx mori silkworm</i>	pH Verde oscuro Temperatura 30° C Sal precursora: Ag ₂ S Concentración de sal:1:5M	Forma cubica Tamaño 6 – 12 nm	(Alitán et al, 2019).
	<i>Paliurus spina-christi</i> (<i>La espina santa</i>)	pH 5.10 Temperatura 15°C. Sal precursora: AgNO ₃ Concentración de sal: 1.5M Técnica UV- Vis	Forma Amorfas Tamaño 20-36 nm	(Abdulqader et al., 2020).
	<i>Acacia leucophloea</i>	pH 4.85 Temperatura 30° C Sal precursora: AgCl Concentración de sal:1:2M	Forma esférica Tamaño 38 - 72 nm	(Alabdallah & Hasan, 2021).
	<i>Conocarpus Lancifolius</i>	pH 3.39 Temperatura ambiente Sal precursora: AgCl Concentración de sal:1:1M Se usó un espectrómetro UV-visible	Forma circular Tamaño 150 y 350 nm.	(Oves et al., 2021).
	<i>Acacia leucophloea</i>	pH 4.85 Temperatura 30° C Sal precursora: AgCl Concentración de sal:1:2M	Forma circular Tamaño 38 - 72 nm	(Alabdallah & Hasan, 2021).
Cu	<i>Eustoma grandiflorum</i>	pH 4.80 Temperatura 30 °C Sal precursora: Cu ₂ HS Concentración de sal:2:2M Nnp's analizadas por el difractómetro de rayos X Seifert 3003TT	Forma cuadrado Tamaño 20 -30 nm.	(Rajesh et al., 2018).
Cu II	<i>Ziziphus spina – christi</i> (<i>Espinaca de cristo</i>)	pH 5.97 Temperatura 30 °C Sal precursora: Cu Concentración de sal:1:3 M Técnica UV- Vis	Forma cuadrado Tamaño 8 a 15 nm.	(Khani et al., 2018).
	<i>Azadirachta flor</i> (<i>Neem</i>)	pH 4.83 Temperatura 30 °C Sal precursora: CuSO ₄ Concentración de sal:2.4M Técnica UV- Vis	Forma circulo Tamaño 550 nm.	(Gopalakrishnan & Muniraj, 2020)

Zn	<i>C. abyssinica (Lam.)</i>	pH 3.69 Temperatura ambiente Sal precursora: $ZnC_4 H_6 O_4$ Concentración de sal:3:1M Se utilizó espectroscopía (EDS)	Forma hexagonal Tamaño 90-110 nm.	(Safawo et al., 2018).
	<i>Abelmoschus Esculentus (Quimbombó)</i>	pH 5.62 Temperatura ambiente Sal precursora: $ZnSO_4$ Concentración de sal:2:1M	Forma truncado Tamaño 200 nm.	(Wang et al., 2020).
Pt	<i>Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici</i>	pH N/R Temperatura 30 °C Sal precursora: $Pb(NO_3)_2$ Concentración de sal:2:1M	Forma TEM Tamaño 10-100 nm.	(Gomez Garzón, 2018).
Fe	<i>Escherichia coli</i>	pH 4.89 Temperatura ambiente Sal precursora: $FeSO_4$ Concentración de sal:2:1M	Forma amorfas Tamaño 200nm.	(Katata-seru et al., 2018).
	<i>Piper nigrum (Pimienta negra)</i>	pH 5.33 Temperatura 30 °C Sal precursora: $Fe(NO_3)_3$ Concentración de sal:2:1M	Forma hexagonal Tamaño 60-80 nm.	(Abdulqader et al., 2020).
	<i>Saussurea lappa</i>	pH 6.12 Temperatura ambiente Sal precursora: $FeSO_4$ Concentración de sal: 3:1M Espectro UV-Visible	Forma truncado Tamaño 200 nm.	(Kolahalam et al., 2021).

Los metales bimetalicos están formados por tiras bimetalicas por una unión de dos metales diferentes con diferentes coeficientes de expansión térmica, básicamente las bandas bimetalicas son elementos que puede detectar la temperatura y el pH de la solución.

Alguna ventaja de los bimetales es que pueden tener una mayor obtención de nanopartículas metálicas, se puede observar el cambio más rápido trabajado a temperatura ambiente.

Tabla 1.6 Estudio de obtención de nanopartículas bimetálicas, condiciones y características obtenidas (Elaboración Propia).

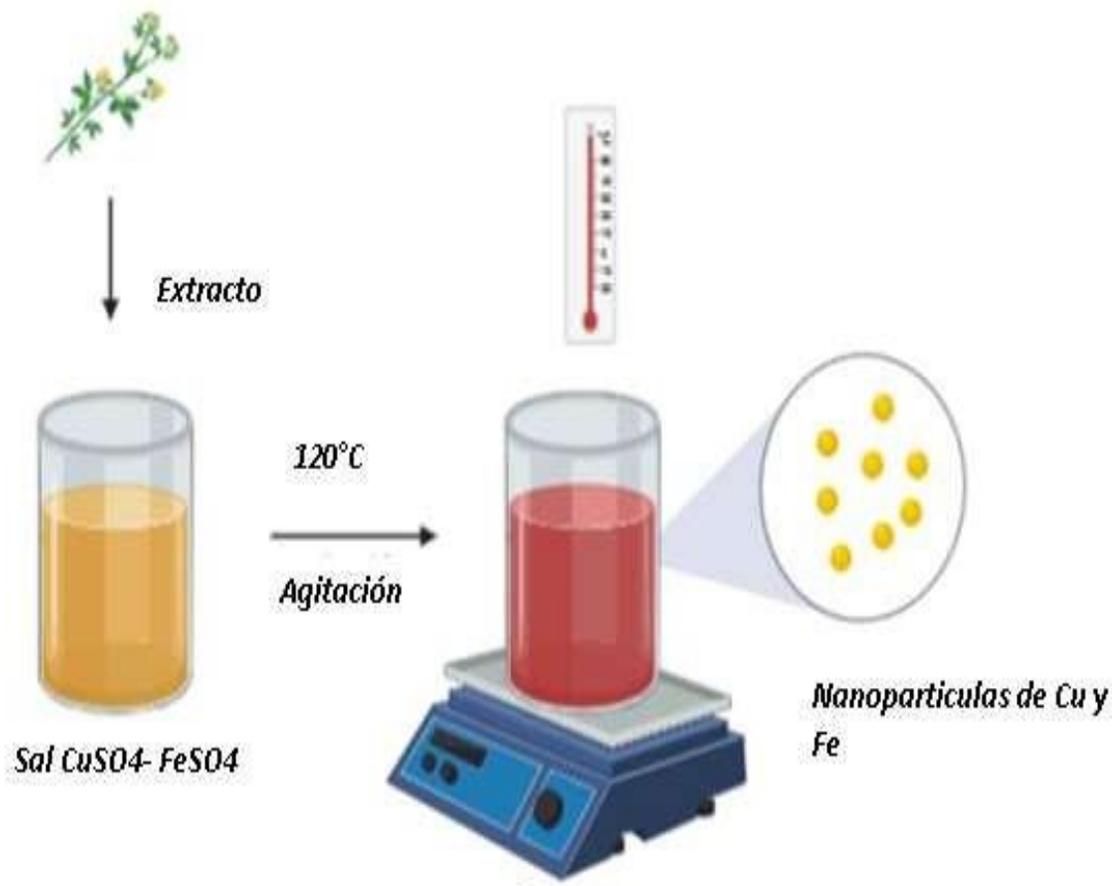
Bimetáles	Plantas utilizadas	Condiciones de las nanopartículas	Tamaño y forma de las nanopartículas	Autor
Au y Ag	<i>Fruta Emblica Officinalis (grosella de la India)</i>	pH 4.40 Temperatura ambiente Sal precursora: AgCl y AuCl Concentración de sal:1.5M	Forma cilíndrica Tamaño 10 -20 nm de (Au) Tamaño 15 y 25 nm de (Ag)	(Ankamwar et al., 2005).
	<i>Aloe Vera</i>	pH 3.53 Temperatura ambiente Sal precursora: Nitrato Concentración de sal: 1:5M	Forma en triángulos de Au y esféricas de Ag Tamaño 15.2 ± 4.2 nm	(Khan et al., 2021).
	<i>Cinnamomum camphor</i>	pH 5.43 Temperatura ambiente Sal precursora: Ag ₂ S Concentración de sal:2:1M	Forma cubica centrada en las caras (FCC) Tamaño de 50 - 85 nm	(Jiale et al., 2007).
	<i>Té verde</i>	pH 3.98 Color Oscuro Temperatura ambiente Sal precursora: Ag Cl y Au Cl Concentración de sal:2:1M	Forma Esférica diámetro aglomerado y esférico que varía de 42 a 60, 26-40- y 10-20 nm,	(Asif et al., 2018).
Ag y Cu	<i>Pelargonium graveolens (hoja del geranio)</i>	pH 4.25 Temperatura 30 °C. Sal precursora: Ag ₂ S y CuS Concentración de sal: 3.6mM Técnica UV- Vis	Tamaño en un intervalo de 16 – 40 nm Forma cubica	(Carri & Rosas-saito, 2019)
	<i>Hibiscusrosa sinensis (Rosa de china)</i>	pH 3.96 Temperatura ambiente Sal precursora: AgCl y CuCl ₂ Concentración de sal:1:1M Técnica UV- Vis	Forma en Prisma o esférica Tamaño 14 nm.	(Khan et al., 2021)
	<i>Fusarium oxysporum</i>	pH 4.21 pH 4.69 Temperatura ambiente Sal precursora: AgNO ₃ y CuNO Concentración de sal:3:1 Técnica UV- Vis	Forma cubica Tamaño 5-50 nm.	(Nabavi et al., 2011)
	<i>Salvia officinalis</i>	pH 5.43 pH 4.80 Temperatura 10 °C Sal precursora: AgNO ₃ y Cu(NO ₃) ₂ Concentración de sal:1:1M Técnica UV- Vis	Forma cubica Tamaño 36- 40 nm.	(Shdied et al., 2020).

	<i>Verticillium</i>	pH 3.38 pH 4.93 Temperatura 24 °C Sal precursora: AgNO ₃ y Cu(NO ₃) ₂ Concentración de sal:1:1M Técnica UV- Vis	Forma Hexágono Tamaño 25- 12 nm.	(Sen et al., 2020).
Ag y Fe	<i>Passiflora edulis</i> (<i>Pasionaria</i>)	pH N/R Temperatura de 27 °C. Sal precursora: Ag ₂ S y FeS Concentración de sal:2:1M Técnica UV- Vis	Forma esférica Tamaño 20 a 25 nm	(Javaid et al., 2021).

De acuerdo con los artículos que reportaron los diferentes autores se puede observar que los parámetros que tomaron para la obtención de nanopartículas son pH, temperatura, sal precursora, concentración, relación volumen, facilidad de manejo, proceso económicamente viable y facilidad de realizar reacciones a escala mayor.

De acuerdo con las condiciones que evaluaron los autores muestran que trabajan con un pH mínimo de 3 y máximo de 6 el cual es reportado en al menos 30 artículos y a una temperatura ambiente con diferentes tipos de sales a una relación volumen de 1:1,2:1 y 3:1

CAPÍTULO III



3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA

En la metodología se determina todas la generalidades del tema se analiza y clasifica la información consultada por autores, se describen los métodos a utilizar para la obtención de nanopartículas de Cu y Fe de acuerdo con la Figura 14.

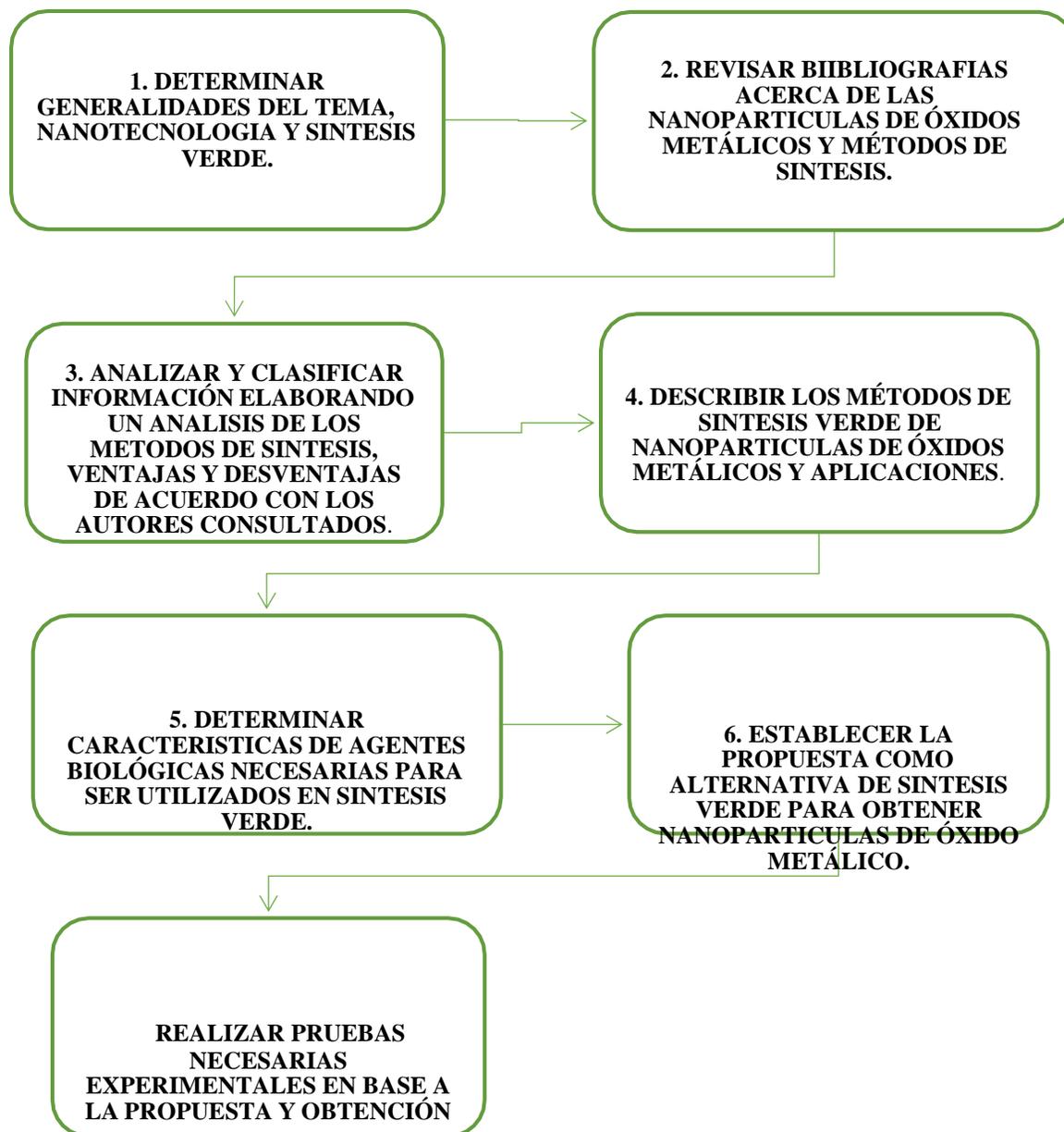


Figura 14 Diagrama de bloque sobre la metodología que se realizó en esta investigación (Elaboración propia)

3.1.1 Actividad 1: Determinar generalidades del tema, nanotecnología y síntesis verde.

Procedimiento:

- Se realizó una búsqueda de información sobre temas relacionados con la nanotecnología y sus vertientes.
- Se identificaron los temas relevantes y se seleccionaron los documentos publicados en revistas especializadas.
- Se descargaron de la web todos los archivos seleccionados, los cuales se revisaron detalladamente obteniendo la información útil para el establecimiento del marco teórico del presente trabajo.

3.1.2 Actividad 2: Revisar bibliografía acerca de las nanopartículas de óxidos metálicos y métodos de síntesis.

Procedimiento:

- Se realiza investigación de artículos, revistas, libros y fuentes confiables que se caracteriza por ser actuales, originales además de ser publicados por editoriales de prestigio internacional (Elsevier, SCielo, Molecules, entre otros), cita a sus fuentes de información y poseen buen razonamiento lógico, entonces la información que tienen es confiable. Se encontró información acerca de obtención de nanopartículas de óxidos metálicos y métodos de síntesis verde.
- Se analiza la información y se selecciona lo más importante.

3.1.3 Actividad 3: Analizar y clasificar información elaborando un análisis de los métodos de síntesis, ventajas y desventajas de acuerdo con los autores consultados.

Procedimiento:

- Se especificó la información revisada, a partir de la cual se planeó un esquema de temas y subtemas para estructurar el cuerpo del marco teórico.
- Se analizó la información recabada sobre los métodos de síntesis así como sus ventajas y desventajas.

3.1.4 Actividad 4: Describir los métodos de síntesis verde de nanopartículas de óxidos metálicos y aplicaciones.

Procedimiento:

- Se identificaron los métodos de síntesis verde y sus aplicaciones los cuales reportadas por varios autores.

3.1.5 Actividad 5: Identificar características de agentes biológicas necesarias para ser utilizadas en síntesis verde.

Procedimiento:

- De acuerdo con la literatura revisada, se identificaron las características que deben presentar las plantas para la síntesis de nanopartículas metálicas u óxidos metálicos, las cuales deben presentar altos contenidos de moléculas antioxidantes como: polifenoles, taninos, azúcares reductores, aminoácidos, pigmentos, clorofila entre otros, los cuales son abundantes en estas especies:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| a) Cáscara de naranja | g) Hojas de níspero |
| b) Hueso de aguacate | h) Hojas de guayaba |
| c) Cáscara de limón | i) Equinácea |
| d) Pulpa de guayaba | j) Tomillo |
| e) Fruto níspero | k) Árnica |
| f) Pingüica | l) Moringa |

m) Pelo de elote

- Las especies vegetales arriba propuestas son conocidas por sus cualidades antioxidantes y medicinales, se utilizaron para su evaluación en la síntesis de nanopartículas de Fe y Cu.

Plantas utilizadas en el proceso de las infusiones

1.- TOMILLO

Nombre Científico: *Thymus vulgaris*.

Familia: Labiadas

Descripción: Es un arbustillo que no excede de 40 cm., de tallo leñoso y ramificado. Las hojas son pequeñas opuestas de un color verdoso por el haz y grisáceo por el envés. Las flores son pequeñas de color rosado, blanco o violáceo. La planta del tomillo se caracteriza por exhalar un olor a timol penetrante y agradable (Juven et al., 1994).

Principales componentes: Aceite esencial (Timol).

Usos: antiséptico; estimulante de las funciones respiratorias, digestivas y circulatorias, tónico sobre los centros nerviosos y condimento en la preparación de algunos platos culinarios.

Pasos: Ver Figura 15



Figura 15 Procedimiento de molienda del tomillo (Elaboración propia).

2.- EQUINÁCEA

Nombre Científico: *Echinacea angustifolia*

Familia: Asteraceae

Descripción: Es una planta herbácea con raíz negra y picante. Alcanza el metro de altura y sus hojas son enteras y lanceoladas con tres nerviaciones. Las flores periféricas tienen las lígulas estrechas y de color rosa o púrpura. Las flores internas son tubulares y de color amarillo pálido. El receptáculo es espinoso, de allí el nombre genérico de la planta (Echinacea, del griego "echino", espinoso) (Kligler, M.D., 2003).

Principales componentes: Son polisacáridos heterogéneos y glucoproteínas (metil-glucuronil-arabinosilanos, arabinoramnogalactanos), ácidos fenólicos (ácido cafeico, achicórico, ferúlico, clorogénico), ésteres del ácido cafeico (equinacósido y verbascósido), flavonoides (rutina, quercitrina, kenferol), alcaloides pirrolizidínicos (tusilagina e isotusilagina), políinos e isobutilamidas. En la parte aérea contiene aceite esencial rico en borneol, acetato de bornilo, cariofileno, etc.

Usos: Es utilizada para tratar heridas e infecciones de la piel, inflamaciones, picaduras de insectos y mordeduras de serpiente. Sin embargo, actualmente su aplicación más común es en la profilaxis y tratamiento de afecciones de las vías respiratorias, desde el resfriado común hasta la gripe y otros procesos infecciosos del tracto respiratorio, tales como bronquitis, laringitis, faringitis, sinusitis, otitis y amigdalitis

Pasos: Ver Figura 16



Figura 16 Procedimiento de molienda de la Equinácea (Elaboración propia).

3.- HOJA DE GUAYABA

Nombre Científico: *Psidium guajava*

Familia: Myrtaceae

Descripción: Árbol o arbusto perennifolio o caducifolio, de 3 a 10 m (hasta 20 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 60 cm, tronco torcido y muy ramificado, ramas gruesas, ascendentes y retorcidas (Deguchi & Miyazaki, 2010).

Principales componentes: Son flavonoides, entre los cuales se encuentran la quercetina y arabinosil-quercetina (guyaverina) otros componentes como: triterpenoides, incluyendo ácidos oleánico, ursólico, crataególico, y guayavólico, así como sitosterol.

Usos: Contienen altos niveles de vitamina C y hierro, por lo que un té de hojas de guayaba es muy útil para aliviar la tos y el resfriado, ya que ayuda a eliminar la mucosidad. También desinfecta el tracto respiratorio, la garganta y los pulmones.

Formas de usos: Infusión, Extracción.

Pasos: Ver Figura 17 y 18



Figura 17 Procedimiento de molienda de la hoja de guayaba (Elaboración propia).

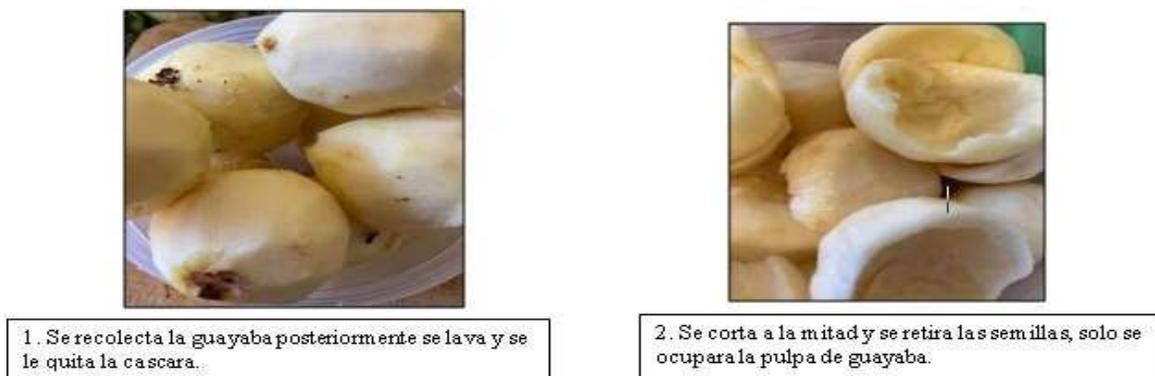


Figura 18 Procedimiento de la obtención de la pulpa de guayaba (Elaboración propia).

4.- HOJA DE NÍSPERO

Nombre Científico: *Eriobotrya japonica*

Familia: Rosaceae

Descripción: El níspero es un árbol pequeño, de unos 5 - 8m de altura, con la copa redondeada. El tronco es recto y se ramifica a muy baja altura. Las raíces son muy superficiales. Las hojas son alternas y cubiertas de pelos, de forma lanceolada o elíptica. El fruto es aperado y de color amarillo anaranjado, midiendo entre 2,5 y 6 cm de largo. La cáscara es fina y fuerte y la pulpa es blanca o amarilla, jugosa y algo ácida. Contiene entre 1 y 10 semillas de color castaño oscuro (Nabavi et al., 2011).

Principales componentes: Tienen un alto contenido en minerales, entre los que se halla el potasio, el hierro, el fósforo, el calcio, aparte de ser riquísimo en su contenido de vitamina C.

Usos: Cuentan con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, diuréticas, adelgazantes y mucolíticas. Además, como las semillas, mejoran el funcionamiento del riñón y del hígado.

Formas de uso: Infusión, Conservas.

Pasos: Ver Figura 19 y 20



Figura 19 Procedimiento de la molienda de la hoja de níspero (Elaboración propia)

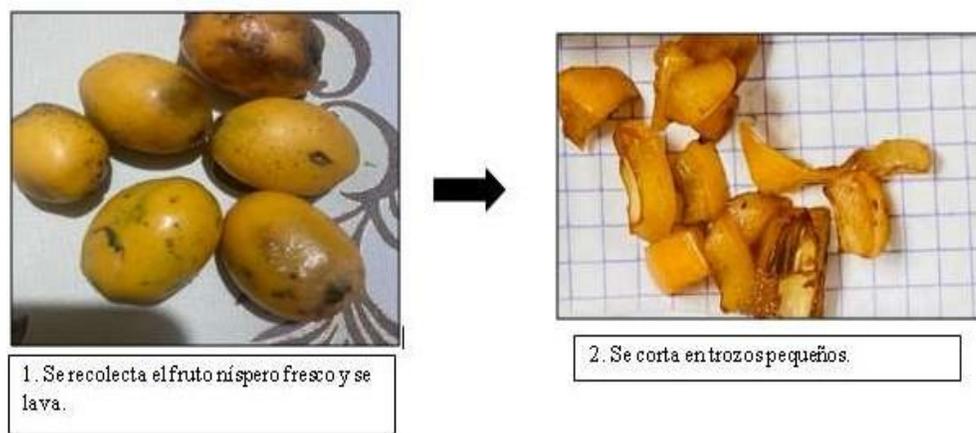


Figura 20 Procedimiento de la obtención del níspero fruto (Elaboración propia).

6.- HUESO DE AGUACATE

Nombre Científico: *Heilipus lauri*

Familia: Lauraceae

Descripción: El árbol puede alcanzar alturas de alrededor de 20 m, más comúnmente entre 8 y 12 m, y un diámetro a la altura del pecho de 30-60 cm, con tronco erecto o torcido, copa extendida, globulosa o acampanulada, con ramas bajas, ramas jóvenes de color verde amarillento y después se tornan opacas con cicatrices prominentes dejadas por las hojas, corteza áspera y a veces surcada longitudinalmente (Gómez et al., 2014).

Principales componentes: El interior de la semilla del aguacate contiene alcohol behenílico, un ingrediente utilizado en los remedios antiviricos; heptacosane, un compuesto químico que se utiliza para inhibir la reproducción de las células tumorales, y ácido dodecanoico, que ayuda a incrementar la densidad de las lipoproteínas.

Pasos: Ver Figura 21

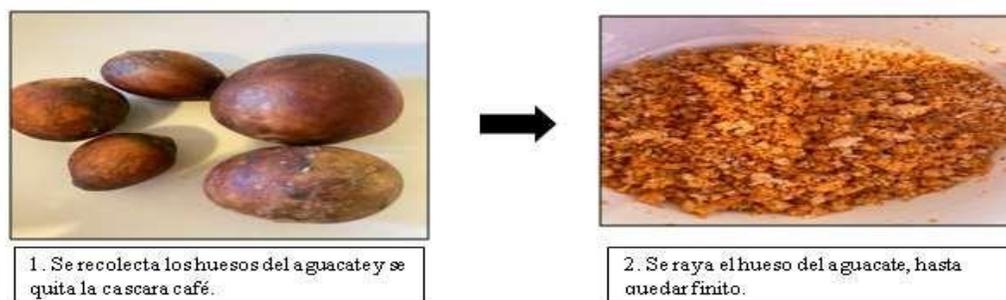


Figura 21 Procedimiento de la obtención del hueso de aguacate rayado (Elaboración propia).

7.- CASCARA DE LIMON

Nombre Científico: *Citrus*

Familia: Rutaceae

Nombre Español: Limón

Descripción: Es un árbol perenne, a menudo con espinas, que puede alcanzar los cuatro metros de altura, con copa abierta muy ramificada. Sus hojas son alternas, simples, coriáceas, con limbo elíptico de margen más o menos cerrado, glanduloso a su vez contiene una nervadura penninervial. La inserción de su tallo es peciolada y su disposición es alterna. Es de color verde mate lustroso

de unos 5 a 10 cm de largo y con peciolo cilíndrico articulado. Las flores, comúnmente llamadas (al igual que las del naranjo) azahares o flores de azahar, son solitarias o se organizan en pares o cortas inflorescencias corimbosas axilares amarillentas, centimétricas, irregularmente y longitudinalmente surcadas (Miyake et al., 1998).

Principales componentes: Potasio, vitamina C, ácidos orgánicos y flavonoides

Usos: Es utilizada para prevenir la acción de virus y bacterias, aumentando las defensas del organismo. Es decir, activa los glóbulos blancos debido a su alto contenido en vitamina C.

Formas de uso: Infusiones

Pasos: Ver Figura 22

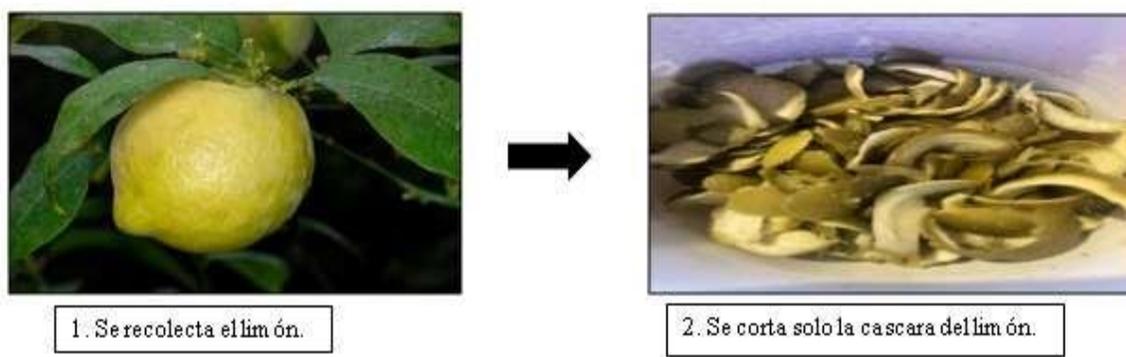


Figura 22 Procedimiento de la obtención de la cascara de limón (Elaboración propia).

8.- BRÓCOLI

Nombre Científico: *Brassica oleracea varitalica*

Familia: Brassicaceae

Descripción: Planta anual de tallo corto y erecto culminando en una inflorescencia de color verde grisáceo con hojas laterales que la tapan. Hojas alargadas y onduladas de limbo color verde oscuro con un nervio central de color blanco. La parte útil es la inflorescencia formada por una agrupación de floretes verdes grisáceos (Jeffery et al., 2003).

Principales componentes: Betacarotenos, Fibra, Calcio, Magnesio, Vitamina C, Ácido fólico.

Usos: Alimenticio y Medicina natural.

Pasos: Ver Figura 23

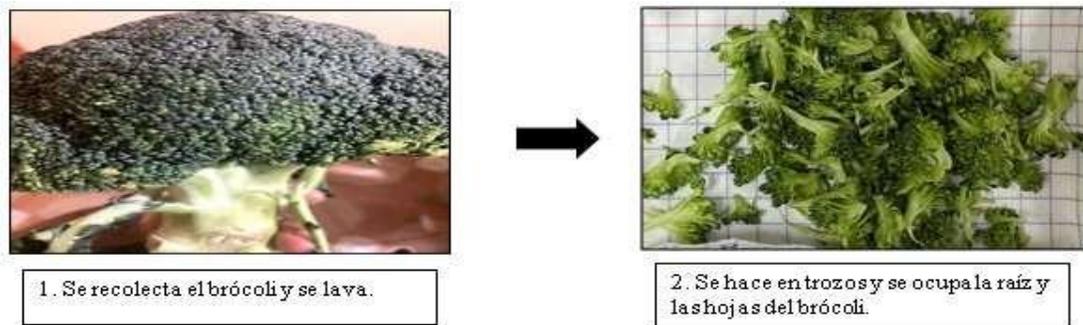


Figura 23 Procedimiento de la obtención del brócoli (Elaboración propia).

9.- CASCARA DE NARANJA

Nombre Científico: *Citrus reticulata x Citrus paradisi*

Familia: Rutáceas

Descripción: El género botánico Citrus la familia que consta de unas 20 especies con frutos comestibles, todos abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Tienen la pulpa formada por muchas vesículas llenas de jugo. El naranjo dulce se la considera la especie más importante y es el más cultivado de todos los cítricos (Martin et al., 2010).

Principales componentes: Hidratos de carbono, ácidos orgánico, aminoácidos libres, bases nitrogenadas, iones inorgánicos, con acción vitamínica, flavonoides, volátiles, carotenoides, enzimas, lípidos.

Usos: Infusión para la tos, Absorbe la humedad, Absorbe los olores de las neveras.

Pasos: Ver Figura 24

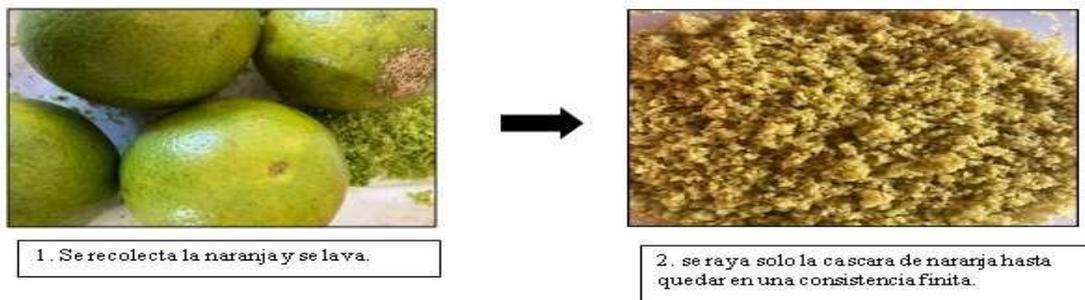


Figura 24 Procedimiento de la obtención de la cascara de naranja rayada (Elaboración propia).

10.- ARNICA

Nombre Científico: *Árnica montana*

Familia: Ásteráceas

Descripción: Hierba aromática de 60 cm de altura, con tallo erguido, vellosa, pocas ramas y en cuya base se ubica una roseta de hojas lanceoladas extendidas sobre el suelo. Flores de color amarillo, a veces anaranjado, es un fruto aquenio (Kriplani, 2017).

Principales componentes: Esquiterpénicas del grupo pseudoguayánolido, principalmente ésteres de la helenalina y dihidrohelenalina.

Usos: Se utilizan las flores, las cuales pueden usarse en forma de té, pintura, pomadas o aceite de aplicación externa.

Pasos: Ver Figura 25

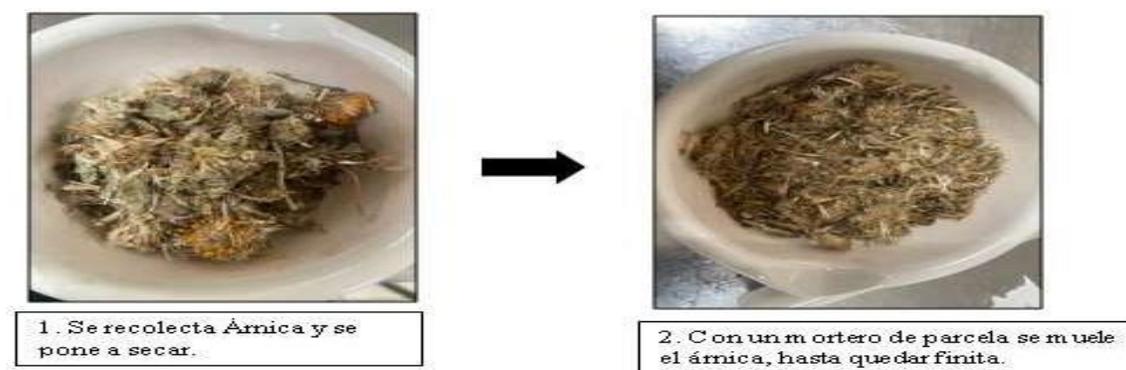


Figura 25 Procedimiento de la obtención del árnica (Elaboración propia).

11.- MORINGA

Nombre Científico: *Moringa oleifera*

Familia: Moringaceae

Descripción: Proviene de un género de arbustos y árboles con múltiples usos como las hojas, raíces y vainas no maduras se consumen como hortaliza. Todas sus partes del árbol de la moringa son la corteza, vainas, hojas, nueces, semillas, tubérculos, raíces y flores, son comestibles (Faizal et al., 2014).

Principales componentes: Vitamina A, vitamina B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), folato y ácido ascórbico (vitamina C), Calcio, Potasio, Hierro.

Pasos: Ver Figura 26



Figura 26 Procedimiento de la obtención de la moringa molida (Elaboración propia).

12.- PELO DE ELOTE

Nombre Científico: *Stigma maydis*

Familia: Gramineae

Descripción: La barba de maíz o jilote es un conjunto de estilos que surgen de una espiga o inflorescencia femenina del maíz (*Zea mays L.*). Tales estilos llegan a medir unos 20 cm y, cuando secos, se utilizan en medicina natural como diurético y para limpiar las vías urinarias. La función

de estos pelos es la de transportar los granos de polen y así fertilizar los ovarios para producir cada fruto (grano).

Principales componentes: El pelo de elote posee sustancias como proteínas, vitaminas, carbohidratos, calcio, potasio, magnesio, sodio y compuestos como flavonoides, que son importantes para retardar el envejecimiento, además de acción antiinflamatoria en el cuerpo.

Pasos: Ver Figura 27

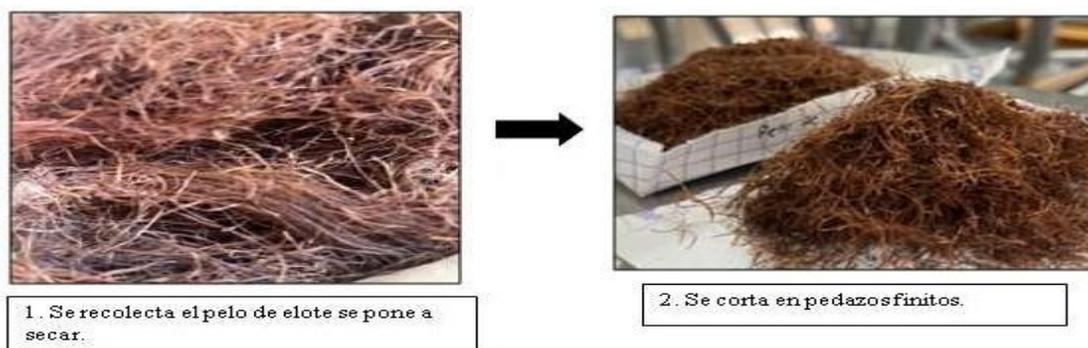


Figura 27 Procedimiento de la obtención del pelo de elote (Elaboración propia).

13.- PINGÜICA

Nombre Científico: *Arctostaphylos pungens*

Familia: Ericaceae

Descripción: Es un arbusto erecto o rastrero de una altura de 0.5 a 3 m. Los tallos son leñosos, lisos y rojos o grises, con corteza caediza. Sus ramas pequeñas y hojas nuevas son ligeramente lanosas. Las hojas maduras son coriáceas, brillantes y verdes, ovaladas a ampliamente lanceoladas, de hasta 4 cm. La inflorescencia es un racimo esférico de flores. El fruto es una drupa de 5 a 8 milímetros de ancho (Rojas et al., 2022).

Usos: Se trata de una fuente de alimento para muchos tipos de vida silvestre. Los frutos se cosechan para hacer mermelada, también se reporta para remedios caseros contra enfermedades renales, estomacales y venéreas, entre otras, aunque la efectividad de estos remedios no está comprobada.

Pasos: Ver Figura 28

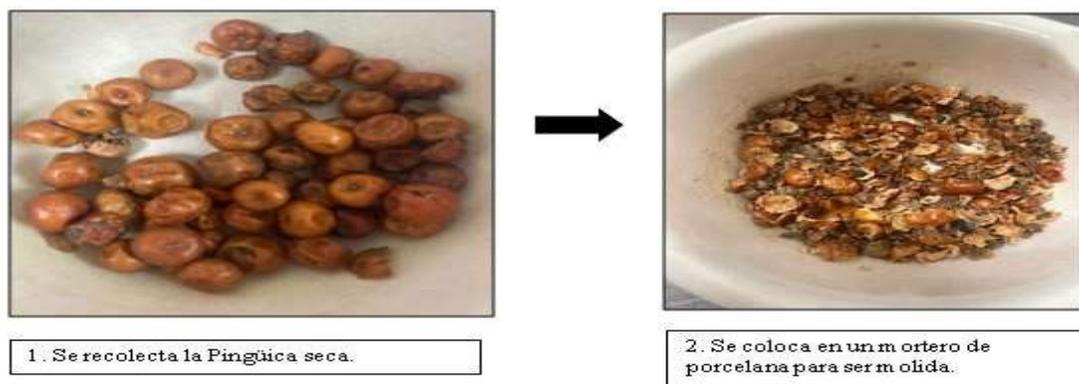


Figura 28 Procedimiento de la obtención de la pingüica (Elaboración propia).

3.1.6 Actividad 6: Establecer la propuesta como alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxido metálico.

Procedimiento

- Se empleó el método de reducción convencional bottom-up ya que las nanopartículas se forman por contacto directo extracto-disolución del metal.
- Para la obtención de la síntesis se utilizó 6 frutos y 7 diferentes tipos de plantas, por medio de estas se efectuaron los extractos y posteriormente la síntesis de nanopartículas de hierro y cobre.
- En estos extractos se encuentran carbohidratos, flavonoides, esteroides, glucósidos, saponinas, triterpenoides, fenoles y compuestos aromáticos, los mismos que ayudan en la separación de otras macromoléculas presentes en determinados compuestos, también cumplen la función de estabilizadores de iones.

3.1.7 Actividad 7: Realizar pruebas necesarias experimentales con base en la propuesta y obtención.

El procedimiento se divide en varias etapas.

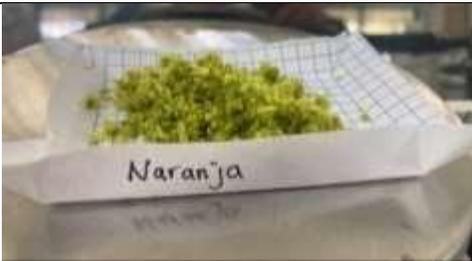
Etapas 1: Prueba de reducción con diferentes especies vegetales

1. Preparación del extracto vegetal.

Para la preparación de las infusiones se adicione la biomasa pesada en un vaso de precipitados de 50 mL y se agregaron 50 mL de agua destilada, se colocó en una parrilla a 280°C una vez que empieza a e bullir se redujo a una temperatura de 80°C y se mantuvo en ebullición durante 10 min en agitación constante.

En la Tabla 1.7 se muestra el peso de cada fruto y hoja seca posteriormente realizando la infusión se visualiza el color y toma de pH.

Tabla 1.7 Peso y pH de frutos y hojas secas (Elaboración propia).

FRUTOS	Peso	Color	IMAGEN
Cascara de naranja	5g	Amarillo	
Hueso de aguacate	5g	Naranja	
Fruto de níspero	5g	Turbio	

Pulpa de guayaba	5g	Turbio	
Cascara de limón	5g	Amarillo claro	
Brócoli	5g	Verde claro	
Pingüica	5g	Amarillo claro	
Hojas de níspero	5g	Café oscuro	

Hojas de guayaba	5g	Marrón claro	
Equinacea	5g	Café	
Tomillo	4g	Café oscuro	
Árnica	5g	Marrón	
Moringa	5g	Marrón claro	

Pelo de elote	5g	Marrón claro	
---------------	----	--------------	--

2. Preparación de las disoluciones metálicas.

Se prepararon soluciones de Fe y Cu a partir de los reactivos marca Fermont de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Figura 29, 30) ambas a una concentración de 0.002 M. Para la preparación se pesaron en la balanza analítica el gramaje obtenido en las ecuaciones 2 y 3. Se realiza la ecuación para la solución de FeSO_4 como se muestra en la Ec.2.

$$\text{FeSO}_4 = 0.05L \frac{0.002\text{mol}}{L} \frac{278.02g}{\text{mol}} \frac{100\%}{100\%} \quad \text{Ec. 2}$$

$$= 27.802 \text{ mg de } \text{FeSO}_4$$



Figura 29 Solución $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Elaboración propia).

Se realiza la ecuación para la solución de CuSO_4 como se muestra en la siguiente Ec.3.

$$\text{CuSO}_4 = 0.05\text{L} \frac{0.002\text{mol}}{\text{L}} \frac{249.686\text{g}}{\text{mol}} \frac{100\%}{99.3\%}$$

$$= 25.14 \text{ mg de CuSO}_4 \quad \text{Ec. 3}$$



Figura 30 Solución $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ marca Fermont (Elaboración propia).

3. Reacción de reducción.

Se preparan 5 mL de cada infusión y se agregan 5 mL de la solución de FeSO_4 para cada muestra, se observa el cambio de color, la reacción se lleva a cabo a temperatura ambiente.

Se preparan 5mL de cada infusión y se adicionan 5mL de CuSO_4 para cada muestra y se observa el cambio de color, la reacción también se realiza a temperatura ambiente.

Etapas 2. Diseño experimental para optimización de condiciones de obtención de bimetálicas.

1. Determinación de condiciones óptimas de propuesta de reducción

A partir de los mejores resultados se generó un diseño de experimentos para encontrar las mejores condiciones para la propuesta de reacción de reducción.

Se realizó un diseño de experimento Box- Behnken, de acuerdo con lo encontrado en la literatura, las variables que se consideraron fueron pH, temperatura y relación volumen, utilizando dos niveles para cada una, pH (4 y 6), temperatura (18°C y 30°C) y relación volumen (2:1, 3:1), se realizó en el programa estadístico Minitab Ver.17.0 obteniendo un total de 15 corridas, como se muestra en la Tabla 1.8

Resumen del diseño

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

Puntos centrales: 3

Tabla 1.8 Tabla de diseño en Minitab (Elaboración propia).

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

3. Preparación de infusión de hoja de guayaba

Se prepara 15 g de hoja de guayaba seca, se agregó la biomasa a un vaso precipitado de 250 mL y se agregó 150 mL de agua destilada para la infusión. Se colocó en parrilla a 280 °C una vez que empieza a e bullir se redujo a una temperatura de 80°C y se mantuvo en ebullición durante 10 min con agitación constante. Se filtró la infusión en 3 vasos de precipitados de 50 mL como se muestra en la Figura 31 y 32.



Figura 31 Ebullición de hoja de guayaba a 280°C (Elaboración propia).



Figura 32 Infusión hoja de guayaba (Elaboración propia).

3. Preparación de la solución bimetálica

Se prepara la solución bimetálica a una concentración de 0.02 m para lo cual se pesaron las sales metálicas con un peso de 0.0278 g para FeSO_4 y 0.025g para CuSO_4 se mezclan ambas a un matraz aforado de 50 mL, se afora con agua destilada y se agita hasta disolver Figura 33.

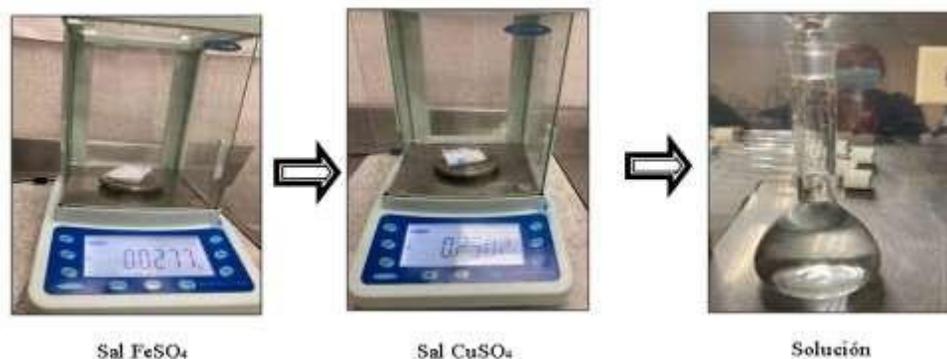


Figura 33 Solución Sal de $FeSO_4$ y $CuSO_4$ (Elaboración propia).

Se analizan la tabla de diseño 1.8 posteriormente se ordena las corridas de acuerdo con el pH como se muestran en las Tabla 1.9. El pH se ajusta con una solución de ácido sulfúrico 4 M para el pH 4 el ajuste se obtuvo a 4.07, para el pH 5 el ajuste se obtuvo a 5.02, en el caso del pH 6 no se realiza ajuste ya que fue el pH de la infusión.

Tabla 1.9 Corrida con pH 4 (Elaboración propia).

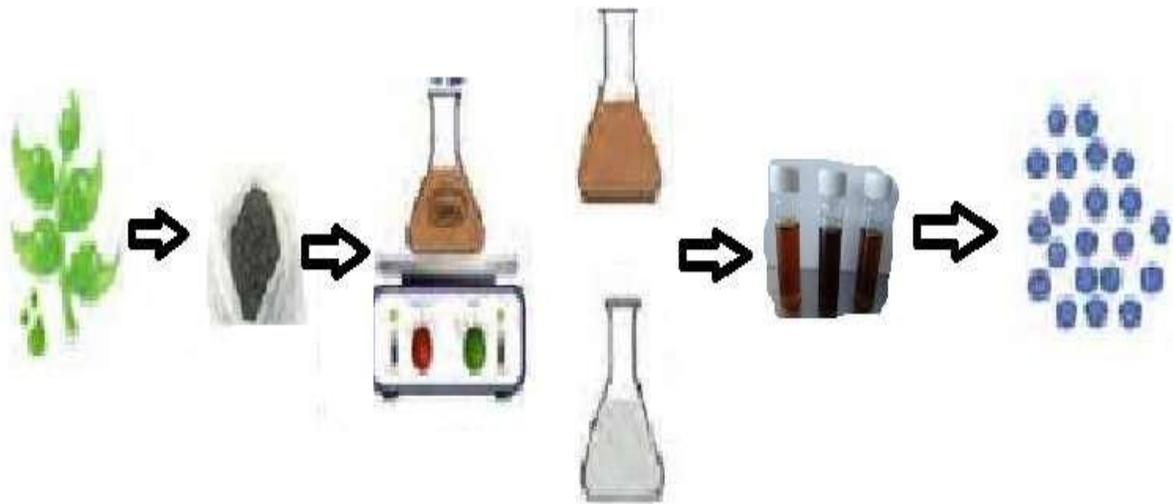
Corrida	pH	Temperatura	Volumen	Solución
1	4	18°C	2.5	5mL Infusión+ 2ml SolM*
3	4	30 °C	2.5	5mL Infusión+ 2ml SolM*
5	4	24 °C	2.0	5mL Infusión+ 2.5ml SolM*
7	4	24 °C	3.0	6mL Infusión+ 2ml SolM*
9	5	18°C	2.0	5mL Infusión+2.5ml SolM*
10	5	30 °C	2.0	5mL Infusión+2.5ml SolM*
11	5	18°C	3.0	6mL Infusión+2ml SolM*
12	5	30 °C	3.0	6mL Infusión+ 2ml SolM*
13	5	24 °C	2.5	5mL Infusión+ 2ml SolM*

2	6	18°C	2.5	5mL Infusión+2ml SolM*
4	6	30 °C	2.5	5mL Infusión+2ml SolM*
6	6	24°C	2.0	5mL Infusión+2.5ml SolM*
8	6	24 °C	3.0	6mL Infusión+ 2ml SolM*

*SolM= Solución metálica.

Para las reacciones de reducción una vez ajustado el pH se colocó la cantidad de la infusión indicada en la Tabla 1.9 se rotularon los tubos con el número de corrida respectivo, posteriormente se llevó a la temperatura correspondiente mediante un calentamiento por baño maría una vez alcanzada la temperatura se adiciono el volumen de solución metálica indicado en la Tabla 1.9 manteniendo la reacción con estas condiciones durante 20min.

CAPITULO IV



4.1 Diagrama de flujo del proceso de obtención de nanopartículas de Cu y Fe

Se desarrolla el diagrama de flujo para la obtención de nanopartículas de Cu y Fe desarrollado por diferentes actividades como

se muestra en la Figura 34.

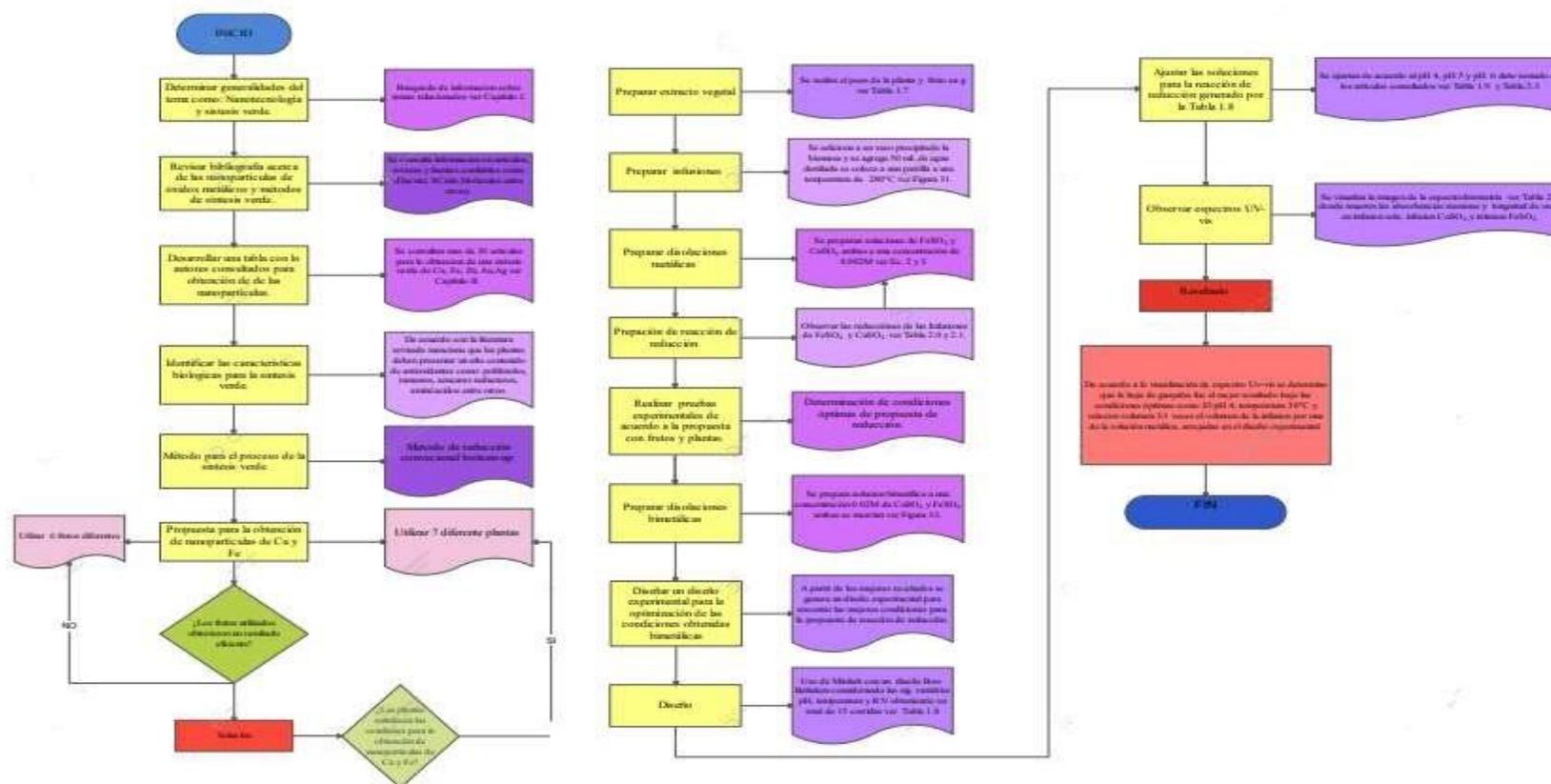


Figura 34 Diagrama de flujo del proceso de obtención de nanopartículas de Cu y Fe (Elaboración propia).

4.1.1 Esquema de la obtención de nanopartículas de Cu y Fe

Esquema representativo de la obtención de nanopartículas de Cu y Fe desde la recolección de plantas, proceso de infusión, disolución de soluciones metálicas hasta la obtención de nanopartículas y espectros UV-vis como se muestra en la Figura 35.

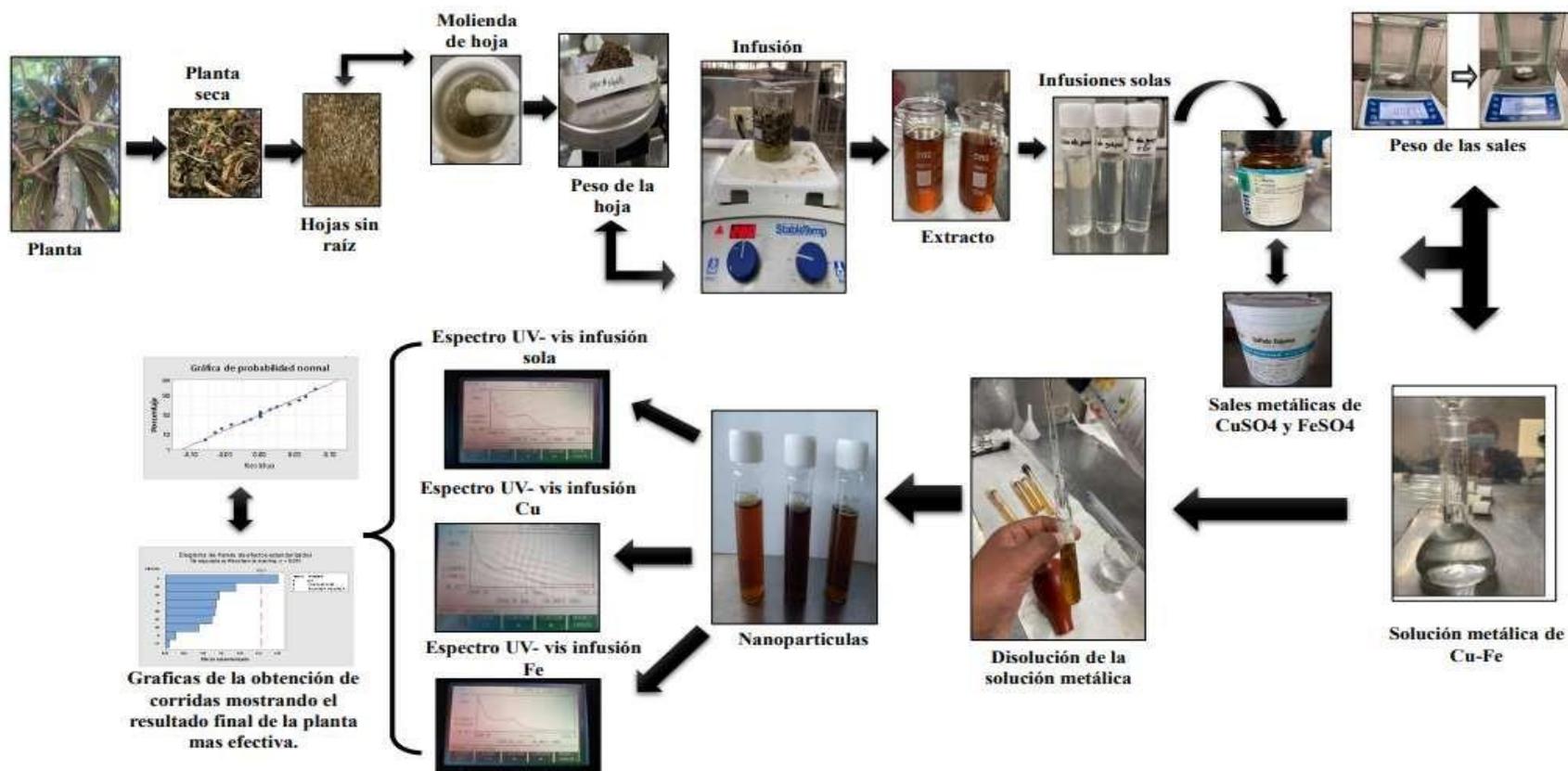


Figura 35 Esquema representativo de la obtención de nanopartículas de Cu y Fe (Elaboración propia).

4.2 RESULTADOS- DISCUSION

4.2.1 Actividad 1: Determinar generalidades del tema, nanotecnología y síntesis verde.

Se analizó y se seleccionó la información para el Capítulo 1 correspondiente al Marco Teórico, se destacan temas como manufactura sustentable y sus variantes desde el desarrollo de la nanotecnología, nanopartículas, síntesis verde.

4.2.2 Actividad 2: Revisar bibliografía acerca de las nanopartículas de óxidos metálicos y métodos de síntesis.

Se revisó las fuentes bibliográficas sobre las características de las nanopartículas, métodos de síntesis verde, para determinar el método a trabajar.

4.2.3 Actividad 3: Analizar y clasificar información elaborando un análisis de los métodos de síntesis, ventajas y desventajas de acuerdo con los autores consultados.

Se seleccionó la información revisada con la cual se planeó un esquema de temas y subtemas para estructurar el cuerpo del marco teórico se recabaron los métodos de síntesis verde así como sus ventajas y desventajas.

4.2.4 Actividad 4: Describir los métodos de síntesis verde de nanopartículas de óxidos metálicos y aplicaciones.

Se realizó y analizo la información obtenida de los diferentes artículos consultados en la Tabla 1.5 y 1.6 los cuales mencionan los principales métodos y condiciones para la obtención de nanopartículas metálicas y bimetálicas, se muestran las diferentes especies de plantas que se han utilizado. Los autores reportan además que el proceso de síntesis verde es económico, permite

ahorrar energía y es fácil de realizar. A partir del análisis de esta tabla se propusieron las variables a trabajar que son: pH, temperatura y relación volumen.

4.2.5 Actividad 5: Identificar características de agentes biológicas necesarias para ser utilizadas en síntesis verde.

Se revisó la literatura y se identificaron las características de las plantas para poder trabajar un proceso de síntesis verde y que tan viable es la planta para la síntesis de nanopartículas metálicas u óxidos metálicos deben tener altos contenidos de moléculas antioxidantes como: polifenoles, taninos, azúcares reductores, aminoácidos, pigmentos, clorofila entre otros, se propusieron 13 diferentes especies para la obtención de nanopartículas de Cu y Fe.

4.2.6 Actividad 6: Establecer la propuesta como alternativa de síntesis verde para obtener nanopartículas de óxido metálico.

Se propuso como alternativa para la obtención de síntesis verde el método de reducción convencional bottom-up ya que las nanopartículas se forman por contacto directo extracto-disolución del metal, para esta obtención de la síntesis se ocuparon 6 frutos y 7 diferentes tipos de plantas, por medio de éstos se realizaron los extractos y posteriormente se realizó la síntesis de nanopartículas de Fe y Cu ya que en los extractos se encuentran carbohidratos, flavonoides, esteroides, glucósidos, saponinas, triterpenoides, fenoles y compuestos aromáticos.

4.2.7 Actividad 7: Realizar pruebas necesarias experimentales con base en la propuesta y obtención.

De acuerdo a las pruebas realizadas con 6 frutos y 7 plantas se observa diferentes reacciones como: color, temperatura entre los 18°C, 24°C y 30°C, pH de 4, 5 y 6, solución de sal 2:1, 3:1 dando así un total de 13 muestras realizadas y posteriormente se realiza los espectros UV-

vis en un rango de 200 a 900 nm para todas las muestras así se determinó el agente reductor el cual demuestra que la hoja de guayaba es más eficiente para la obtención de las nanopartículas de Cu y Fe.

Análisis de resultados actividad 7

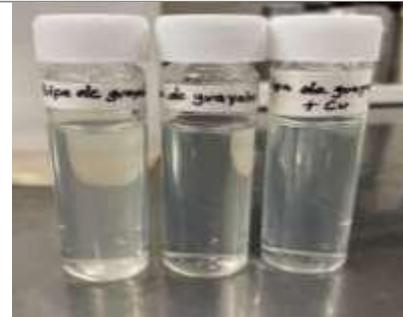
4.3 Reacciones de reducción de infusiones FeSO_4 y CuSO_4

En la Tabla 2.0 se muestra la reacción de reducción generada cuando se mezclan las infusiones preparadas con las soluciones de FeSO_4 y CuSO_4 como se observa en el caso de la cascara de naranja la infusión presenta un cambio de color más evidente con el Fe aunque también con Cu se pudo observar el cambio, en el caso de la pulpa de los frutos no se observa un cambio evidente de coloración lo cual indica que no está ocurriendo un proceso de reducción.

La inspección visual es la confirmación preliminar de la síntesis de nanopartículas de Cu y Fe utilizando 6 diferentes especies, se ve el cambio de color en la infusión de Cu más amarillenta para la cascara de naranja y cascara de limón posteriormente para las especies fruto de níspero y pulpa de guayaba no se observa reacción de color con la infusión de Cu, La intensidad del color aumento y cambio en la disoluciones de Fe.

Tabla 2.0 Reacción de reducción de infusiones (Elaboración propia).

Infusión	Infusión de Cu	Infusión de Fe	Imagen
Cascara de naranja 	Cambio de a color amarillo	Cambio de color a café claro	

Hueso de aguacateCambio de color a
anaranjado claroCambio de color a
café claro**Fruto de níspero**No se apreció cambio
de colorNo se apreció
cambio de color**Pulpa de guayaba**No se apreció cambio
de colorNo se apreció
cambio de color**Cascara de limón**Color a amarillo
verdosoColor a naranja
claro

<p>Brócoli</p> 	Color a azul claro	No se apreció cambio de color	
---	--------------------	-------------------------------	---

Debido a que con las primeras muestras vegetales no se observaron los resultados esperados se propusieron otras especies de plantas para la reducción de metales de Cu y Fe.

Se realizaron las infusiones con la solución de FeSO_4 donde presentan un pH de 5.95 y CuSO_4 con un pH de 4.39, las reacciones se llevaron a cabo a temperatura ambiente, el cambio de color observado se registró en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Reacción de reducción de infusiones (Elaboración propia).

Especie	pH Fe	pH Cu	Infusión original	COLOR Fe	COLOR Cu	IMAGEN
Hojas de níspero	6.60	4.83	Color violeta	Color negro sin agitación a negro	Café oscuro	
Hojas de guayaba	4.67	4.15	Color original marrón.	Color negro sin agitación.	Café claro	

Equinácea	5.35	4.92	Color original marrón.	Color café oscuro, sin agitación.	Café claro	
Tomillo	6.04	5.66	Color original marrón.	Color negro, sin agitación.	No se apreció cambio de color	
Árnica	5.35	4.80	Color original amarilloso.	Color negro, sin agitación.	Café verdoso	
Moringa	5.30	4.93	Color original marrón claro.	Color café oscuro, sin agitación.	Verdoso oscuro	
Pingüica	530	3.32	Color original amarillo claro.	Color amarillo claro, sin agitación.	No se apreció cambio de color	
Pelo de elote	5.63	4.73	Color original anaranjado.	Color verdoso, sin agitación.	Verdoso claro	

4.4 Obtención de espectros UV-vis de las reacciones de reducción con Cu y Fe

La espectroscopia es el estudio de la interacción entre la materia, es decir, las moléculas, los átomos, los núcleos y la radiación electromagnética. Los tipos de espectroscopia dependen,

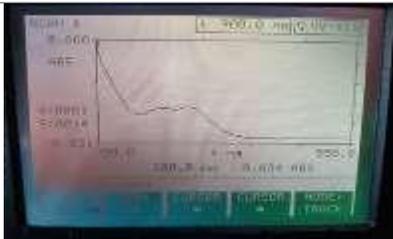
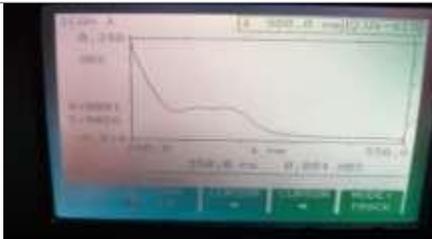
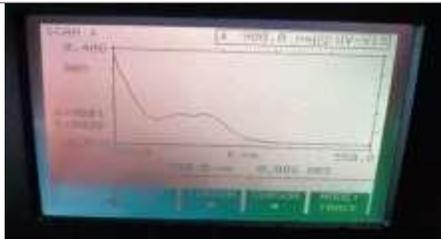
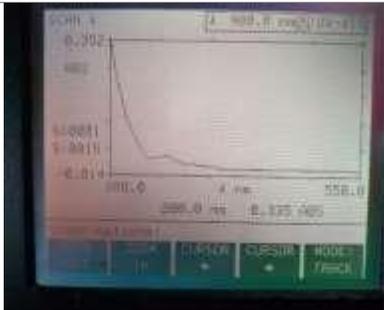
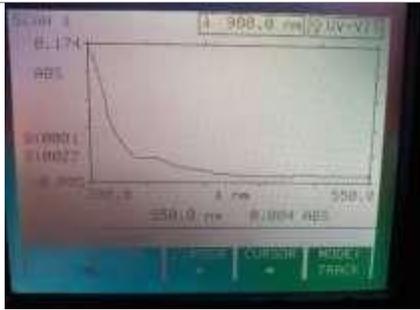
por lo tanto, de la interacción que la materia tiene con la radiación. El tipo más común de espectroscopia es la de absorción. En ella se compara la intensidad de un haz de luz medida antes y después de la interacción con la muestra. Dentro de este tipo de espectroscopia se encuentra la de ultravioleta visible, en la que se mide cuánta luz de una longitud de onda particular es absorbida por la muestra. La espectrometría UV-Vis implica la espectroscopia de fotones en la región visible, ultravioleta cercana (UV) e infrarroja cercana (NIR) (Ramos, 2017).

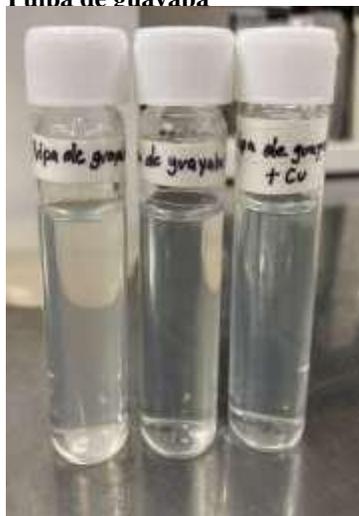
Se realizó la obtención de los espectros de las infusiones y las soluciones de reacción mediante espectrofotometría UV-vis analizando las imágenes mostradas en la Tabla 2.2 donde se muestran las absorbancias máximas de cada solución en las columnas A) Infusión sola, B) FeSO_4 y C) CuSO_4 , para la lectura en el espectrofotómetro la muestra se diluyó tomando una alícuota de 10 μL en 3 ml de agua destilada.

Esta técnica es muy útil para la determinar nanopartículas de Cu y Fe. Donde existe un gran número de artículos en los que se ha investigado este tipo de nanopartículas metálicas, pudiendo saber así, que la absorbancia máxima si hay presencia de nanopartículas donde se encuentra alrededor de las longitudes de onda de 200-350 nm.

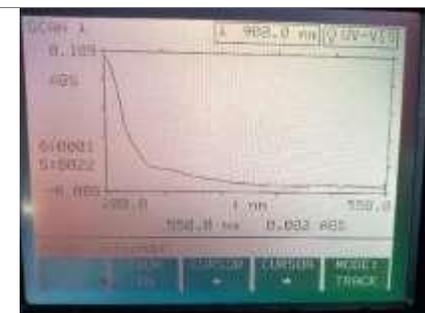
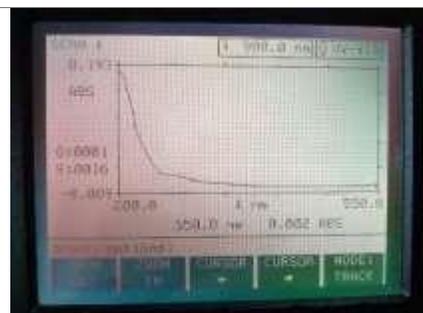
La Tabla 2.2 Muestra el Espectrofotometría UV- vis de las diferentes infusiones solas y con solución metálica de Cu y Fe mostrando la longitud de onda y absorbancias máximas.

Tabla 2.2 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia).

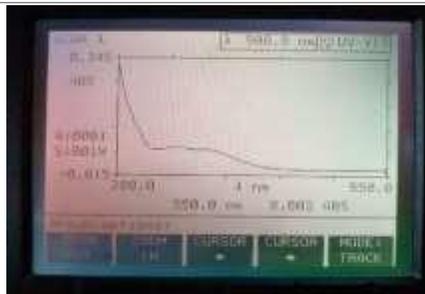
INFUSIÓN	Abs. Máxima					
	A) Infusión		B) Cu		C) Fe	
LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	
Cascara de naranja <i>(Citrus reticulata)</i>						
	322	0.226	322	0.129	322	0.127
	288	0.213	288	0.125	288	0.125
	200	0.634	200	0.387	200	0.379
						
Hueso de aguacate <i>(Psidium)</i>						
	278	0.039	278	0.019	278	0.028
	200	0.335	200	0.165	200	0.166
						

Pulpa de guayaba

LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
266	0.101	266	0.020	266	0.025
200	0.305	200	0.184	200	0.180

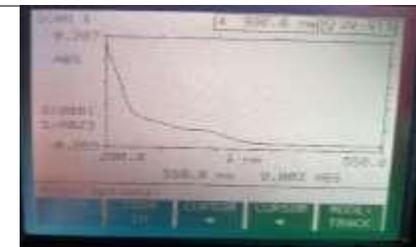
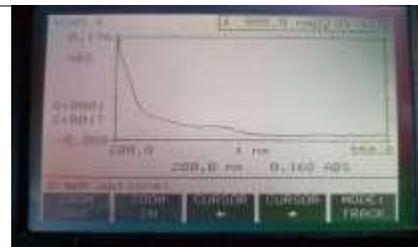
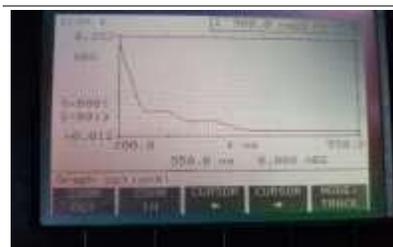
**Cascara de limón (Citrus)**

LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
314	0.118	314	0.065	314	0.073
272	0.128	272	0.071	272	0.084
200	0.575	200	0.329	200	0.365

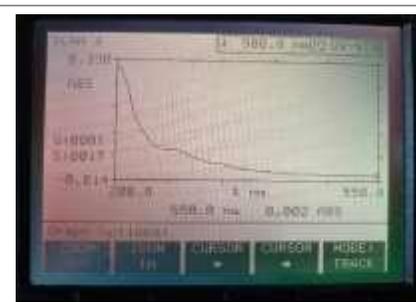
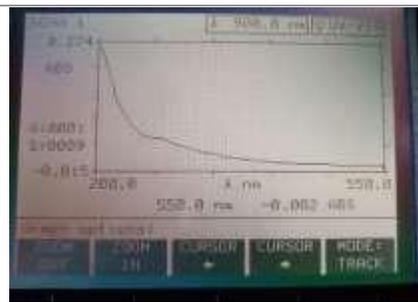
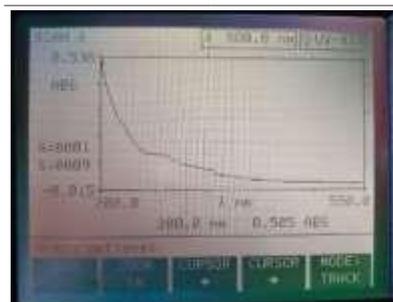


Brócoli (*Brossica oleracea varitalica*)


LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
322	0.030	322	0.017	322	0.127
260	0.055	260	0.028	260	0.125
200	0.290	200	0.168	200	0.379

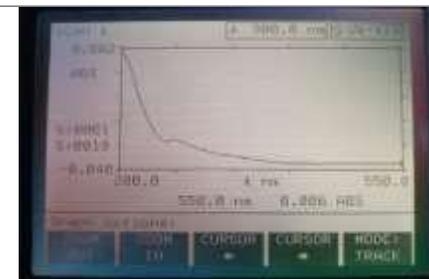
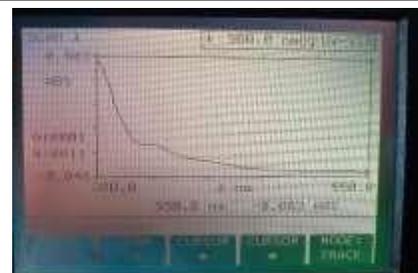

Hojas de níspero (*Eriobotrya japonica*)


LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
274	0.133	274	0.057	274	0.071
200	0.505	200	0.260	200	0.314

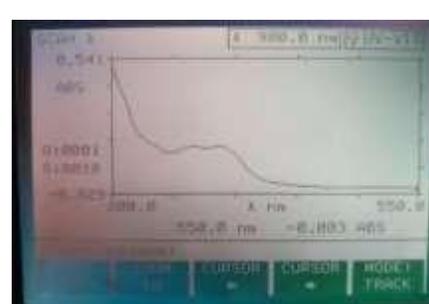
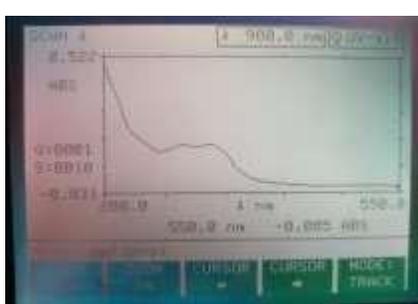
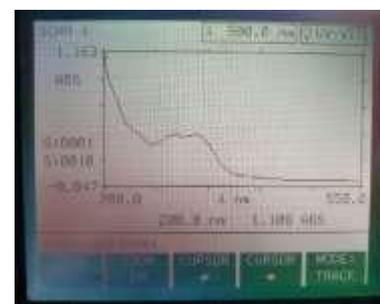


Hoja de guayaba
(Psidium guajava)


LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
268	0.335	268	0.207	268	0.157
200	1.426	202	0.860	202	0.840

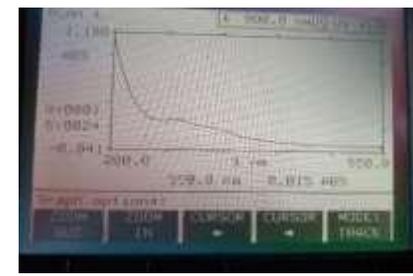
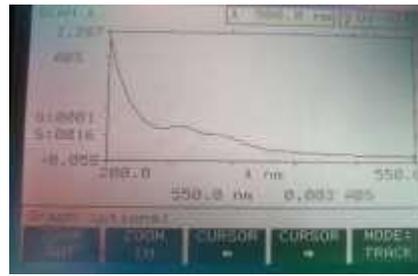

Equinácea
(Echinacea angustifolia)


LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
322	0.427	322	0.167	322	0.175
294	0.424	294	0.165	294	0.173
200	1.108	200	0.496	200	0.515

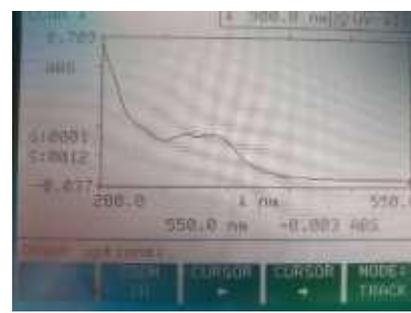
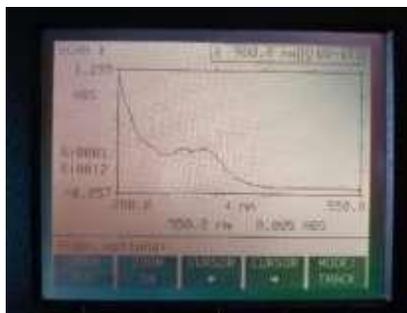


Tomillo (*Thymus vulgaris*)

LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
322	0.512	322	0.217	322	0.206
282	0.610	282	0.300	282	0.282
200	2.380	200	1.226	200	1.134

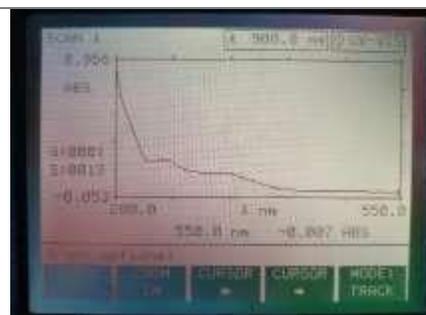
**Árnica (*Arnica montana*)**

LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
322	0.440	322	0.225	322	0.200
290	0.430	290	0.222	290	0.200
200	1.234	200	0.675	200	0.640

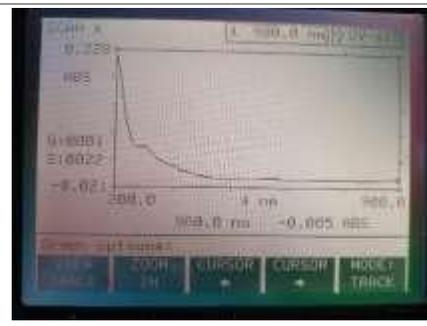
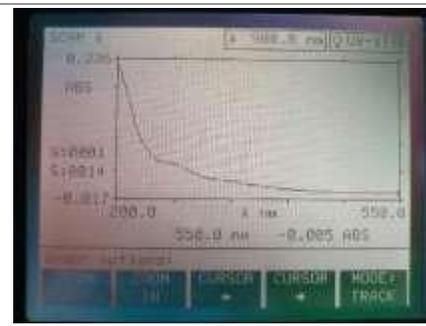
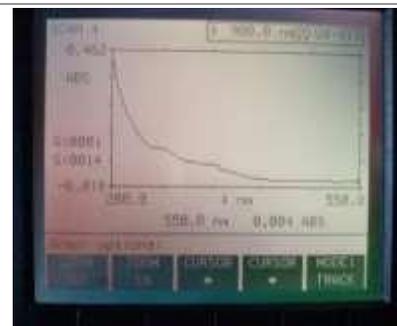


Moringa (*Moringa oleifera*)

LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
322	0.282	322	0.128	322	0.145
262	0.442	262	0.220	262	0.241
200	1.664	200	0.919	200	0.975

**Pelo de elote (*Stigma maydis*)**

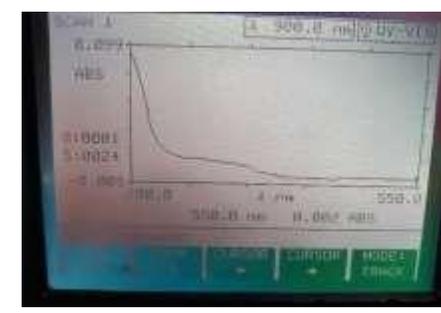
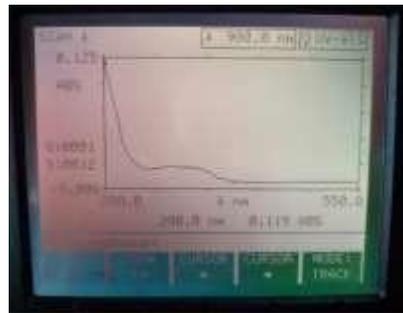
LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
344	0.061	344	0.015	344	0.016
270	0.116	270	0.045	270	0.051
200	0.490	200	0.224	200	0.216



**Fruto
níspero (*Eriobotrya
japónica*)**



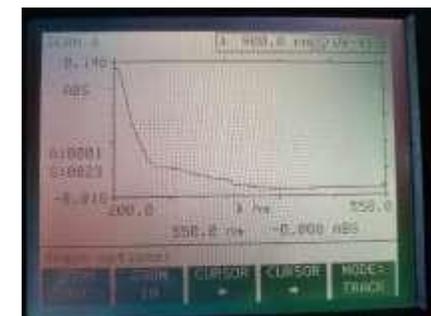
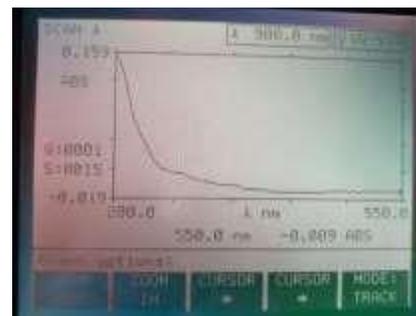
LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
306	0.016	306	0.010	306	0.013
200	0.119	200	0.096	200	0.093



**Pingüica
(*Arctostaphylos
pungens*)**



LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima	LONGITUD DE ONDA	Abs Máxima
278	0.036	278	0.012	278	0.016
200	0.187	202	0.151	202	0.138



El rango de los espectros UV-vis fue entre los 200 - 550 nm, porque es donde las bandas características de la infusión y los metales utilizados pueden observarse. Las muestras de los 6 frutos y 7 plantas fueron diluidos y con ello se obtuvo la absorbancia máxima de cada muestra, los que demuestran mayor absorbancia son Tomillo, Hoja de guayaba y Moringa con una absorbancia máxima entre 0.840- 1.226.

Los picos de máxima absorción de los espectros presentados representan la resonancia del plasmón que aparece cuando se alcanza el tamaño nanométrico de los metales Cu y Fe (Subramaniyam et al., 2015) con lo cual se determinó la mejor opción que es la hoja de guayaba (*Psidium guajava L*). Se visualiza la interacción entre los metales y las moléculas de cada infusión obtenida dado así por medio de la espectroscopia UV-vis se observa que la hoja de tomillo tiene una longitud de onda 200 nm con una absorbancia máxima de 1.226 para Cu y 1.134 para Fe, la moringa entre una absorbancia máxima de 0.919 para Cu y 0.975 Fe, la árnica en infusión sola con una absorbancia máxima entre 1.234.

4.5 Reacción reducción generadas a partir del diseño experimental

La inspección visual es la confirmación preliminar de la síntesis verde de nanopartículas de Cu y Fe utilizando extractos de hojas de guayaba Tablas 2.3, 2.4 y 2.5 muestran el cambio de color generado por el proceso de reducción.

En las infusiones a temperatura de 24°C se observó el cambio de color negro oscuro con un reacción lenta, formando un color gris verdoso después de 5 min cambio el tono color morado después de 15 min se observa un color negro oscuro se demuestra que las nanopartículas de Cu-Fe se formaron bajo una reacción lenta. La aparición de un negro oscuro indica la finalización de la formación de nanopartículas Cu- Fe.

En las infusiones de temperatura de 18°C se observó el color de la solución cambio de reacciones lentas y agitación mostrando tonos grises verdosos y posteriormente a colores negros, por lo tanto, era evidente que los electrones u otros agentes reductores fueron liberados de la hoja de guayaba y fueron capaces de reducir los iones de Cu y Fe.

Tabla 2.3 Infusiones reacción de reducción a temperatura de 18°C (Elaboración propia).

Corridas	Observaciones	Infusión temperatura 18°C	Infusiones de reacción reducción Fe-Cu
1	Reacción lenta/Tono gris verdoso en un determinado tiempo 2 min se hizo un color negro.		
9	Reacción rápida/Negro		
11	Reacción más lenta necesitó agitación/Negro		
2	Reacción lenta con agitación vigorosa/Negro		

Tabla 2.4 Infusiones reacción de reducción a temperatura de 24°C (Elaboración propia)

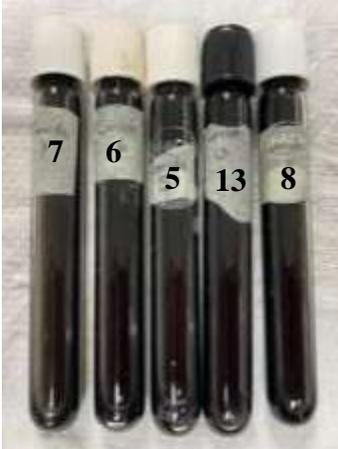
Corridas	Observaciones	Infusión temperatura 24°C	Infusiones de reacción reducción Fe- Cu
5	Reacción lenta/Café verdoso		
7	Reacción más lenta, separación en fases/Gris verdoso		
13	Reacción lenta, separación en fases/Negro		
6	Reacción rápida/Negro		
8	Reacción lenta, separación en fase se realiza agitación/ Negro		

Tabla 2.5 Infusiones reacción de reducción a temperatura de 30°C (Elaboración propia)

Corridas	Observaciones	Infusión temperatura 30°C	Infusiones de reacción reducción Fe- Cu
3	Reacción lenta/Gris verdoso		
10	Reacción rápida/Negro		
12	Reacción rápida/Negro		
4	Reacción rápida/Negro		

Se ha reportado que las hojas de guayaba (*Psidium guajava L*) contienen compuestos polifenólicos y actúan de forma eficiente en reducción y protección para convertir iones metálicos en nanopartículas. El extracto de hoja de guayaba contiene un alto contenido de taninos con abundancia de grupos OH fenólicos de galoílo. Estos grupos funcionales pueden formar un fuerte complejo con el ion Fe^{3+} (Somchaidee & Tedsree, 2018) lo que contribuye a ser eficiente agente reductor.

Las nanopartículas son sintetizadas a partir de extracto de hoja de guayaba (*Psidium guajava L.*) fueron sometidas a un análisis espectro UV-Vis donde se muestra un máximo de absorción entre 200 nm a 550 nm esta banda corresponde a la absorción del plasmón de superficie de nanopartículas bimetálicas con diferente tipo de temperaturas y diferentes relaciones de volumen entre la infusión y la solución bimetalica. Se puede observar que por medio del espectro UV-vis de nanoparticulas de $CuSO_4$ - $FeSO_4$ en la hoja de guayaba asignan a las transiciones entre bandas de electrones del núcleo en los plasmónes $CuSO_4$ - $FeSO_4$ dando una línea curva en una cierta región. El eje es el valor de la energía de banda como se muestra en las Tablas 2.6, 2.7y 2.8 Donde se pueden establecer que los espectros UV- vis si están en tamaño nanómetro y exhiben diferentes modos principales de un fonón entre los 200 nm y 550 nm respectivamente.

TEMPERATURA 18°C

Tabla 2.6 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia).

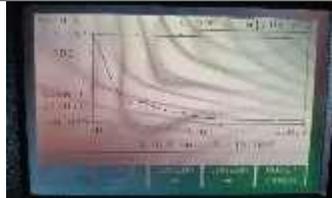
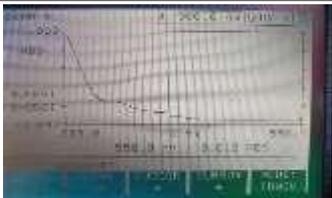
Solucion	Corrida 1		Corrida 9		Corrida 11		Corrida 2	
Hoja de guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	LONGITUD	Abs Máxima	LONGITUD	Abs Máxima	LONGITUD	Abs Máxima	LONGITUD	Abs Máxima
	DE ONDA		DE ONDA		DE ONDA		DE ONDA	
	200 nm	1.099	200 nm	0.749	202 nm	1.010	200 nm	0.835
								

Tabla 2.7 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia).

TEMPERATURA 24°

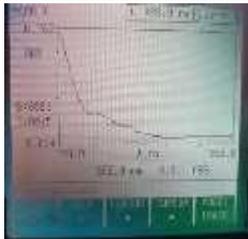
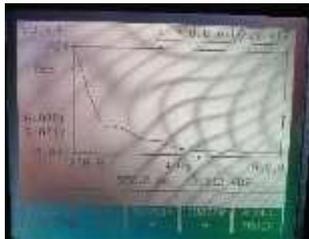
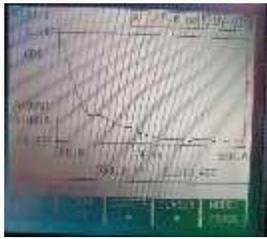
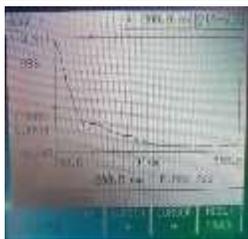
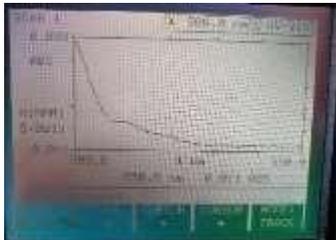
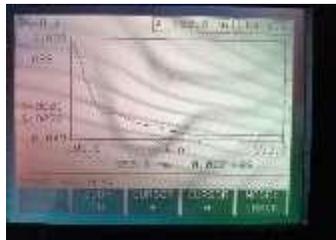
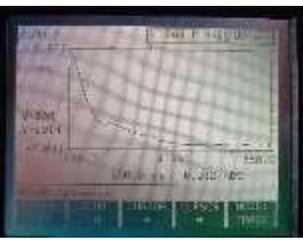
Solución	Corrida 5		Corrida 7		Corrida 13		Corrida 6		Corrida 8	
Hoja de guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	LONGITUD	Abs	LONGITUD	Abs	LONGITUD	Abs	LONGITUD	Abs	LONGITUD	Abs
	DE ONDA	Máxima	DE ONDA	Máxima	DE ONDA	Máxima	DE ONDA	Máxima	DE ONDA	Máxima
	202 nm	0.727	202 nm	1.023	202 nm	0.896	202 nm	0.803	200 nm	0.868
										

Tabla 2.8 Infusiones mediante espectrofotometría UV-Visible (Elaboración propia).

TEMPERATURA 30°C

Solución	Corrida 3		Corrida 10		Corrida 12		Corrida 4	
Hoja de guayaba <i>(Psidium guajava)</i>	LONGITUD	Abs Máxima	LONGITUD	Abs Máxima	LONGITUD	Abs Máxima	LONGITUD	Abs Máxima
	DE ONDA		DE ONDA		DE ONDA		DE ONDA	
	200 nm	0.844	202 nm	0.984	200 nm	1.047	200nm	0.874
								

4.6 Análisis estadístico diseño experimental

De acuerdo con obtención de corridas obtenidas de la Tabla 1.9 se realizó un diseño de experimentos por medio de Minitab ver 17.0, Figura 34 se obtuvo la gráfica de probabilidad normal se comprueba que los datos tiene la probabilidad de realizar otros tipos de experimentos donde se ajustan a una distribución normal y se pueden analizar mediante ANOVA.

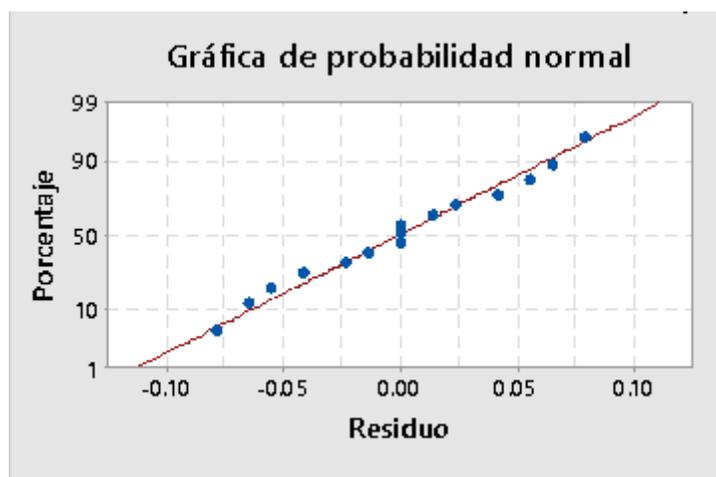


Figura 36 Grafica de probabilidad normal (Minitab 17.0).

En los datos obtenidos en el análisis de varianza se analiza que la absorbancia máxima tiene una contribución mayor por el factor relación volumen del 35.27% que por los otros factores lo cual indica que hay una correlación lineal entre la cantidad de infusión agregada y la absorción máxima con un ajuste del 0.05.

El reporte del intervalo de confianza y el intervalo de predicciones con un N. C. del 95% es de (0.0128, 0.1585) para relación volumen.

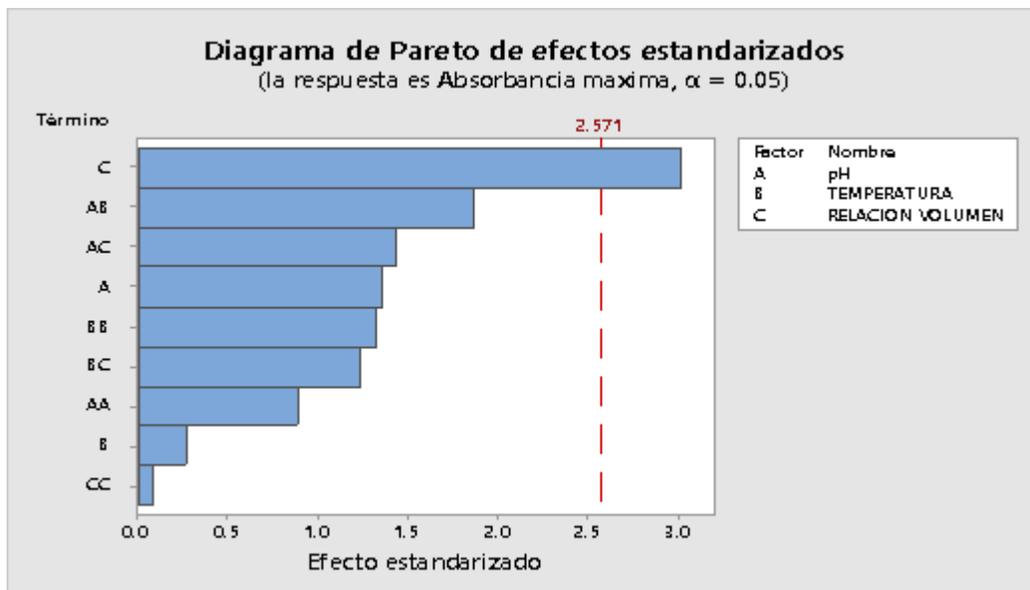


Figura 37 Diagrama de Pareto (Minitab 17.0).

De acuerdo con el análisis del diagrama de Pareto indica que si existe una correlación dado que 0.0619 es mayor que 0.029 se rechaza H_0 y se concluye con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ interpretando el intervalo de confianza y el intervalo de predicciones con un 95% de IC (0.8993, 1.1716) Y IP de 95% (0.7895, 1.2815) con el mejor pronóstico del 80.67% de absorbancia máxima.

Gracias a este diseño experimental, represento las mejores condiciones de trabajo en la reacción de reducción para la obtención de nanopartículas metálicas de Cu- Fe para dar continuidad al presente trabajo de investigación y como principal resultado se encontraron las mejores condiciones de trabajo para una óptima reacción de reducción las cuales son: pH 4, temperatura 30°C y una relación volumen de 3.1 veces el volumen de la infusión por una de la solución metálica.

CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

Se obtuvieron nanopartículas de Cu y Fe potenciales a base de una síntesis verde para la remediación de agua contaminada con colorantes.

- De acuerdo con la información consultada del capítulo I, se destacaron temas relacionados al proyecto para la obtención de la síntesis verde.
- Se revisó varias fuentes con diferentes artículos que se consultaron para llegar a una alternativa y así se recolectaron las plantas y frutos los cuales se trabajaron para la obtención de nanopartículas de Cu y Fe usando un método de reducción convencional bottom-up donde este método permitió la formación de nanopartículas por contacto directo extracto-disolución de metal.
- Se desarrolló una tabla presentada en el capítulo II donde se realiza la búsqueda de diferentes artículos y mencionan diferentes condiciones el cual trabajan por medio de una síntesis verde y base de ello se llegó a la conclusión de trabajar con plantas es porque tiene como ventaja económicamente como fácil de obtener y un proceso rápido que no contamina al medio ambiente.
- Diferentes autores reportan que en el uso de las plantas encontramos polifenoles, flavonoides, esteroides y glucósidos los mismos que ayudan en la separación de otras macromoléculas presentes en determinados compuestos, también cumplen la función de estabilizadores de iones.
- Se obtuvo una síntesis verde experimentando 6 frutos y 7 diferentes tipos de plantas el cual se realizó el extracto y posteriormente la disolución de FeSO_4 y CuSO_4 .

- para esta obtención de la síntesis se experimentaron 6 frutos y 7 diferentes tipos de plantas, por este medio se realizaron los extractos y posteriormente se la síntesis de nanopartículas de Cu y Fe
- Se propuso realizar la extracción con 13 especies diferentes para llegar a un resultado más eficiente.
- Durante el desarrollo de la extracción de los diferentes tipos de plantas se logró observar proceso de reducción hace que sea un método más fácil y económicamente viable para la síntesis de nanopartículas Cu y Fe, autores reportaron condiciones donde analizan el pH, temperatura y relación volumen siendo así datos ocupados para la obtención de nanopartículas $\text{CuSO}_4\text{-FeSO}_4$ bimetálicas, las características realizadas se observaron mediante las imágenes obtenidas de los espectros UV-vis el cual se demuestra que la de hoja de guayaba (*Psidium guajava L*) tiene un alto potencial de reducción y una fuerte capacidad protectora para la preparación de nanopartículas de Cu y Fe a temperatura ambiente en una solución acuosa con un pH 4 y relación volumen de 3:1 estos datos se obtenidos fueron mediante el diseño de experimento dando como el principal factor determinante la relación volumen dado que tiene una contribución del 35.27% .

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar frutos que contengan altos niveles de antioxidantes.
- Se recomienda realizar un análisis de Cu y Fe.
- Se recomienda realizar resultados de imágenes TEM donde muestre las nanopartículas de Cu y Fe en sus diferentes formas.

Tabla 2.9 Competencias desarrolladas y aplicadas (Elaboración propia)

TABLA DE COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y APLICADAS

Materias	Competencia	Aplicación
QUÍMICA	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. 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.	Desarrollo de preparación de soluciones por medio de ecuaciones para la obtención de sales metálicas.
3ECONOMÍA	Evalúa y analiza alternativas económicas relacionadas con el consumo y la producción a través de la aplicación de los conceptos, metodología e instrumentos de la teoría microeconómica para el mejoramiento de la productividad de los sistemas productivos.	Uso de plantas sin costo alguno y sin uso de energía.
FUNDAMENTOS DE INVESTIGACIÓN	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.	Investigación de fuentes bibliográficas y comunicación, lectura de análisis y comprensión.
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	Identifica las características de los materiales puros de las aleaciones ferrosas, no ferrosas, y materiales orgánicos e inorgánicos.	Realiza Investigaciones de las características de los materiales e identificación se encuentran los materiales en la naturaleza.
ESTADÍSTICA INFERENCIAL	<ul style="list-style-type: none"> •Determina los intervalos de confianza referentes a la muestra de interés. •Valida por pruebas de hipótesis, alguna medida de interés en la muestra, y la inferencia en la población de estudio las medidas. •Determina mediante las pruebas de bondad de ajuste el nivel de validez de los modelos en los fenómenos que se presenten en la práctica profesional, su comportamiento y control normado. 	Uso de datos tomados en cada muestra de infusión, estableciendo un diseño de experimentos para identificar datos reales y así obtener una la mejor propuesta.

<p style="text-align: center;">TALLER DE INVESTIGACIÓN I</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Elabora un protocolo de investigación en el área de su formación profesional •Busca y clasificar los diferentes tipos de investigación en el ámbito científico y tecnológico dentro y fuera de la institución. •Desarrolla los elementos del protocolo en un documento en forma estructurada. 	<p>Comprensión de investigación en el desarrollo de los capítulos, aplicando herramientas de comunicación escrita y oral con el objetivo de tener una redacción con coherencia, claridad y precisión.</p>
<p style="text-align: center;">TALLER DE INVESTIGACIÓN II</p>	<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>	<p>Selección, clasificación y análisis de información, citas, así como imágenes identificando los tipos de investigación.</p>
<p style="text-align: center;">DESARROLLO SUSTENTABLE</p>	<p>Formula y optimiza modelos matemáticos aplicando técnicas deterministas y probabilistas a situaciones reales del entorno, interpretando las soluciones obtenidas expresadas en un lenguaje accesible al usuario para la toma de decisiones.</p>	<p>Interpretación de las pruebas estadísticas de hipótesis, utilización de software estadístico, elaboración de diagramas, desarrolló sustentable en la propuesta del proyecto.</p>
<p style="text-align: center;">ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS</p>	<p>Planea y organiza actividades; así como integra, dirige y controla recursos en tiempo costo aplicando herramientas de la gestión de proyecto</p>	<p>Realiza la representación gráfica de un proyecto, que permitió determinar los tiempos de terminación de las actividades e identificar la ruta crítica.</p>

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulqader, T., Hassan, K. T., Rajab, S., Ibraheem, I. J., Hassan, O. M., & Obaid, A. S. (2020). In vitro scolical activity of synthesised silver nanoparticles from aqueous plant extract against *Echinococcus granulosus*. *Biotechnology Reports*, 28, e00545. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00545>
- Alabdallah, N. M., & Hasan, M. (2021). Saudi Journal of Biological Sciences Plant-based green synthesis of silver nanoparticles and its effective role in abiotic stress tolerance in crop plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5631–5639. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.081>
- Anu, K., Devanesan, S., Prasanth, R., Alsahhi, M. S., Ajithkumar, S., & Singaravelu, G. (2020). Journal of King Saud University – Science 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>
- Asif, M., Zahir, E., Muhammad, S., Naseem, M., Arif, M., Iqbal, J., & Walker, G. (2018). LWT - Food Science and Technology Iron , copper and silver nanoparticles : Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial , antifungal and a fl atoxin B 1 adsorption activity. *LWT - Food Science and Technology*, 90(November 2017), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>
- Carri, G., & Rosas-saito, G. (2019). RSC Advances. *Royal Society of Chemistry*, 9, 18835–18843. <https://doi.org/10.1039/c9ra03110c>
- Deguchi, Y., & Miyazaki, K. (2010). effects of guava leaf extract. *Nutrition & Metabolism*, 1–10.
- Esquillor, M. (2018). *Fundamentos Conceptuales y Didácticos Nanocristales , nuevos materiales con propiedades y applications. 2018*, 306–314.
- Faizal, A., Razis, A., Ibrahim, M. D., Kntayya, S. B., Dqg, D., Lqfoxglqj, Q., Dqg, Y., Oprvw, P., Sduwv, D. O. O., Fdq, I., Xvhg, E. H., & Vrxufh, D. V. D. (2014). *Health Benefitts of Moringa oleifera. 2*, 8571–8576.
- Fatimah, I., Hidayat, H., Hernawan, B., & Husein, S. (2020). South African Journal of Chemical Engineering Ultrasound-assisted biosynthesis of silver and gold nanoparticles using *Clitoria ternatea* flower. *South African Journal of Chemical Engineering*, 34(March), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.06.007>
- García, J. R. (2013). “ *síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia sp. y su incorporación en membranas poliméricas nanofibrosas .*”
- Gomez Garzón, M. (2018). *Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. 27*(2), 75–80.
- Gopalakrishnan, V., & Muniraj, S. (2020). Materials Today : Proceedings Neem flower extract assisted green synthesis of copper nanoparticles – Optimisation , characterisation and anti-bacterial study. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.013>
- Javaid, M., Haleem, A., Pratap, R., Suman, R., & Rab, S. (2021). Advanced Industrial and

- Engineering Polymer Research Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(4), 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.07.005>
- Jeffery, E. H., Brown, A. F., Kurilich, A. C., Keck, A. S., Matusheski, N., Klein, B. P., & Juvik, J. A. (2003). Variation in content of bioactive components in broccoli. *Food Composition and Analysis*, 16, 323–330. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(03\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(03)00045-0)
- Jonapá-hernández, F., Ruiz-lau, N., Ruiz-valdivieso, V. M., & Gutiérrez, C. P. T. (2020). *Síntesis de fotonanopartículas de cobre, una opción más amigable con el medio ambiente*. 24(2), 58–68.
- Juven, B. J., Kanner, J., Schved, F., & Weisslowicz, H. (1994). Factors that interact with the antibacterial action of thyme essential oil and its active constituents. *Applied Bacteriology*, 76, 626–631.
- Katata-seru, L., Moremedi, T., Aremu, O. S., & Bahadur, I. (2018). Green synthesis of iron nanoparticles using Moringa oleifera extracts and their applications : Removal of nitrate from water and antibacterial activity against Escherichia coli. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.093>
- Khan, M., Saeed, M., Khan, A., Krishna, K., Goswami, Y., Rehman, K., & Chakrabarty, I. (2021). The potential exposure and hazards of metal-based nanoparticles on plants and environment , with special emphasis on ZnO NPs , TiO₂ NPs , and AgNPs : A review. *Environmental Advances*, 6, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100128>
- Khani, R., Roostaei, B., Bagherzade, G., & Moudi, M. (2018). Green synthesis of copper nanoparticles by fruit extract of Ziziphus spina-christi (L.) Willd .: Application for adsorption of triphenylmethane dye and antibacterial assay. *Journal of Molecular Liquids*, 255, 541–549. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.010>
- Kligler, M.D., M. P. . (2003). *Complementary and alternative medicine*. 77–80.
- Kolahalam, L. A., Prasad, K. R. S., Krishna, P. M., & Supraja, N. (2021). Heliyon Saussurea lappa plant rhizome extract-based zinc oxide nanoparticles : synthesis , characterization and its antibacterial , antifungal activities and cytotoxic studies against Chinese Hamster Ovary (CHO) cell lines. *Heliyon*, 7(December 2020), e07265. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07265>
- Kriplani, P. (2017). Arnica montana L . – a plant of healing : review. *Pharmacy and Pharmacology*, 69, 925–945. <https://doi.org/10.1111/jphp.12724>
- Liu, H., Zheng, S., Xiong, H., Alwahibi, M. S., & Niu, X. (2020). Biosynthesis of copperoxide nanoparticles using Abies spectabilis plant extract and analyzing its antinociceptive and anti-inflammatory potency in various mice models. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(9), 6995–7006. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.07.006>
- Méndez. (2020). Biosíntesis de nanopartículas de hierro (fe³⁺ o fe⁴⁺) en la remediación de aguas contaminadas. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGIA*, 24(2542-3401/1316-4821), 35–45.

- Miyake, Y., Yamamoto, K., Morimitsu, Y., & Osawa, T. (1998). Characteristics of Antioxidative Flavonoid Glycosides in Lemon Fruit. *Food Sci. Technol*, 4(1), 48–53.
- Nabavi, S. F., Nabavi, S. M., Ebrahimzadeh, M. A., & Asgarirad, H. (2011). The antioxidant activity of wild medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit, stem bark and leaf. *African Journal of Biotechnology*, 10(2), 283–289. <https://doi.org/10.4314/ajb.v10i2>.
- Oves, M., Ahmar, M., Aslam, M., Qari, H. A., Sonbol, H., Ahmad, I., Sarwar, G., & Saeed, M. (2021). Saudi Journal of Biological Sciences Green synthesis of silver nanoparticles by *Conocarpus Lancifolius* plant extract and their antimicrobial and anticancer activities. *Saudi Journal of Biological Sciences*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.007>
- Pérez, L., & Meza, S. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*, 108–117.
- Pérez, R. (2016). *Universidad autonoma del estado de mexico*. 60.
- Perry, C. M. (2014). *FACULTAD DE CONTADURÍA PÚBLICA Y ADMINISTRACIÓN CENTRO DE DESARROLLO EMPRESARIAL Y POSGRADO IMPACTO DE : LA MANUFACTURA ESBELTA , LA MANUFACTURA SUSTENTABLE Y LA MEJORA CONTINUA DISERTACIÓN PRESENTADA POR : SAN NICOLÁS DE LOS GARZA , NUEVO LEÓN MAYO DE 20*.
- Rajesh, K. M., Ajitha, B., Kumar, Y. A., Suneetha, Y., & Reddy, P. S. (2018). Optik Assisted green synthesis of copper nanoparticles using *Syzygium aromaticum* bud extract : Physical , optical and antimicrobial properties. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 154, 593–600. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.10.074>
- Ramos, C. A. (2017). *Grado en Ingeniería Química Memoria y Anexos*.
- Rodríguez, F. D. del C. (2012). *Introducción a los nanomateriales*.
- Safawo, T., Sandeep, B. V., Pola, S., & Tadesse, A. (2018). OpenNano Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using tuber extract of anchote (*Coccinia abyssinica* (Lam .) Cong .) for antimicrobial and antioxidant activity assessment. *OpenNano*, 3(August), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2018.08.001>
- Shdied, S., Albeladi, 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. *Integrative Medicine Research*, 9(5), 10031–10044. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.074>
- Somchaidee, P., & Tedsree, K. (2018). Green synthesis of high dispersion and narrow size distribution of zero-valent iron nanoparticles using guava leaf (*Psidium guajava* L) extract. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9, 9pp.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4 . 0. *Procedia CIRP*, 40(Icc), 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Subramaniam, V., Subashchandrabose, S. R., Thavamani, P., Megharaj, M., & Chen, Z. (2015). *Chlorococcum sp . MM11 — a novel phyco-nanofactory for the synthesis of iron*

nanoparticles. January. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0492-2>

Valencia, G. J. A. (2019). pradera y frecuencias de defoliación Introducción. *Revista Mex Ciencia Pecu*, 3, 353–366.

ANEXOS

Análisis de Varianza

FUENTE	G L	SC SEC.	CONTRIBUCIÓN	SC AJUST.	MC AJUST.
MODELO	9	0.134154	80.67%	0.134154	0.014906
LINEAL	3	0.070976	42.68%	0.070976	0.023659
PH	1	0.011858	7.13%	0.011858	0.011858
TEMPERATURA	1	0.000465	0.28%	0.000465	0.000465
RELACION VOLUMEN	1	0.058653	35.27%	0.058653	0.058653
CUADRADO	3	0.017686	10.64%	0.017686	0.005895
PH*PH	1	0.006178	3.71%	0.005055	0.005055
TEMPERATURA*TEMPERATURA	1	0.011457	6.89%	0.011271	0.011271
RELACION VOLUMEN*RELACION VOLUMEN	1	0.000052	0.03%	0.000052	0.000052
INTERACCIÓN DE 2 FACTORES	3	0.045492	27.36%	0.045492	0.015164
PH*TEMPERATURA	1	0.022350	13.44%	0.022350	0.022350
PH*RELACION VOLUMEN	1	0.013340	8.02%	0.013340	0.013340
TEMPERATURA*RELACION VOLUMEN	1	0.009801	5.89%	0.009801	0.009801
ERROR	5	0.032145	19.33%	0.032145	0.006429
FALTA DE AJUSTE	3	0.032145	19.33%	0.032145	0.010715
ERROR PURO	2	0.000000	0.00%	0.000000	0.000000
TOTAL	14	0.166299	100.00%		

Resumen del modelo

S	R-CUAD.	R-CUAD. (AJUSTADO)	PRESS	R-CUAD. (PRED)
0.0801807	80.67%	45.88%	0.514316	0.00%

Coefficientes codificados

TÉRMINO	COEF	EE DEL COEF.	IC DE 95%	VALOR T	VALOR P	FIV
CONSTANTE	0.8960	0.0463	(0.7770, 1.0150)	19.36	0.000	
PH	-0.0385	0.0283	(-0.1114, 0.0344)	-1.36	0.232	1.00
TEMPERATURA	0.0076	0.0283	(-0.0652, 0.0805)	0.27	0.799	1.00
RELACION VOLUMEN	0.0856	0.0283	(0.0128, 0.1585)	3.02	0.029	1.00

Optimización de respuesta: Absorbancia máxima

Parámetros

RESPUESTA	META	INFERIOR	OBJETIVO	SUPERIO R	PONDERACI ÓN	IMPORTANCI A
ABSORBANCIA MAXIMA	Máximo	0.727	1.099		1	1

Solución

SOLUCIÓN	PH	TEMPERATURA	RELACION VOLUMEN	ABSORBANCIA MAXIMA AJUSTE	DESEABILIDAD COMPUESTA
1	4	30	3	1.03548	0.829256

Predicción de respuesta múltiple

VARIABLE	VALOR DE CONFIGURACIÓN
PH	4
TEMPERATURA	30
RELACION VOLUMEN	3

RESPUESTA	AJUSTE	EE DE AJUSTE	IC DE 95%	IP DE 95%
ABSORBANCIA MAXIMA	1.0355	0.0619	.8993, 1.1716)	(0.7895, 1.2815)