

Evaluación de Parámetros de Síntesis y Factibilidad Económica de Nanomateriales Obtenidos en  
Procesos en Serie a Partir del Residuo Orgánico de la Semilla de Aguacate

Karol Melissa Chacón Tarazona y Isabel Cristina Galindo Quintero

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Químico

Directora:

Prof. Luz Marina Ballesteros Rueda

Ingeniera Química, Ph.D.

Codirector:

Donaldo Fabio Mercado Castro

Ingeniero Químico, Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2020

### **Dedicatoria**

A Dios porque sin él nada de esto sería posible.

A mi padre Alberto Chacón, este logro es por él, por darme las bases y motivarme a elegir la mejor universidad, este sueño era tuyo y te lo estoy cumpliendo papá. Me hubiera encantado verte en mi graduación, abrazarte y poderte decir que todo esto es por ti.

A mi madre Martha Tarazona, por ser mi mejor amiga, confidente y cómplice, gracias mujer guerrera y luchadora por haberme enseñado todo lo que sé de la vida. Por mostrarme el primer laboratorio que vería en la vida, la cocina. Sin ella nada de esto sería posible, por sus brazos listos para un abrazo o una caricia, por sus palabras precisas en los momentos donde las he necesitado. Por ser mi motor para seguir escalando. Te amo mami.

A mi hermano Johann Chacón, porque a pesar de las diferencias siempre está para decirme lo que es correcto o no, porque ha sido una de las personas que me ha ayudado a formar mi carácter y sé que soy su ejemplo a seguir, pero él es una de mis motivaciones para continuar cada día. Te amo hermanito.

A mis abuelos María del Rosario y Luis Eliecer, mis segundos padres, por su amor, por ser mis cómplices en todo y nunca fallarme, por su constancia y verraquera para sacar a toda una familia adelante siendo el amor, el carácter y la unidad los pilares más importantes. Son mi vida y sin ustedes nada de esto sería posible.

A mi abuelo Benjamín Chacón, por ser otro angelito que hará parte de mi vida siempre, porque en el corto tiempo que Dios me lo prestó hizo parte de mi formación como persona, con su serenidad y tranquilidad me enseñó lo bonito de la vida y el valor de la familia, por ser parte de la columna vertebral de la familia Chacón Ortíz.

A mi abuela Josefina Ortíz, por su sabiduría en cada palabra que me ha dado, por su confianza en mí, por ser uno de los pilares importantes para mi vida.

A mi tía Zoraida Tarazona, por ser uno de mis ejemplos a seguir, por estar presente en cada decisión y paso que doy. Con su carácter me ha demostrado que con disciplina y constancia todo se puede lograr, gracias por creer en mis capacidades.

A mis tíos Esperanza y Juan Pablo Tarazona, por su motivación y ser esos terceros padres incondicionales en mi vida, por hacer parte de mi formación como persona.

A mi tía Zoraida Chacón, por ser uno de mis ejemplos a seguir, por creer en el potencial que tengo, porque con su carácter me llena de ganas para continuar escalando en mi vida, gracias por su confianza y amor en cada palabra que me da.

A mi tía Emma Chacón, por su amor incondicional y a pesar de la distancia ser una mamá más para mí, porque con su amor por Dios me ha demostrado que se vale soñar y creer en cada cosa que uno hace.

A mis tíos Hugo y William Chacón, porque a pesar de las circunstancias han estado orgullosos de mí, me han motivado a seguir adelante, a persistir y no rendirme.

A mi primo Marlom Jaimes por ser ese otro hermano que me dio la vida, por ser su ejemplo a seguir, y motivarme a ser mejor cada día.

A mi prima Adriana Tarazona, por ser mi compinche y cómplice en cada ocurrencia que tengo, por sus consejos que siempre serán los mejores, gracias por creer en mí.

A mis primos Silvia y Oscar Vega, porque a pesar de la distancia siempre serán parte de mi vida, son mi motivación, “lo mismo pero diferente”.

A Nachi, quien a pesar del poco tiempo compartido ha sido incondicional para mí, su visión de la vida me ha enseñado que con disciplina todo se puede lograr, gracias por ese amor desinteresado que me das.

A Isabel Cristina, por ser mi compañera y amiga en este proceso, por ser esa mujer y madre guerrera que siempre admiraré, por hacerme parte de su vida en esta etapa tan importante para las dos, gracias por la confianza en mí, por creer en que esto fuera posible y porque encontramos en la investigación una de nuestras pasiones, siempre contarás conmigo, te quiero mucho crís.

A Pipe, Mike y Diego, por su amistad incondicional, porque han hecho parte de mi vida en distintas etapas, pero han sido esas personitas que Dios ha puesto en mi camino para ayudarme a crecer como persona, los quiero.

A María, Tatiana y Catalina, por su amistad incondicional, porque con ellas inicie esta etapa tan importante de mi vida y siempre serán de las mejores amistades que tendré, gracias niñas por su amistad, las quiero mucho.

A mis demás amigos y familiares, por ser incondicionales para mi formación como persona, este logro también es para ellos.

A la Universidad Industrial de Santander, por ser mi segundo hogar desde que tengo uso de razón, por ser mi ilusión más grande, por la oportunidad que me brinda para mi formación profesional.

**Karol Melissa Chacón Tarazona**

A Dios en primer lugar porque gracias a él encontré la fuerza y la sabiduría para continuar a pesar de las circunstancias, te entrego este logro como parte de mis primicias.

A mis hijos, Juan José y Juan Fernando, gracias por escogerme y darle a mi vida los mejores momentos, porque con cada sonrisa y abrazo me permitían estar en paz. Los amo y siempre serán lo mejor que hay en mi vida. Todo lo que he logrado y lograré es para ustedes.

A mi madre, Rosabel Quintero, por siempre ser ese apoyo incondicional, este logro es más tuyo que mío; tu confianza, compañía, colaboración, pero sobre todo el nunca dejarme sola permitieron que todo esto fuese posible.

A mi padre, Omar Galindo, por su compañía, por los buenos momentos y por escucharme todos los días los mismos cuentos, caprichos y rabietas.

A mis hermanos, Jacqueline, Omar Yesid, Erika y Juan, y a mi cuñada Marley, porque me ayudaron cada día a levantarme con más ánimo, confiaron en mí y me demostraron lo valioso que son los sueños. Gracias por la familia que somos. Perdón por la demora. Espero que juntos sigamos creciendo como lo hemos hecho hasta el momento.

A mis sobrinos, Alejandro, Samuel y Natalia, nunca se rindan, siempre luchen por sus sueños de la mano de Dios y de nuestra familia. Los amo inmensamente.

A Dairon Herrera, por siempre estar para nuestros hijos y por estar conmigo en aquellos momentos buenos y malos en donde a pesar de todo me apoyaste.

A Melissa Chacón, por ser esa compañera y amiga inesperada e incondicional, por tener la iniciativa de aventurarnos a esta maravillosa experiencia que nos llenó de muchos aprendizajes y lo más importante nos ayudó a culminar con nuestra carrera universitaria. Vivimos momentos de angustia, de felicidad y de agonía, pero nos quedaron los mejores recuerdos y amigos logrados. Sabes que cuentas conmigo.

*Isabel Cristina Galindo Quintero*

### Agradecimientos

En primer lugar, le damos gracias a Dios por habernos permitido día a día avanzar con este gran proyecto, el habernos regalado la sabiduría, paciencia y fortaleza para llevar a cabo nuestros estudios y el brindarnos las mejores oportunidades y personas en todo este proceso.

A nuestra directora **Luz Marina Ballesteros**, quien nos dio la oportunidad de culminar esta etapa, brindándonos su confianza y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A nuestro co-director **Donaldo Fabio Mercado**, por el apoyo incondicional que nos tuvo desde el primer día, por la paciencia que nos tuvo con cada enseñanza y conocimiento que nos dio, por los consejos y la ayuda que nos brindó con cada equivocación que tuvimos, por mostrarnos lo bello que es el mundo de la ciencia e introducirnos en este. Por ser ese amigo que nos deja esta etapa que termina. Gracias por inspirarnos a seguir trabajando con dedicación y esmero en todo lo que nos proponíamos.

Al centro de investigación en catálisis (**CICAT**) y a todos sus integrantes, por acogernos y permitirnos realizar nuestro proyecto de grado.

A **Aldair Vergel** por los consejos que nos brindó tanto en índole personal como profesional. Por su ayuda en cada uno de los experimentos fallidos que tuvimos, por el apoyo y la confianza. Por ser esa voz de aliento en el momento que más la necesitamos.

A **Laura Díaz**, por su ayuda en los momentos donde la necesitamos y brindarnos esa mano amiga para realizar nuestras pruebas.

A los integrantes del CICAT, **Alejandra, Mariana, Olga, Brayán, Yuri, Yuli, Ángel y Karen** por las risas, charlas y todo el tiempo tan ameno que pasamos juntos.

Al personal de laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química, **Wilson Eduardo Carreño Soler** y **Luis Eduardo Carreño Pérez**, por su colaboración desinteresada y constante a lo largo de la elaboración de este proyecto.

Al **laboratorio de Difracción de Rayos-X** del Parque Tecnológico Guatiguará adscrito a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander y su director el profesor José Antonio Henao Martínez.

Al **grupo de Investigación en Polímeros** (GIP) del Parque Tecnológico Guatiguará, por la disponibilidad de su laboratorio para llevar a cabo Análisis Termogravimétrico.

Al **Centro de Microscopia Avanzada** de la Universidad de Antioquia, por la preparación de muestras y asesoría en la técnica de microscopia electrónica de transmisión (TEM).

A nuestra alma mater, la **Universidad Industrial de Santander** y a nuestra escuela de **Ingeniería Química**, por la oportunidad que nos dio de crecer y aprender en nuestra vida profesional.

A nuestras familias por su apoyo incondicional y su compañía en todo este proceso.

**Karol Melissa Chacón e Isabel Cristina Galindo**

## Contenido

	Pág.
Introducción .....	18
1. Objetivos .....	21
1.1 Objetivo General.....	21
1.2. Objetivos Específicos.....	21
2. Metodología .....	22
2.1 Efecto de la concentración del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate en la obtención de nanomateriales de Ag y sus propiedades fisicoquímicas.....	23
2.1.1 Síntesis de las nanopartículas de Ag (NpAg). .....	25
2.1.2 Caracterización de las nanopartículas de Ag (NpAg).....	25
2.2 Realizar el análisis de costos del proceso de producción de nanopartículas de Ag a partir del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate .....	27
2.2.1 Determinación del costo de producción unitario de la semilla de aguacate .....	27
2.2.2 Determinación del costo de producción unitario del extracto hidrosoluble. ....	28
2.2.3 Determinación del costo de producción unitario de las nanopartículas de Ag (NpAg).....	28
2.3 Efecto de la variación del pH en el carbón residual de la síntesis de las nanopartículas de carbono sobre las propiedades fisicoquímicas de nanomateriales de SiO <sub>2</sub> (NpSiO <sub>2</sub> ) .....	29
2.3.1 Síntesis de las nanopartículas de SiO <sub>2</sub> (NpSiO <sub>2</sub> ) .....	29

2.3.2 Caracterización de las nanopartículas de SiO <sub>2</sub> (NpSiO <sub>2</sub> ). .....	30
3. Análisis y Discusión de Resultados .....	31
3.1 Efecto de la concentración del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate en la obtención de nanomateriales de Ag y sus propiedades fisicoquímicas.....	31
3.2 Realizar el análisis de costos del proceso de producción de nanopartículas de Ag a partir del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate .....	44
3.2.1 Pretratamiento de la semilla de aguacate. ....	45
3.2.2 Preparación del extracto hidrosoluble a partir de la semilla de aguacate. ....	45
3.2.3 Obtención de nanopartículas de Ag a partir del extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate.....	46
3.2.3.1 Nanopartículas de Ag usando 50 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 50). ....	47
3.2.3.2 Nanopartículas de Ag usando 40 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 40). ....	47
3.2.3.3 Nanopartículas de Ag usando 33 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 33). ....	48
3.2.3.4 Nanopartículas de Ag usando 25 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 25). ....	48
3.3 Estudiar el efecto de la variación del pH del sólido residual del proceso de síntesis de nanomateriales de Ag sobre las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas de SiO <sub>2</sub> (NpSiO <sub>2</sub> ) .....	49
4. Conclusiones.....	51

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE SÍNTESIS Y FACTIBILIDAD ...	10
5. Recomendaciones .....	52
Referencias Bibliográficas .....	54
Apéndices.....	58

**Lista de Figuras**

	Pág.
Figura 1. Esquema metodológico del proyecto de investigación. ....	24
Figura 2. Cambios de la banda de absorción a medida del desarrollo de la síntesis de nanopartículas de Ag (NpAg).....	32
Figura 3. Evolución temporal de las nanopartículas de Ag (NpAg) respecto a: (a) máximo de absorción (b) de la banda plasmónica.....	33
Figura 4. DLS de la cinética: (a) Tamaño aglomerado de partícula de las nanopartículas de Ag (NpAg) (b) Evolución temporal del Potencial Z de las nanopartículas de Ag (NpAg) en el sistema reactivo.....	35
Figura 5. UV-Visible normalizado respecto al valor máximo de absorbancia de cada curva de las nanopartículas de Ag (NpAg).....	36
Figura 6. Imágenes TEM de las nanopartículas de Ag (NpAg) y la distribución de tamaños de las nanopartículas en histogramas sintetizadas con la concentración más alta y más baja de extracto hidrosoluble: a) NpAg 50 b) NpAg 25 .....	38
Figura 7. SAD de las nanopartículas de Ag (NpAg), patrón de difracción de electrones del área seleccionada que muestra los planos de cristal característicos de plata elemental: a)NpAg50 b)NpAg25 .....	39
Figura 8. Difractogramas de las nanopartículas de Ag (NpAg) con diferente cantidad de extracto hidrosoluble: NpAg 50 y NpAg 25.....	40
Figura 9. Curvas termogravimétricas de las nanopartículas de Ag (NpAg).....	41

Figura 10. Espectros FTIR de las nanopartículas de Ag (NpAg) .....	42
Figura 11. DLS de las nanopartículas de Ag (NpAg).....	44
Figura 12. Curva termogravimétrica de la semilla de aguacate.....	51
Figura 13. Ajuste de curvas estadístico de los histogramas de la concentración más alta y más baja de extracto hidrosoluble: a)NpAg 50 b)NpAg 25 .....	59
Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de obtención de nanopartículas de Ag a partir de la semilla de aguacate .....	63
Figura 15. Diagrama de bloques pretratamiento de la semilla de aguacate.....	65
Figura 16. Diagrama de bloques preparación del extracto hidrosoluble .....	67
Figura 17. Diagrama de bloques general obtención nanopartículas de Ag (NpAg).....	69
Figura 18. Cambios de la banda de absorción empleando el extracto hidrosoluble en la obtención de nanopartículas de C (NpC).....	75
Figura 19. Cambios de la banda de absorción empleando el residuo sólido de la semilla de aguacate con pretratamiento en agitación en la obtención de nanopartículas de C (NpC).....	76
Figura 20. Cambios de la banda de absorción empleando el residuo sólido de la semilla de aguacate con pretratamiento en sonicación en la obtención de nanopartículas de C (NpC) .....	77
Figura 21. Cambios de la banda de absorción de las nanopartículas de C (NpC) S180 en presencia de nanopartículas de Cu (NpCu).....	78

### Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Media y Desviación estándar de las nanopartículas de Ag (NpAg) obtenidas por TEM	37
Tabla 2. Consumo energético de los equipos empleados en el pretratamiento de la semilla de aguacate y su costo de utilidad.....	45
Tabla 3. Consumo energético de los equipos empleados en preparación del extracto hidrosoluble y su costo de utilidad.....	46
Tabla 4. Consumo energético de los equipos empleados en la obtención de las nanopartículas de Ag (NpAg) y su costo .....	46
Tabla 5. Costo de producción unitario de las nanopartículas de Ag (NpAg) obtenidas en cada síntesis.....	49
Tabla 6. %masa perdida de materia orgánica y total de cada una de las nanopartículas de Ag (NpAg) .....	59
Tabla 7. Datos estadísticos obtenidos por medio de la herramienta excel para las NpAg 50 y NpAg 25.....	60
Tabla 8. Tamaño de partícula hallado por el difractogramas siguiendo el modelo de Scherrer...	60
Tabla 9. Análisis bromatológico en las tres partes del fruto de tres variedades de aguacate en dos estados de madurez. MF: madurez fisiológica; MC: madurez de consumo .....	61
Tabla 10. Composición química y nutricional de dos cultivares de palto .....	62
Tabla 11. Costo y presentación de los compuestos empleados en la obtención de nanopartículas de Ag (NpAg) .....	64

Tabla 12. Consumo energético de los equipos empleados ..... 65

Tabla 13. Parámetros variados para la obtención de las nanopartículas de carbono (NpC)..... 74

**Lista de Apéndices**

	Pág.
Apéndice A. Cálculos realizados para las técnicas de caracterización de las nanopartículas de Ag (NpAg) .....	58
Apéndice B. Cálculos realizados para la caracterización de la semilla de aguacate y tablas utilizadas para la caracterización de las nanopartículas de SiO <sub>2</sub> (NpSiO <sub>2</sub> ) .....	61
Apéndice C. Cálculos realizados para el análisis de costos de las nanopartículas de Ag (NpAg)	63
Apéndice D. Obtención de nanopartículas de C (NpC) y nanopartículas de Cu (NpCu) .....	73

## Resumen

**Título:** Evaluación de parámetros de síntesis y factibilidad económica de diferentes nanomateriales obtenidos de procesos en serie a partir del residuo orgánico de la semilla de aguacate.\*

**Autores:** Chacón Tarazona Karol Melissa, Galindo Quintero Isabel Cristina\*\*

**Palabras Clave:** Nanomateriales, Semilla de aguacate, Procesos en serie, Técnicas de caracterización, Análisis de costos

### Descripción

Con el fin de evaluar el efecto de parámetros de síntesis de diferentes nanomateriales obtenidos a partir del residuo orgánico de la semilla de aguacate en procesos en serie y, además, generar un valor agregado de éste en el campo investigativo, se realizó la síntesis de nanopartículas de plata (NpAg), nanomateriales de silicio (NpSi) y el análisis de costos de las nanopartículas de plata (NpAg).

Variando la cantidad de extracto hidrosoluble en la obtención de las NpAg se obtuvieron cuatro materiales, siendo estos: NpAg 50, NpAg 40, NpAg 33 y NpAg 25. La caracterización de NpAg que se llevaron a cabo fueron: UV-Vis, FTIR, ATR, DLS y TGA; y únicamente para los experimentos de NpAg 50 y NpAg 25 se incluyeron las técnicas de caracterización TEM y XRD, siendo estas muestras las que mayor y menor contenido de extracto hidrosoluble contienen. Las técnicas de caracterización mencionadas anteriormente se realizaron con el fin de ver las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas.

Después de realizado el estudio fisicoquímico de las NpAg obtenidas, se llevó a cabo el análisis de costo de dicho proceso y se determinó que la variación en la concentración del extracto empleado en cada síntesis no es factor determinante en el costo de obtención dado que no se observó una variación significativa en este costo respecto a cada síntesis.

Las NpSi no fue posible obtenerlas, debido a que el porcentaje de ceniza obtenido de la calcinación de la semilla de aguacate es muy bajo y el proceso utilizado para la obtención no fue favorable, esto fue confirmado con la técnica TGA realizada, la cual nos confirmó dicho porcentaje.

Finalmente se puede concluir que el uso de residuos orgánicos en la obtención de nanomateriales es un gran avance y es una nueva forma de aprovechamiento de dichos residuos.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Centro de investigaciones en catálisis. Directora: Luz Marina Ballesteros Rueda, Ingeniera Química, M.Sc., Ph.D. Co-director: Donaldo Fabio Mercado Castro, Ingeniero Químico, M.Sc., Ph.D.

## Abstract

**Title:** Evaluation of synthesis parameters and economic feasibility of different nanomaterials obtained from serial processes from the organic residue of the avocado seed\*

**Authors:** Chacón Tarazona Karol Melissa, Galindo Quintero Isabel Cristina\*\*

**Keywords:** Nanomaterials, Avocado seed, Serial processes, Characterization techniques, Cost analysis

### Description

In order to evaluate the effect of synthesis parameters of different nanomaterials obtained from the organic residue of the avocado seed in series processes and, in addition, to generate an added value of this in the research field, the synthesis of nanoparticles was carried out silver (NpAg), silicon nanomaterials (NpSi) and cost analysis of silver nanoparticles (NpAg).

Varying the amount of water-soluble extract to obtain the NpAg, we obtained four experiments, these being: NpAg 50, NpAg 40, NpAg 33 and NpAg 25. The characterization of the four NpAg experiments that were carried out were: UV-Vis , FTIR, ATR, DLS and TGA; and only for the experiments of NpAg 50 and NpAg 25 were the TEM and XRD characterization techniques included, being these samples the ones with the highest and lowest content of water-soluble extract, the characterization techniques mentioned above were carried out, in order to see the physicochemical properties of nanoparticles.

After the physicochemical study of the NpAg obtained, the cost analysis of said process was carried out and it was determined that the variation in the concentration of the extract used in each synthesis is not a determining factor in the cost of obtaining given that it does not a significant variation was seen in this compared cost in each synthesis.

The NpSi were not possible to obtain, because the percentage of ash obtained from the calcination of the avocado seed was very low and the process used to obtain it was not favorable, this was confirmed with the TGA technique performed, which confirmed said percentage.

Finally, it can be concluded that the use of organic waste in obtaining nanomaterials is a great advance and is a new way of taking advantage of such waste.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Centro de investigaciones en catálisis. Directora: Luz Marina Ballesteros Rueda, Ingeniera Química, MSc., Ph.D. Codirector: Donaldo Fabio Mercado Castro, Ingeniero Químico, MSc, Ph.D.

## Introducción

La gestión inadecuada de los residuos se ha convertido en uno de los mayores problemas no solo medioambientales, sino también de salud y económicos en todo el mundo, alrededor de 3.000 millones de personas carecen de acceso a instalaciones controladas de gestión de residuos. Cada año, se generan en todo el planeta entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de residuos de los cuales del 30 al 40 % son residuos orgánicos. (Global Waste Management Outlook, 2015)

En el caso de Colombia se generan unos 12 millones de toneladas de residuos sólidos al año del cual solo se recicla alrededor del 17% que por lo general son residuos plásticos ya que se ven como una fuente de ingresos. (EFE, 2018)

A pesar de que en estos momentos se le ha dado un enfoque al aprovechamiento de los residuos agroindustriales por su alto potencial para ser usados en diferentes procesos, las pocas alternativas, desde el punto de vista económico, social y nutricional, que en la actualidad se presentan, aunado a la falta de conciencia en la protección del medio ambiente provocan que estos sean mal manejados y se conviertan en fuentes de contaminación de los recursos naturales; suelo, agua y aire. (Cury, Aguas, Martínez, Olivero, & Chams, 2017)

Todo esto ha generado un debate sobre el uso adecuado de los residuos agroindustriales, lo que ha permitido que varias ramas del conocimiento direccionen sus objetivos a generar soluciones frente al tratamiento de los residuos y esto ha llevado al interés en el aprovechamiento de la biomasa proveniente de muchos residuos para la obtención de diversos nanomateriales.

Actualmente no se ha llevado a cabo ninguna obtención de nanopartículas en procesos en serie a partir de la semilla del aguacate, se han usado residuos como yerba mate y cáscara de

naranja; lo que hace de este trabajo algo innovador y la búsqueda del aprovechamiento de los residuos agroindustriales para este campo de acción como es la nanotecnología.

Pero nace la siguiente pregunta, ¿es posible obtener nanopartículas por medio de procesos en serie estudiando sus propiedades fisicoquímicas y su costo de producción, a partir de un residuo orgánico, en nuestro caso de interés la semilla de aguacate?

La producción de aguacate en Colombia lo ubica en el puesto quinto a nivel mundial, ya que se cuenta con alrededor de 10 variedades de aguacate de las cuales se producen 400 mil toneladas anuales; esto percibe un gran potencial para el desarrollo comercial y agroindustrial de este fruto en el país (Ríos Castaño & Tafur Reyes, 2003). El aguacate nos proporciona dos residuos los cuales no son aprovechados ni tratados, la cáscara y la semilla; ésta última corresponde alrededor del 12 al 28 % del peso de la fruta, este valor va a depender del tipo de aguacate.

En este trabajo lo que se busca es darle un valor agregado al residuo orgánico de la semilla de aguacate con el fin de obtener materiales de interés en el campo nanotecnológico a partir de su extracto hidrosoluble y su residuo carbonoso, a su vez realizar un análisis de costos de la obtención de estos nanomateriales y así incentivar el aprovechamiento de residuos orgánicos en varios campos tratando de mitigar la gran contaminación en la que nos estamos viendo involucrados.

Actualmente, la nanotecnología juega un papel importante en cuanto a nivel investigativo y desarrollo científico e industrial. Es una tecnología multidisciplinar que incluye la física, la química, la biología y la ingeniería y genera aplicaciones en el campo de la medicina, agricultura, tratamiento de aguas, entre otros. Pero su gran interés se ve reflejado en que cuando

la materia se encuentra y es tratada en escala nanométrica, ésta presenta propiedades totalmente novedosas, que difieren a las que se presentan de manera macroscópica.

Un nanomaterial, según la Comisión Europea (Comisión Europea, 2012), se define como “un material natural, secundario o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un aglomerado, en el que un 50% o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 100 nm”.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar los parámetros de síntesis y factibilidad económica de nanomateriales obtenidos en procesos en serie a partir del residuo orgánico de la semilla de aguacate

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar el efecto de la concentración de extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate en la obtención de nanomateriales de plata y sus propiedades fisicoquímicas
- Realizar el análisis de costos del proceso de producción de nanopartículas de plata a partir del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate
- Estudiar el efecto de la variación del pH del sólido residual del proceso de síntesis de nanomateriales de plata sobre las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas de silicio

## 2. Metodología

Reactivos: Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) de 99.5% de pureza; hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) con una pureza de 99%; nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) de 99.5% de pureza; bromuro de potasio ( $\text{KBr}$ ), todos suministrados por Merck. Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 65% de la casa comercial PanReac; agua tipo I Millie-Q (desionizada).

Se recolectaron 26 aguacates conocidos como antillano o criollo obtenidos de la finca Altagracia de la vereda San Isidro del municipio de Matanza, Santander, Colombia con un peso promedio de 250 g; de los cuales se aprovechó la semilla como nuestra materia prima que corresponde aproximadamente al 16% del peso de cada aguacate.

La semilla se cortó en rodajas del mismo espesor y luego en trozos pequeños de tamaño uniforme, los cuales se pusieron a secar a  $60^\circ\text{C}$  por 24 horas para luego disponer a molerlas usando el molino de cuchillas Wiley Mill, (Standard Model N°3, Pittsburgh, PA, EE. UU.) ubicado en el laboratorio de Procesos de la escuela de Ingeniería Química, las cuales se tamizaron haciendo uso de tamices de serie de Taylor con malla número 100 y menores, con el que se obtuvo un tamaño de partícula alrededor de  $150\ \mu\text{m}$ .

El desarrollo metodológico se dividió en tres fases como se observa en la **Figura 1**.

## **2.1 Efecto de la concentración del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate en la obtención de nanomateriales de Ag y sus propiedades fisicoquímicas**

Para conocer el efecto de la concentración del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate en la obtención de nanomateriales de plata primero se realizó la preparación del extracto hidrosoluble, seguido por la cinética del proceso, posteriormente se llevó a cabo la obtención de nanopartículas de Ag y finalmente su caracterización.

Para la preparación del extracto se dispuso de 10 g de semilla de aguacate previamente secados y molidos, los cuales se suspendieron en 500 ml de agua tipo I Millie-Q a 50°C en agitación constante (400 rpm) durante 2 horas. Luego se dejó en reposo por una hora para lograr que la mayoría de los sólidos se decantaran. Los sólidos que quedaron suspendidos en el residuo hidrosoluble se separaron por medio de centrifugación haciendo uso de una centrifuga LC-04F ubicada en el laboratorio CICAT por 30 min a 3500 rpm.

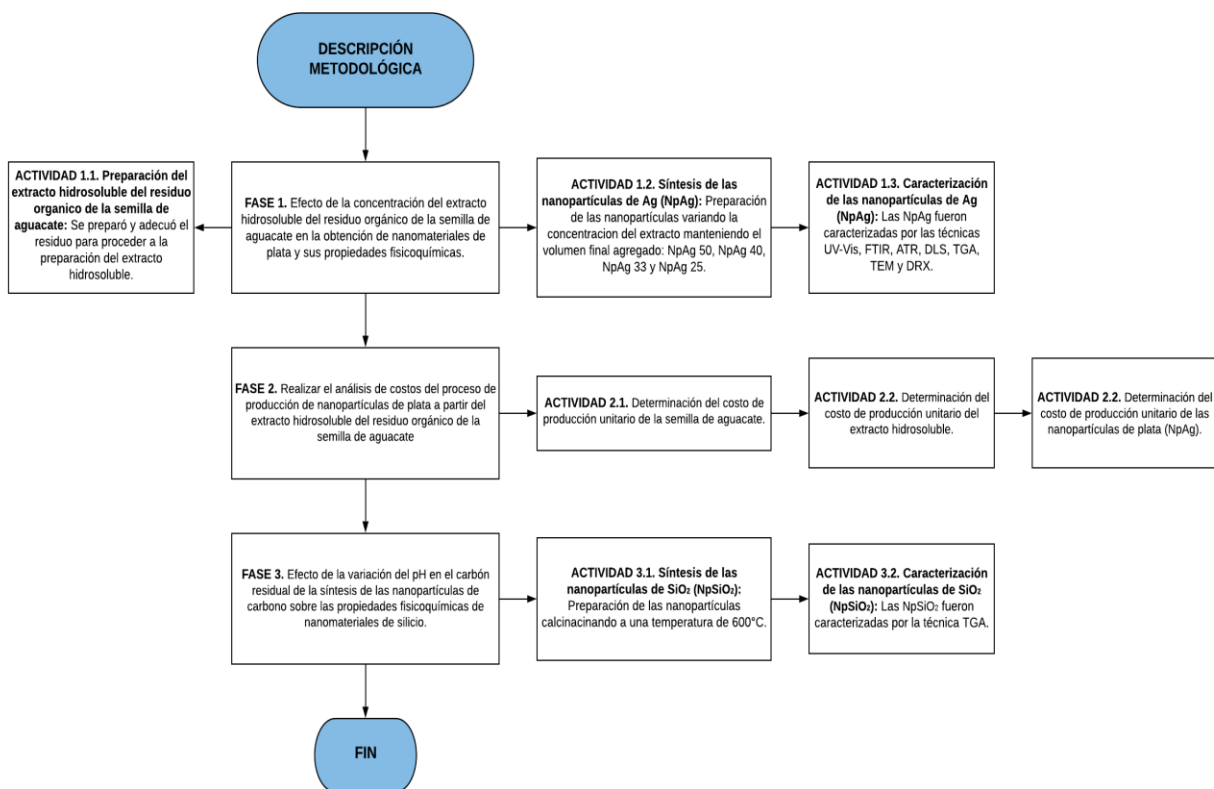
El residuo hidrosoluble se guardó en la nevera a una temperatura de 4°C ya que se usó para la obtención de las nanopartículas de plata y el residuo sólido se colocó a secar a 60°C por 24 horas que se usó para la obtención de otros nanomateriales.

Inicialmente se realizó una síntesis de nanopartículas de Ag con volumen de residuo hidrosoluble de 50 ml con el fin de determinar la cinética del proceso con ayuda de la técnica de caracterización UV-Visible usando el Espectrofotómetro UV-Vis 8453-Agilent, en un rango de longitud de onda entre 200 a 800 nm haciendo uso de una celda de cuarzo de 10 mm con abertura de 3 mm y utilizando como blanco una solución de agua tipo I Millie-Q, para determinar el tiempo de equilibrio de la reacción y para determinar el tamaño de aglomeración de las nanopartículas y el potencial z, el equipo LiteSizer 500 acoplado con un titulador

automático Metrohm 867 manejado por el software Kalliope, haciendo uso de la cubeta omega, bajo temperatura ambiente, con un ángulo de medición de  $90^\circ$  y se utilizó agua tipo I como solvente, en un rango de pH de 1-12 con un paso de 0,5 con un tiempo de estabilización de 1 min; aproximación Smoluchowski y a velocidad media de agitación. Cada 30 minutos después de haber terminado de añadir los 50 ml de extracto a la solución de  $\text{AgNO}_3$  en agua tipo I Millie-Q, se tomó una muestra alrededor de 1 a 2 ml de la cual se tomó 0,5 ml y se diluyó en 4,5 ml de agua con el fin de bajar la concentración de la muestra tomada para que esto no genere distorsiones en los datos obtenidos.

Figura 1.

*Esquema metodológico del proyecto de investigación.*



### ***2.1.1 Síntesis de las nanopartículas de Ag (NpAg).***

Se disolvieron 0,05 g de  $\text{AgNO}_3$  en 25 ml de agua tipo I Millie-Q manteniendo una temperatura constante de  $50^\circ\text{C}$  y se agregaron para un primer experimento 50 ml de extracto hidrosoluble, sometiendo la solución a agitación constante (400 rpm) durante 4 horas y manteniendo la temperatura en  $85 \pm 5^\circ\text{C}$ ; este proceso se realizó para tres experimentos más variando la cantidad de extracto hidrosoluble siendo así volúmenes de 40, 33 y 25 ml completando posteriormente con agua tipo I Millie-Q para conservar un volumen final agregado de 50 ml. El sólido formado se separó por centrifugación haciendo uso del equipo LC-04F Centrifuge por 30 min a 3500 rpm, realizando 3 lavados respectivamente con agua tipo I Millie-Q con un tiempo por lavado de 30 min a 3500 rpm y posteriormente se secó el sólido residual a  $65 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 12 horas.

Las nanopartículas de Ag obtenidas se nombraron: NpAg 50, NpAg 40, NpAg 33 y NpAg 25, respecto a la cantidad de extracto empleado.

Luego se procedió a hacer la preparación pertinente de las nanopartículas para su respectiva caracterización.

### ***2.1.2 Caracterización de las nanopartículas de Ag (NpAg).***

Las nanopartículas de Ag fueron caracterizadas en el Espectrofotómetro UV-Vis 8453-Agilent, en un rango de longitud de onda entre 200 a 900 nm; en la literatura se reporta que estas nanopartículas presentan las señales cuantificables a una longitud de onda cercana a los 400 nm en el espectro UV-Visible, pero esto varía dependiendo la forma y el tamaño de estas.

Por medio de espectroscopia infrarroja (FTIR) con la finalidad de determinar los grupos funcionales superficiales. El espectrofotómetro utilizado está ubicado en el laboratorio de la

escuela de Ing. Química, marca Shimadzu modelo IRTracer-100 con sistema de Reflectancia Total Atenuada (ATR) celda de diamante y seleniuro de cinc, resolución intermedia de  $2\text{ cm}^{-1}$  y en un rango de análisis es de 500 hasta  $4000\text{ cm}^{-1}$ .

Se usó la técnica de dispersión de luz dinámica con el fin de evaluar la variación de tamaño referente a la concentración de extracto utilizado en cada uno de los experimentos con respecto al pH y de esta manera encontrar para cada una de las nanopartículas. Para esto se preparó una suspensión de 50 ml de concentración de 39 ppm de nanopartículas de Ag con 0,425 g de  $\text{NaNO}_3$  0,1 M, la cual se dejó en agitación a 400 rpm durante 1 hora previo a la prueba para garantizar la suspensión de las nanopartículas de Ag en la solución; recalando que esta solución se preparó para cada uno de los experimentos seleccionados. Para esto se utilizó el equipo LiteSizer 500 acoplado con un titulador automático Metrohm 867 manejado por el software Kalliope (DLS), las condiciones y parámetros utilizados para llevar a cabo esta prueba fueron: rango de pH de 1-7 con un paso de 0,5; temperatura de  $25^\circ\text{C}$ ; tiempo de estabilización de 1 min; aproximación Smoluchowski; se utilizó agua como solvente; velocidad media de agitación; volumen inicial de la muestra de 50 ml, soluciones de  $\text{HNO}_3$  y  $\text{NaOH}$  con pH de 0,3 y 12,7 respectivamente usadas para modificar el pH de la solución y el proceso se llevó a cabo en modo manual.

Se llevó a cabo análisis termogravimétrico (TGA) bajo atmósfera de Nitrógeno con el fin de evidenciar si hay presencia de material orgánico remanente en las nanopartículas, para esto se usó el equipo de marca TGA Instruments (modelo 5500 Discovery) adscrito al Grupo de Investigación en Polímeros (GIP) a las siguientes condiciones: isoterma de 10 min, en un rango de temperatura de  $50^\circ\text{C}$  a  $1000^\circ\text{C}$  y usando una rampa de  $5^\circ\text{C}$  por min. Cada muestra fue de  $10 \pm 1\text{ mg}$ .

Se realizó la técnica electrónica de transmisión (TEM) en colaboración del laboratorio de la Universidad de Antioquia usando el Microscopio Electrónico de Transmisión Tecnai F20 Super Twin TMP de FEI ubicado en la Sede de Investigación Universitaria con el fin de tener una aproximación en el tamaño de la nanopartícula y su tipo de morfología.

Finalmente para poder obtener un análisis elemental de la estructura de las nanopartículas dado a una evidencia en cambios de tamaño de las nanopartículas se llevó a cabo la técnica de Difracción de Rayos X (DRX) por medio de la técnica Zero Background en un Difractómetro de Rayos-X marca Bruker (D8 Advance) ubicado en el Laboratorio de Rayos X del Parque Tecnológico Guatiguará con registro de datos en el rango de  $3,5^\circ$  ( $2\theta$ ) a  $70^\circ$  ( $2\theta$ ), tiempo por paso 0,6 s, paso:  $0,02035^\circ$  ( $2\theta$ ) con un tiempo de duración de medida de 30 min.

## **2.2 Realizar el análisis de costos del proceso de producción de nanopartículas de Ag a partir del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate**

Para determinar el costo de producción unitario de cada síntesis de nanopartículas de Ag, se decidió subdividir en tres el proceso general, esto nos deja inicialmente el costo generado por el pretratamiento realizado a la semilla de aguacate, la preparación de extracto hidrosoluble y finalmente la obtención de las nanopartículas de Ag.

### ***2.2.1 Determinación del costo de producción unitario de la semilla de aguacate.***

El costo de producción unitario de la semilla de aguacate se va a obtener en el pretratamiento de ésta, es importante tener presente la cantidad de semilla empleada en este pretratamiento, su costo como materia prima y el costo de los equipos empleados.

Después de calculado los costos y tener presente la cantidad de semilla obtenida al final del pretratamiento se pudo conocer el costo de producción unitario, costo que será empleado en el proceso de preparación del extracto hidrosoluble.

### ***2.2.2 Determinación del costo de producción unitario del extracto hidrosoluble.***

Contando con el costo de producción unitario de la semilla de aguacate se procede a calcular el costo del extracto hidrosoluble dado a que la semilla de aguacate es un factor importante en la obtención de dicho extracto.

Al igual que el proceso anterior se debe tener en cuenta las variables de entrada al proceso con su respectivo costo y el costo de los equipos teniendo presente solo su consumo energético.

Finalmente, con la cantidad de extracto hidrosoluble obtenido al final del proceso se procede a calcular su costo de producción unitario.

### ***2.2.3 Determinación del costo de producción unitario de las nanopartículas de Ag (NpAg).***

Ya en el proceso de la síntesis de nanopartículas de Ag, hay que tener presente que el costo de equipos y de sustancias como el  $\text{AgNO}_3$  y el agua tipo I Millie-Q tiene un costo constante en cada síntesis, por otro lado, en cada síntesis se varió la concentración de extracto empleado entonces este costo será variable.

Se determinaron los costos fijos y costos variables de cada síntesis para así con la cantidad de nanopartículas de Ag obtenidas al final se pudiese calcular el costo de producción unitaria de cada una de ellas.

Al final se pudo comparar el costo de producción unitario de cada síntesis realizar y concluir si en nuestro caso, la concentración de extracto hidrosoluble empleado es un factor determinante en el costo.

### **2.3 Efecto de la variación del pH en el carbón residual de la síntesis de las nanopartículas de carbono sobre las propiedades fisicoquímicas de nanomateriales de SiO<sub>2</sub> (NpSiO<sub>2</sub>)**

El sólido obtenido en el proceso de la síntesis de nanopartículas de Ag se secó a 70°C por 12 horas ya que este será usado en el proceso de síntesis de nanopartículas de SiO<sub>2</sub>.

#### ***2.3.1 Síntesis de las nanopartículas de SiO<sub>2</sub> (NpSiO<sub>2</sub>).***

El sólido residual de la síntesis de nanopartículas de Ag se llevó a calcinar a 600°C por 12 horas. Dicha ceniza se suspendió en una solución 1N de NaOH la cual se llevó a sonicación por 30 min en modo pulsado (1s) con una amplitud del 60% y una temperatura de 50°C. Luego se centrifugó por 30 min a 3500 rpm, se separó el sólido que posteriormente se descartó y se siguió trabajando con la solución centrifugada, la cual se llevó a ajuste de pH usando una disolución de HNO<sub>3</sub> (pH = 0,47), dicha solución se agregó gota a gota tomando medida de pH y dicho proceso se llevó a cabo en agitación constante (400 rpm). El ajuste de pH se hizo a pH neutro (pH = 7). Se dejó reposar la solución por 12 horas para luego centrifugar por 30 min a 3500 rpm. Los sólidos separados se secaron a 80°C los cuales son nuestras nanopartículas de SiO<sub>2</sub>.

El procedimiento anterior se repitió variando el ajuste de pH pasando por pH ácido y pH básico.

### ***2.3.2 Caracterización de las nanopartículas de SiO<sub>2</sub> (NpSiO<sub>2</sub>).***

El uso de la técnica de espectrofotometría infrarroja para determinar la presencia de enlaces siloxano y silanol. El espectrofotómetro utilizado está ubicado en el laboratorio de la escuela de Ing. Química, marca Shimadzu modelo IRTracer-100 con sistema de Reflectancia Total Atenuada (ATR) celda de diamante y seleniuro de cinc, resolución intermedia de  $2\text{ cm}^{-1}$  y en un rango de análisis es de 500 hasta  $4000\text{ cm}^{-1}$ .

El uso de espectrofotometría UV-Visible haciendo uso del Espectrofotómetro UV-Vis 8453-Aglient, ubicado en el laboratorio CICAT para corroborar la presencia del grupo funcional SiO<sub>2</sub>.

La técnica de difracción de rayos X (XRD) con el fin de determinar la presencia de SiO<sub>2</sub> y su tipo, por medio de la técnica Zero Background en un Difractómetro de Rayos-X marca Bruker (D8 Advance) ubicado en el Laboratorio de Rayos X del Parque Tecnológico Guatiguará. Y finalmente, haciendo uso del equipo LiteSizer 500 acoplado con un titulador automático Metrohm 867 manejado por el software Kalliope (DLS) para medir el tamaño y su distribución.

### 3. Análisis y Discusión de Resultados

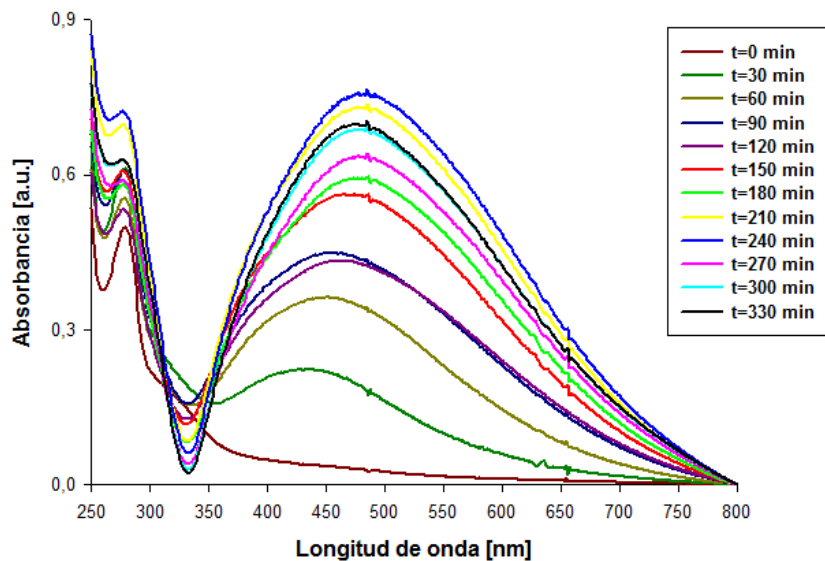
#### 3.1 Efecto de la concentración del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate en la obtención de nanomateriales de Ag y sus propiedades fisicoquímicas

Inicialmente se realizó un estudio cinético, siguiendo la evolución temporal de los parámetros: espectro UV/Vis de la suspensión de las partículas, tamaño aglomerado de las mismas y el potencial z para así determinar el tiempo en el cual la reacción alcanza el equilibrio. Específicamente para el caso de nanopartículas de Ag la espectroscopía UV/Vis es altamente útil debido a la presencia de estas ya que presentan un pico de absorción intenso por la excitación de plasmones superficiales (Sánchez Moreno, 2017). Este pico de absorción se puede apreciar entre los 400 y 450 nm, pero esta puede variar dependiendo de la morfología y tamaño de las nanopartículas.

En la **Figura 2** se puede apreciar el cambio de la banda de absorción a medida que pasaba el tiempo en el proceso de síntesis de las nanopartículas de Ag. Los resultados muestran un aumento en la absorción en los primeros minutos lo que se debe a la formación de las nanopartículas de Ag con el respectivo aumento del ancho de banda, estos cambios también se atribuyen a que la concentración de nanopartículas de Ag varió en el tiempo. Se puede notar que dicho valor máximo de esta banda se encuentra entre los 430 nm y los 490 nm y además que esta presenta un crecimiento hasta los 240 min de realizada la síntesis.

Figura 2.

*Cambios de la banda de absorción a medida del desarrollo de la síntesis de nanopartículas de Ag (NpAg)*



En la **Figura 3a** se nota el cambio de la banda de absorción teniendo como referencia el valor de máximo de absorción en cada tiempo transcurrido, esta variación de la banda de absorción respecto al tiempo hace referencia a una alta deformación en las nanopartículas de Ag y/o formación de agregados de plata grandes. (Aguilar Molina, 2016)

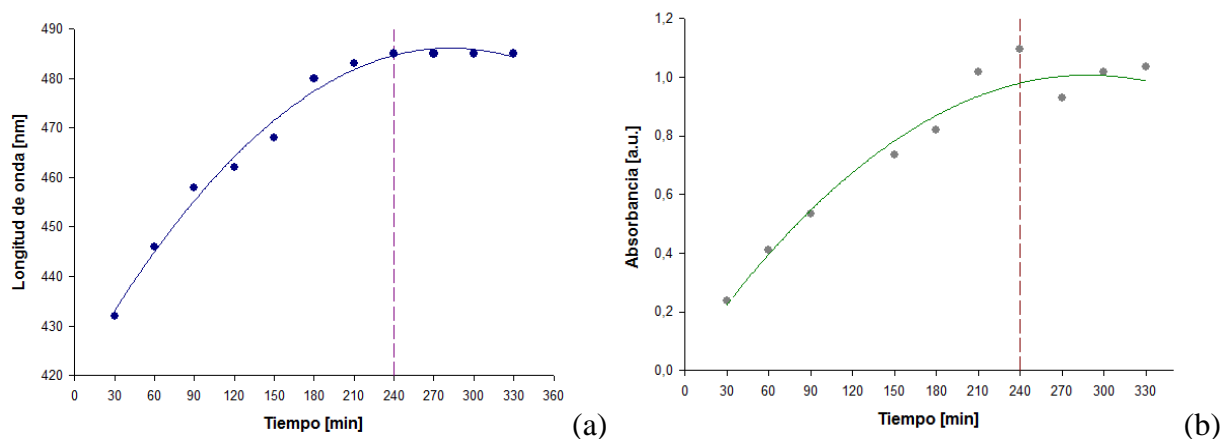
El tiempo de equilibrio de la reacción se puede apreciar en la **Figura 3b**. Dicha figura se realizó teniendo en cuenta el valor máximo de la banda plasmónica evidenciada en cada tiempo transcurrido en el proceso de síntesis de nanopartículas de Ag.

Se evidenció que un aumento de la banda plasmónica desde que se inicia la reacción llega hasta los 240 min y permanece constante dentro del error experimental hasta los 330 min. Por esta razón se determinó que el tiempo de reacción para la obtención de las nanopartículas de Ag sería de 240 minutos lo que equivale a 4 horas.

Parámetros como el método de síntesis (de tipo químico, físico o biológico), temperatura de síntesis y tiempo de síntesis, al igual que el pH y la concentración del precursor, son importantes ya que de estos depende el tamaño, distribución de tamaño y morfología de las nanopartículas obtenidas. (Aguilar Mendez, 2009)

Figura 3.

*Evolución temporal de las nanopartículas de Ag (NpAg) respecto a: (a) máximo de absorción (b) de la banda plasmónica*



Haciendo uso de la técnica de dispersión dinámica de la luz (DLS), se determinó el tamaño de aglomerado de partícula en una suspensión líquida y el potencial Z que permitirá el estudio de las cargas superficiales en los materiales presentes en dicha suspensión.

Para el tamaño de aglomerado de partícula (véase **Figura 4a**) se puede notar que el aglomerado de nanopartículas de Ag obtenidas no supera los 500 nm. A los 240 min, que fue el tiempo de equilibrio de reacción determinado, se puede apreciar en la misma figura, que las nanopartículas de Ag obtenidas cuentan con la misma distribución de tamaño de aglomerado de partícula y se encuentra alrededor de los 400 nm. Estos tamaños pueden ser muy grandes

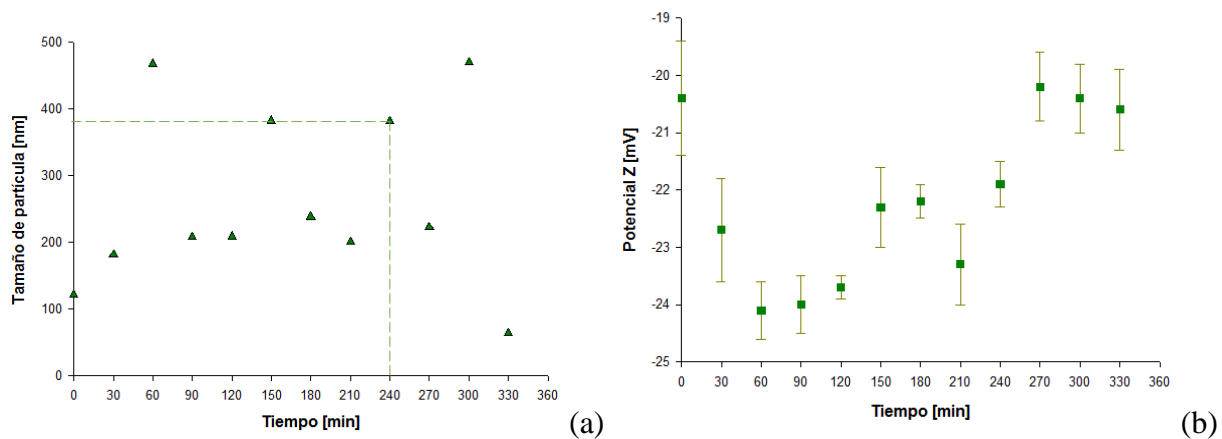
comparados con los obtenidos por medio de la microscopía electrónica de transmisión (TEM), debido a la influencia del movimiento browniano ya que la dispersión dinámica de luz (DLS) tiene la ventaja de sondear una gran cantidad de partículas simultáneamente. (Sánchez Moreno, 2017)

Dentro del error experimental, se puede asumir que el potencial Z permaneció constante en la ventana experimental de tiempo de reacción en un valor de  $-22 \pm 2$  mV (**Figura 4b**). El valor negativo en el potencial Z puede atribuirse a que las nanopartículas de Ag contienen grupos funcionales ácidos, esto se estudiará más adelante con ayuda de los espectros FTIR obtenidos y la obtención del potencial Z variando el pH.

Una de las limitaciones haciendo las mediciones del potencial Z es que el pH no fue controlado, de modo que los cambios en pH entre las muestras pudieron haber afectado las mediciones; es por eso por lo que ya obtenidas las 4 síntesis de nanopartículas de Ag propuestas se realiza el estudio del potencial Z con variación en el pH, manteniendo una concentración de nanopartículas constante.

Figura 4.

*DLS de la cinética: (a) Tamaño aglomerado de partícula de las nanopartículas de Ag (NpAg) (b) Evolución temporal del Potencial Z de las nanopartículas de Ag (NpAg) en el sistema reactivo*



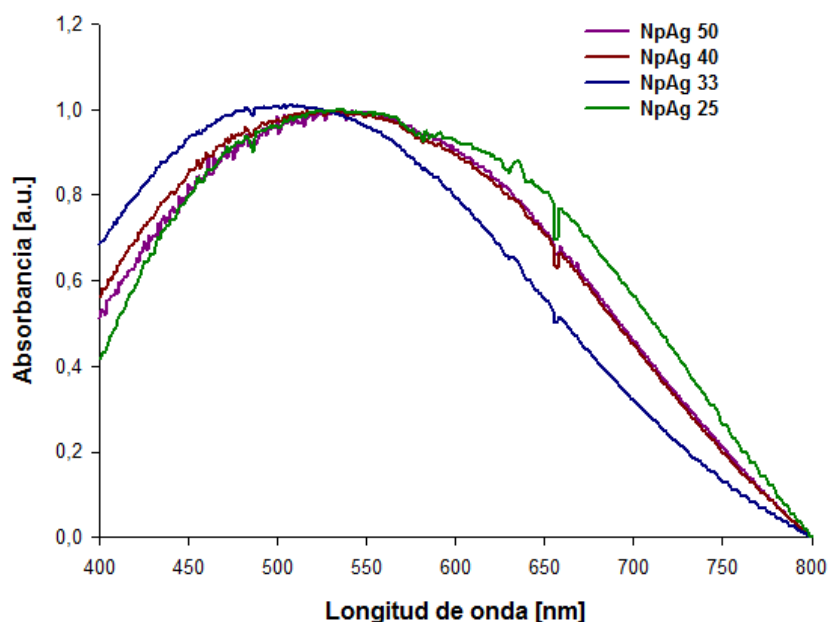
Después de llevado a cabo el estudio cinético, se procedió al desarrollo del análisis de las nanopartículas de Ag obtenidas por medio de 4 síntesis en donde el parámetro a modificar es la concentración de extracto hidrosoluble usado en cada una.

En la **Figura 5** se aprecia el plasmón correspondiente a las 4 síntesis realizadas para la obtención de nanopartículas de Ag; se ve claramente una banda de absorción con máximo en 490 nm que es característico en las nanopartículas de Ag de forma esférica y tamaños de nanopartículas entre 20 - 40 nm (Morales, Morán, Quintana, & Estrada, 2009), aunque esta banda de absorción tiende a desplazarse al modificar la cantidad de extracto usado en la síntesis, lo que puede sugerir un cambio en el tamaño y morfología de las nanopartículas. La banda de absorción presente entre los 250 - 300 nm hace referencia a la materia orgánica presente en las nanopartículas (Mercado Castro, 2016). Adicionalmente, se puede presumir que aquellas nanopartículas con la banda de absorción más ancha tendrán mayor distribución de tamaño, esto

se debe a la excitación de los plasmones superficiales en diferentes modos de resonancia. (Paredes Guerrero, 2015)

Figura 5.

*UV-Visible normalizado respecto al valor máximo de absorbancia de cada curva de las nanopartículas de Ag (NpAg)*



El tamaño y la morfología de las nanopartículas fueron determinados mediante micrografías TEM (**Figura 6**), se pueden observar nanopartículas de menor tamaño para las NpAg 25 y se evidencia la presencia de nanopartículas de Ag de morfología cuasi esférica, en concordancia con los resultados arrojados por la espectroscopía UV/Vis (Mercado Castro, 2016). Como se puede observar la gráfica de distribución de tamaños de partícula (**Figura 6a y 6b**), las NpAg 25 (**Figura 6b**) tienen una mayor cantidad de nanopartículas en el rango de tamaño de 11 nm - 20 nm comparado con las NpAg 50 (**Figura 6a**), esto nos lleva a inferir que se debe a la cantidad de extracto hidrosoluble utilizado en la fabricación de dichas nanopartículas, lo

observado se confirma con lo anteriormente mencionado, pues la variación del ancho del pasmón (**Figura 5**) se debe al tamaño de las nanopartículas manteniendo la morfología de las mismas y es por esto que se observa en las micrografías TEM (**Figura 6**) que las NpAg 25 tienen una mayor distribución de tamaño en los rangos de 11 nm – 20 nm y se confirman con el promedio de tamaño que se evidencia en 18,01 nm, esto se debe a que la variación en la concentración de extracto hidrosoluble afecta en el tamaño de partícula, pues a menor concentración de extracto hidrosoluble usado en la síntesis se tienen tamaños de partícula estadísticamente menores . (Chand, y otros, 2019) (Ibrahim, 2015)

Con los datos estadísticos obtenidos calculamos la media y la desviación estándar, en donde obtuvimos los resultados observados en la **Tabla 1**.

Tabla 1.

*Media y Desviación estándar de las nanopartículas de Ag (NpAg) obtenidas por TEM*

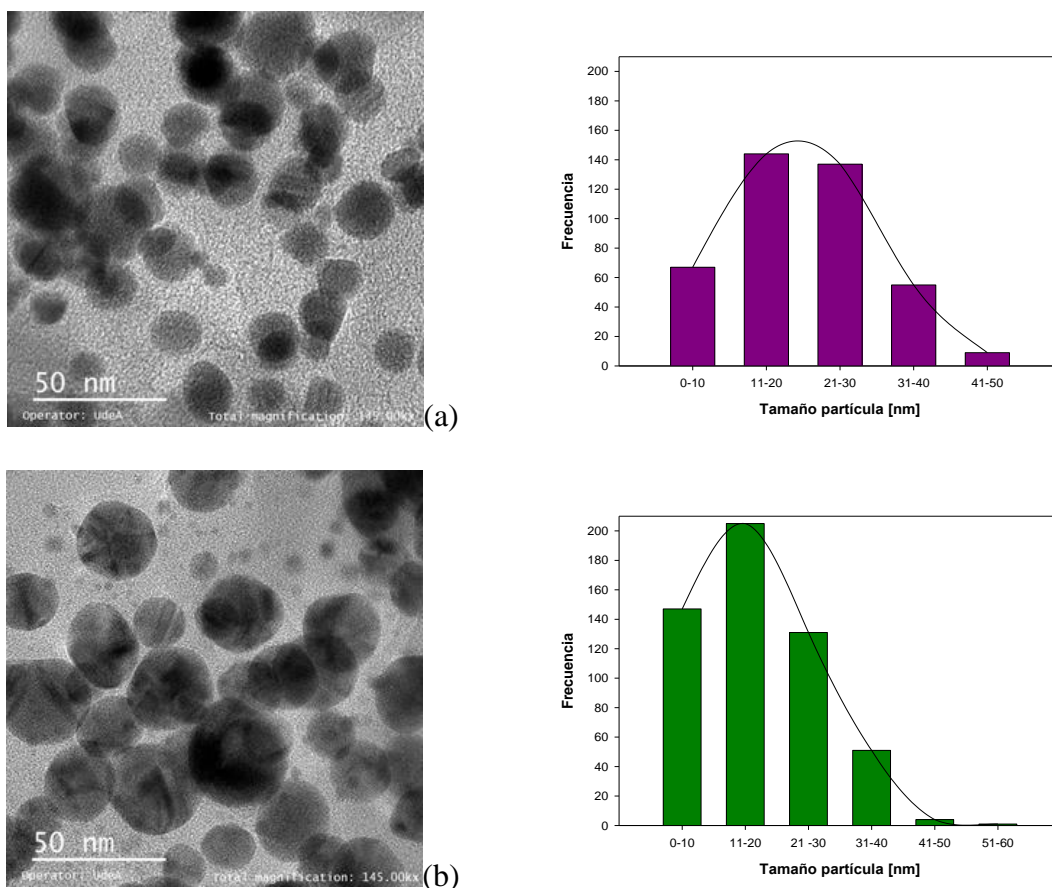
Nanopartículas	Media (nm)	Desviación Estándar (nm)
NpAg 50	22,05	8,30
NpAg 25	18,01	11,05

Podemos observar que la distribución de tamaño se ve modificada hacia menores diámetros para la concentración más baja de extracto hidrosoluble (NpAg 25), el promedio del tamaño de las partículas es de 22,05 nm y 18,01 nm para las NpAg 50 y NpAg25 respectivamente, en donde la desviación estándar me indica que las NpAg 25 tienen mayor variabilidad en el tamaño de las partículas y las NpAg 50 tienen un promedio de tamaño de partículas mayor que las NpAg25. En la literatura se ha reportado la obtención de nanopartículas de Ag con tamaños de 2 hasta 75 nm empleando extractos vegetales como agentes reductores (Ledezma, y otros, 2014). Como se puede evidenciar (**Figura 6**) haciendo uso del extracto

hidrosoluble de la semilla de aguacate como agente reductor, logramos obtener partículas de orden nanométrico con morfología uniforme de tipo cuasi esférica.

Figura 6.

*Imágenes TEM de las nanopartículas de Ag (NpAg) y la distribución de tamaños de las nanopartículas en histogramas sintetizadas con la concentración más alta y más baja de extracto hidrosoluble: a) NpAg 50 b) NpAg 25*

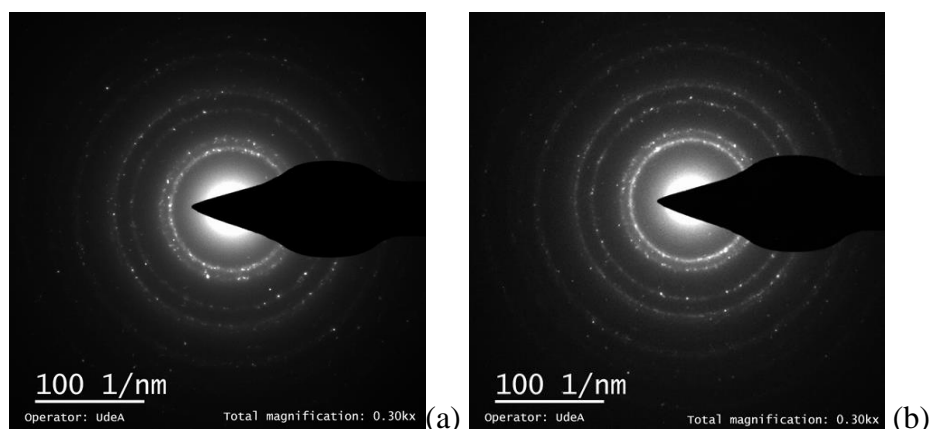


La naturaleza cristalina de las nanopartículas se evidencia por los patrones de difracción de electrones del área seleccionada con puntos circulares brillantes (**Figura 7**). Los anillos de las NpAg 25 (**Figura 7b**) son más continuos y densos, este comportamiento se le atribuye a la

cantidad de extracto con la que se sintetizaron las partículas, pues se evidencia que en las NpAg 25 se tienen menor tamaño de partícula comparado con las NpAg 50. (Chand, y otros, 2019) (Ibrahim, 2015)

Figura 7.

*SAD de las nanopartículas de Ag (NpAg), patrón de difracción de electrones del área seleccionada que muestra los planos de cristal característicos de plata elemental: a)NpAg50 b)NpAg25*

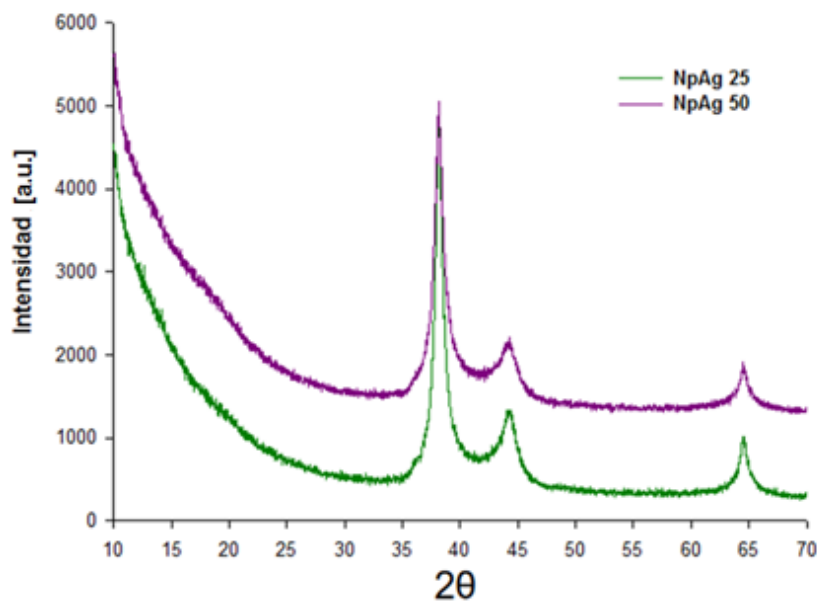


La naturaleza cristalina de las nanopartículas de Ag se confirmó mediante el análisis XRD (**Figura 8**). Los tres picos de difracción distintos en valores  $2\theta$  de  $38,17^\circ$ ,  $44,27^\circ$  y  $64,46^\circ$  que son consistentes con los planos (1 1 1), (2 0 0) y (2 2 0) de la estructura cúbica centrada en las caras (FCC) característico de la plata elemental y estos concuerdan con el estándar de la ficha de difracción de polvos del JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards, silver file No. 04-0783), estos son picos de Bragg representativos de nanocristales de Ag. El afilado de los picos indica claramente que las partículas están en el régimen de nanopartículas. La intensidad de las nanopartículas de Ag es indicativa de alto grado de cristalinidad como lo corroboran los

hallazgos de otros investigadores en la literatura. (Femi-Adepoju, Dada, Otun, Adepoju, & Fatoba, 2018) (Ibrahim, 2015)

Figura 8.

*Difractogramas de las nanopartículas de Ag (NpAg) con diferente cantidad de extracto hidrosoluble: NpAg 50 y NpAg 25*



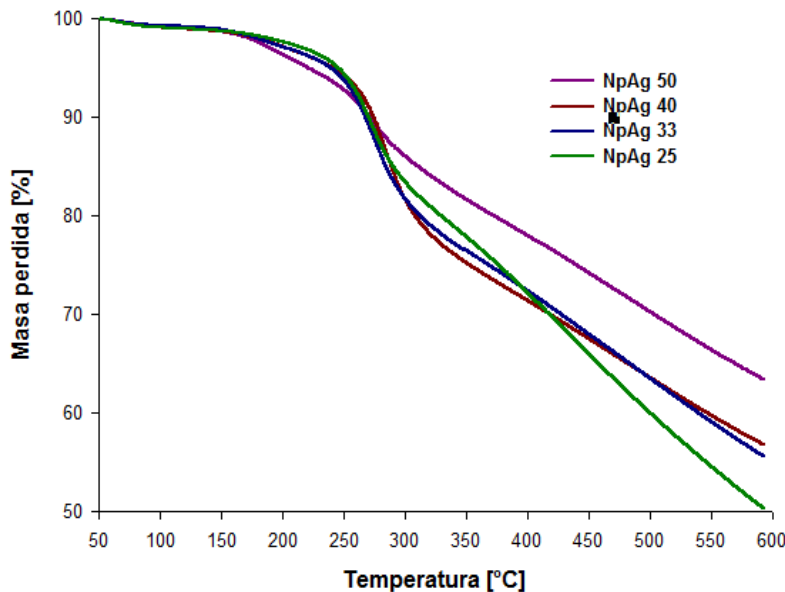
Aplicando la ecuación de Scherrer, se obtuvo que para un pico de  $38,17^\circ$  las NpAg 50 el tamaño de partícula es de 11,26 nm y para las NpAg 25 el tamaño de partícula es de 10,33 nm que corresponden al pico que menos error arroja.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que se obtienen tamaño de partículas entre los 10 y 12 nm observando los difractogramas obtenidos (**Figura 8**), podemos evidenciar que según la media obtenida con los histogramas (**Figura 6**) no tienen una variación considerable en el tamaño de las partículas, se mantienen en un rango de 11 a 20 nm confirmando así los resultados con los obtenidos por TEM (**Figura 6**).

La gráfica de TGA de las nanopartículas de Ag (**Figura 9**) mostró dos pérdidas de masa en común para las cuatro muestras, la primera pérdida de masa en 150°C aproximadamente se le atribuye al agua fisisorbida sobre la superficie del material y la segunda que ocurre por encima de los 200°C hace referencia a la descomposición térmica de la materia orgánica, correspondiendo así para las NpAg 50, NpAg 40, NpAg 33 y NpAg 25 una pérdida de masa de materia orgánica del 28,51%, 34,83%, 36,15% y 41,31% (Mercado Castro, 2016) y a su vez una pérdida de masa total del 36,74%, 43,06%, 44,38% y 49,54% respectivamente. Se puede inferir que el mayor % pérdida de masa de la materia orgánica se debe a que la cantidad de extracto hidrosoluble con que se sintetizaron fue el menor.

Figura 9.

*Curvas termogravimétricas de las nanopartículas de Ag (NpAg)*

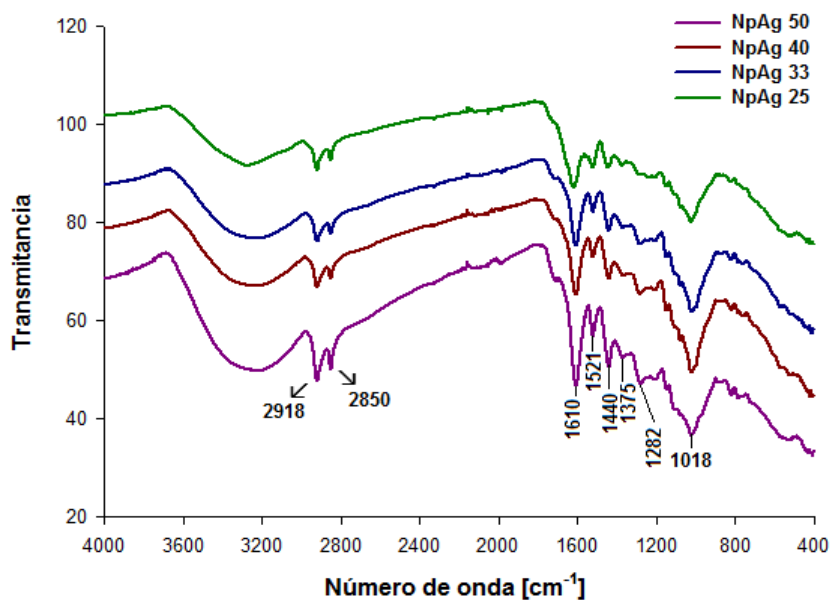


En los espectros FTIR de las nanopartículas de Ag (**Figura 10**), se puede apreciar las señales características del material orgánico adsorbido sobre la superficie de las diferentes

nanopartículas. Las señales de las bandas 2850 y 2918  $\text{cm}^{-1}$  corresponden al estiramiento del enlace C-H; las presentes entre 1650 y 1500  $\text{cm}^{-1}$  corresponden al estiramiento esquelético de los anillos aromáticos C=C, sin embargo, los grupos carbonilo también absorben en este rango, cabe aclarar que esta banda es la más pronunciada y se ve mejor reflejada en las NpAg 50. La señal a los 1440  $\text{cm}^{-1}$  hace referencia a la flexión del grupo metileno ( $\text{CH}_2$ ); la señal que se encuentra entre los 1370 y los 1380  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al grupo  $\text{CH}_3$ ; la señal entre los 1250 y 1300  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al enlace C-C y finalmente la señal aproximada a un número de onda de 1018  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento de C-O de alcoholes primarios y secundarios.

Figura 10.

*Espectros FTIR de las nanopartículas de Ag (NpAg)*



La **Figura 11** sugiere una relación inversa entre el pH y el potencial Z para las nanopartículas de Ag obtenidas. Se puede notar que en un pH aproximado de 4 las nanopartículas tienden a estabilizarse para valores de potencial Z entre -8 mV y -14 mV y se

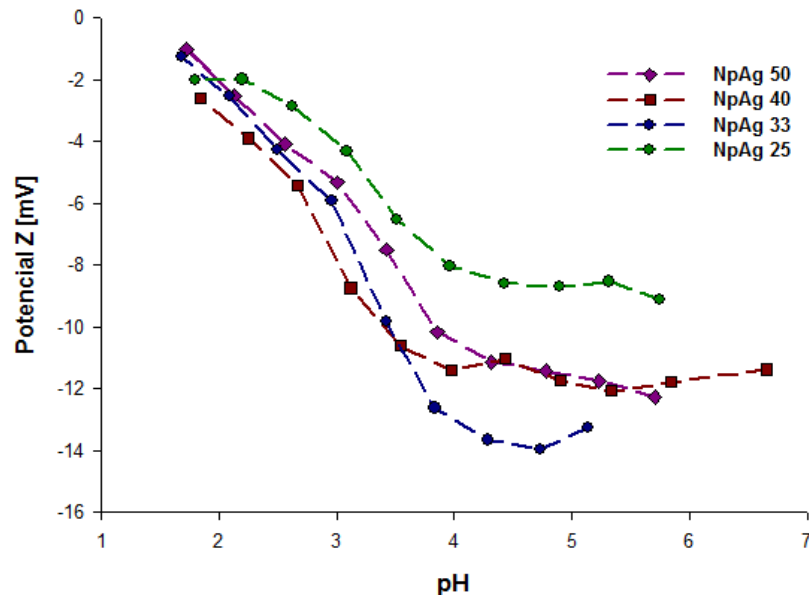
puede apreciar que el valor del potencial Z en el rango de pH manejados se mantiene en valores negativos que puede ser explicado por la disociación de grupos funcionales ácidos. (Vega & Guadalupe, 2010)

Se puede atribuir la carga negativa en el potencial Z por parte de los grupos  $\text{CH}_3$ , en algunos casos el enlace C-H pueden presentar propiedades ácidas, los anillos aromáticos son un grupo débilmente ácidos y también están los alcoholes primarios y secundarios, que pueden oxidarse a ácidos carboxílicos, los cuales tienen un valor de  $\text{pK}_a < 6$ . Por literatura se sabe que a medida que  $\text{pK}_a$  sea menor, mayor será el pH y haciendo referencia en nuestros resultados a mayor pH menor negativamente es la carga. (Vega & Guadalupe, 2010)

A un valor fijo de pH de 2, se puede notar que el potencial Z de las NpAg 50 y de las NpAg 33 es similar y serían las de mayor carga negativa hasta un pH igual a 2,5; de ahí en adelante las NpAg 25 serían las nanopartículas del grupo con mayor potencial Z. En el caso de las NpAg 40, estas serían las de menor potencial Z desde el pH en 2 hasta un pH aproximado de 3,5; desde ese pH hasta el pH igual a 5,5 las NpAg 33 serán las que tendrán menor potencial Z. Finalmente se puede notar que las NpAg 50 y las NpAg40 mantiene un potencial Z en valores similares en el rango de pH de 4,5 a 5,8. A medida que disminuye el potencial Z, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de un choque entre ellas.

Figura 11.

*DLS de las nanopartículas de Ag (NpAg)*



### 3.2 Realizar el análisis de costos del proceso de producción de nanopartículas de Ag a partir del extracto hidrosoluble del residuo orgánico de la semilla de aguacate

Dado a que se decidió trabajar en dólares el precio usado es el promedio de éste en el histórico de los 6 meses del año en curso, este valor es de \$3691,19 COP. (Dolar histórico 2020, s.f.)

Para la determinación del costo de energía se verificó el valor de 1 kW\*h de la empresa prestadora del servicio de energía en el Parque Tecnológico Guatiguará, este servicio es prestado por ESSA el cual tiene un costo para una entidad oficial de 583,97 \$/kW\*h (Electrificadora de Santander S.A. ESP. Grupo EPM, 2020). Al final este valor es de 0,158 USD/kW\*h.

Sugerimos al lector dirigirse al **Anexo C** para revisar los cálculos realizados respecto a balances y costos que a continuación se analizarán, adicional del diagrama de flujo del proceso, los costos de materias primas y el consumo energético de los equipos empleados.

### 3.2.1 *Pretratamiento de la semilla de aguacate.*

Se recolectaron 1045 g de semilla de aguacate el cual genero un costo de compra de 14,092 USD esta fue llevada a pretratamiento.

Se estudió el consumo energético de los equipos usados en el pretratamiento para así determinar sus costos. (**Tabla 2**)

Tabla 2.

*Consumo energético de los equipos empleados en el pretratamiento de la semilla de aguacate y su costo de utilidad*

Equipo	Consumo energético (kW*h)	Costo (USD)
Horno	33,60	5,309
Molino de cuchillas	3	0,474

Finalmente se determinó que el costo total del proceso llevado a cabo fue de 19,875 USD esto con el fin de obtener el costo unitario del residuo orgánico de la semilla de aguacate. Al final del pretratamiento se obtuvieron 366 g de la semilla de aguacate la cual tiene un costo de producción unitario de 18,415 g/USD.

### 3.2.2 *Preparación del extracto hidrosoluble a partir de la semilla de aguacate.*

En el caso de la preparación del extracto se debió calcular el costo de los 500 ml Agua Tipo I Millie-Q y los 10 g de semilla de aguacate teniendo en cuenta el costo obtenido en el proceso anterior, empleados en la preparación del extracto hidrosoluble. Estos costos son de 0,067 USD y de 0,543 USD respectivamente.

Al igual que en el pretratamiento, se calculó el consumo energético de los equipos teniendo en cuenta su tiempo de uso y se procedió a calcular su costo. (**Tabla 3**)

Tabla 3.

*Consumo energético de los equipos empleados en preparación del extracto hidrosoluble y su costo de utilidad*

Equipo	Consumo energético (kW*h)	Costo (USD)
Plancha de agitación y calentamiento	1,5	0,237
Centrífuga	0,12	0,019

Finalmente, se determinó el costo total de la preparación del extracto hidrosoluble obtenido a partir de la semilla de aguacate que fue previamente tratada este fue de 0,866 USD. Se determinó que el costo de producción unitario del extracto hidrosoluble preparado a partir de la semilla del aguacate fue de 519,630 ml/USD para los 450 ml que se obtuvieron al final de este proceso.

### ***3.2.3 Obtención de nanopartículas de Ag a partir del extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate.***

El consumo energético y por ende el costo de uso de los equipos empleados en la obtención de las nanopartículas de plata va a ser el mismo en cada síntesis de nanopartículas en donde se varía la concentración de extracto hidrosoluble dado a que las condiciones como temperatura y tiempo no cambian. (**Tabla 4**)

Tabla 4.

*Consumo energético de los equipos empleados en la obtención de las nanopartículas de Ag (NpAg) y su costo*

Equipo	Consumo energético (kW*h)	Costo (USD)
Plancha de agitación y calentamiento [P1]	0,19	0,030
Plancha de agitación y calentamiento [P2]	3	0,474
Centrífuga	0,48	0,076
Horno	16,80	2,654

A continuación, se resume el costo de cada síntesis de nanopartículas de plata llevado a cabo en este trabajo.

**3.2.3.1 Nanopartículas de Ag usando 50 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 50).** Inicialmente se determinó el costo de los compuestos usados en la síntesis en este caso para las NpAg 50 se empleó 50 ml de extracto hidrosoluble, del cual su costo de producción unitario fue calculado anteriormente. El costo total de estos compuestos usados fue de 0,333 USD.

Teniendo el costo de los equipos y compuestos se halló el costo total para la obtención de las NpAg 50 para proceder a determinar el costo de producción unitario de estas nanopartículas, este costo fue de 3,567 USD. En cada síntesis de nanopartículas de Ag usando 50 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate se obtuvieron alrededor de 0,0396 g las cuales tienen un costo de producción unitario de 0.011 g/USD.

**3.2.3.2 Nanopartículas de Ag usando 40 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 40).** Para el caso de las NpAg 40 se debió tener en cuenta el Agua Millie-Q agregada adicional para lograr el volumen de 50 ml, el costo total de los compuestos usados fue de 0,315 USD.

Luego se halló el costo total de la obtención de las NpAg 40, que en comparación con las NpAg 50 no es mucha la diferencia en su costo de obtención, este fue de 3,549 USD. En cada síntesis de nanopartículas de Ag usando 40 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate se obtuvieron alrededor de 0,0629 g las cuales tienen un costo de producción unitario de 0,018 g/USD.

**3.2.3.3 Nanopartículas de Ag usando 33 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 33).** En el caso de las NpAg 33 se tuvo en cuenta igual que en el cálculo anterior el uso de Agua Millie-Q para lograr el volumen de 50 ml, el costo total fue de 0,303 USD.

El costo total de la obtención de las NpAg 33 fue de 3,537 USD. Comparando el costo total de la obtención de las nanopartículas no se ve un cambio significativo entre las estudiadas hasta ahora. En cada síntesis de nanopartículas de Ag usando 33 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate se obtuvieron alrededor de 0,0519 g las cuales tienen un costo de producción unitario de 0,015 g/USD.

**3.2.3.4 Nanopartículas de Ag usando 25 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate (NpAg 25).** Por último, el costo total de los componentes usados en el proceso de síntesis de las NpAg 25 fue de 0,288 USD.

Igual a lo dicho anteriormente el costo total de obtención calculado para las NpAg 25 no generó un cambio significativo comparado con el costo total de las síntesis de las otras nanopartículas obtenidas, este costo fue de 3,522 USD. En cada síntesis de nanopartículas de Ag usando 25 ml de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate se obtuvieron alrededor de 0,0432 g las cuales tienen un costo de producción unitario de 0.012 g/USD.

Finalmente, podemos evidenciar en la **Tabla 5** que el costo de producción unitario de cada síntesis de las nanopartículas de plata obtenidas en donde se varia la concentración de extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate no cambia de manera significativa lo que nos hace inferir que esta variación de concentración no influye mucho en el costo de obtención de nanopartículas de plata a partir del residuo orgánico de la semilla de aguacate.

Tabla 5.

*Costo de producción unitario de las nanopartículas de Ag (NpAg) obtenidas en cada síntesis*

Nanopartículas	Peso (g)	Costo de producción unitario (g/USD)
NpAg 50	0,0396	0,011
NpAg 40	0,0629	0,018
NpAg 33	0,0519	0,015
NpAg 25	0,0432	0,012

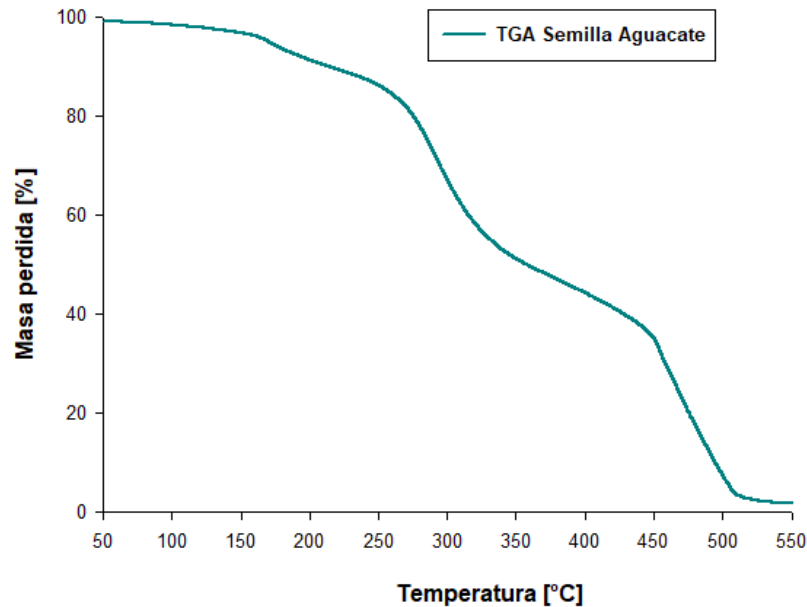
### **3.3 Estudiar el efecto de la variación del pH del sólido residual del proceso de síntesis de nanomateriales de Ag sobre las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas de $\text{SiO}_2(\text{NpSiO}_2)$**

La grafica TGA de la semilla de aguacate (**Figura 14**) evidencia una pérdida de masa que se tiene cerca de los 150°C se le atribuye al agua fisisorbida, los mayores % masa perdida se presenta entre los 250 - 400°C y los 400 - 550°C que son del 41% y 43% aproximadamente, el % total de masa perdida es del 97,629%, lo que quiere decir que cerca del 1,524% restante corresponde al porcentaje de ceniza que se obtiene luego del proceso de pirolisis realizado, como se evidencia en el **Anexo B** (Ceballos & Montoya, 2013) (Huamán Pérez, 2014), podemos notar que la semilla no está compuesta solamente de silicio, sino también tiene otros componentes como el calcio, fosforo, magnesio, potasio, sodio, hierro, entre otros, lo que hace que el contenido de silicio disminuya y sea un valor muy pequeño para la obtención de las nanopartículas, aun suponiendo que el 100% de la ceniza corresponde al contenido de silicio en la semilla de aguacate lo que equivaldría al 1,5% aproximadamente de contenido de silicio en la semilla sigue siendo un porcentaje muy bajo para lograr su obtención, debido a lo dicho anteriormente no fue posible obtenerlas.



Figura 12.

*Curva termogravimétrica de la semilla de aguacate*



#### 4. Conclusiones

Con el desarrollo de este trabajo se puede concluir que el uso de residuos orgánicos puede ser aprovechados de manera amplia en la obtención de nanomateriales y que este proceso se puede llevar a cabo en procesos en serie en donde se aproveche hasta un 100% el residuo, esto permite un avance en la nanotecnología verde y además es un proceso de bajo costo. En nuestro caso el residuo de la semilla de aguacate fue aprovechado en gran magnitud, ya que a pesar de no haber obtenido la cantidad de cenizas suficientes, este residuo nos permitió obtener otros tipos de nanomateriales.

Se obtuvieron mediante la ruta de síntesis verde nanopartículas de plata empleando el extracto hidrosoluble de la semilla de aguacate como agente reductor las cuales tuvieron un buen rendimiento de la reacción. Estas presentaron una morfología cuasi esférica, con un tamaño de partícula aproximado de 20 nm y con carga superficial negativa que hace referencia a la presencia de grupos funcionales ácidos.

La obtención de estas nanopartículas presenta un bajo costo y la variación de la concentración de extracto hidrosoluble en cada ruta de síntesis no es un factor influyente en este costo.

Finalmente, no fue posible obtener nanopartículas de silicio a partir del residuo sólido de la semilla de aguacate dado a la poca cantidad de silicio presente en las cenizas, no obstante, se obtuvieron nanopartículas de carbono a partir del residuo sólido de la semilla de aguacate o nanopartículas de cobre a partir de los desechos de las nanopartículas de plata.

## **5. Recomendaciones**

El desarrollo de este trabajo investigativo permite continuar con el estudio de la obtención de nanomateriales a partir de residuos orgánicos empleando procesos en serie.

Al igual deja abierto el estudio del campo aplicativo de las nanopartículas ya obtenidas en este trabajo, debido a que en nuestro caso en particular personalmente no pudimos realizar este estudio, sino que lo están llevando a cabo de manera externa y los resultados obtenidos hasta al momento han sido favorables en especial el uso de las nanopartículas de Ag.

También queda abierto el estudio por medio de microscopia electrónica de transmisión (TEM) y difracción de rayos X (DRX) de las NpAg 40 y NpAg 33.

Finalmente se puede llevar a cabo un análisis de costo más minucioso y el llevarlo a cabo no solo a nivel de laboratorio claro está teniendo presente el cambio de las nanopartículas al llevar a cabo su obtención a un nivel mayor a la planteada en este proyecto.

### Referencias Bibliográficas

- Aguilar Mendez, M. A. (Junio de 2009). “Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata: Efecto sobre *Colletotrichum gloesporioides*”. Tesis doctoral. México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, México.
- Aguilar Molina, Y. (Julio de 2016). Propiedades plasmónicas de nanopartículas de plata para aplicaciones en energía solar. Tesis doctoral. Universidad de Guadalajara. División de ciencias exactas e ingeniería., Ameca, Jalisco.
- Ceballos, A. M., & Montoya, S. (2013). “EVALUACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA EN SEMILLA, PULPA Y CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE AGUACATE”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol 11 No. 1 (103 - 112) .  
Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a13.pdf>
- Chand, K., Cao, D., Fouad, D. E., Shah, A. H., Dayo, A. Q., Zhu, K., . . . Dong, S. (Noviembre de 2019). “Green synthesis, characterization and photocatalytic application of silver nanoparticles synthesized by various plant extracts”. King Saud University. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Comisión Europea. (2012). Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales. *Comunicación de la Comisión Europea*, (pág. 572).
- Cury, R. K., Aguas, M. Y., Martinez, M. A., Olivero, V. R., & Chams, C. L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana De Ciencia Animal*, 122-132.

*Dolar histórico 2020*. (s.f.). Obtenido de Movimiento del dolar en Colombia:

<https://dolar.wilkinsonpc.com.co/dolar-historico/dolar-historico-2020.html>

EFE. (11 de Noviembre de 2018). *Portafolio*. Obtenido de

<https://www.portafolio.co/economia/colombia-solo-recicla-el-17-de-las-12-millones-de-toneladas-de-residuos-solidos-523236>

*Electrificadora de Santander S.A. ESP. Grupo EPM*. (Junio de 2020). Obtenido de Consulta de

tarifas: [www.essa.com.co](http://www.essa.com.co)

Femi-Adepoju, A. G., Dada, A. O., Otun, K. O., Adepoju, A. O., & Fatoba, O. P. (Septiembre de

2018). “Green synthesis of silver nanoparticles using terrestrial fern (*Gleichenia Pectinata* (Willd.) C. Presl.): characterization and antimicrobial studies”. *Heliyon*, ELSEVIER.

Global Waste Management Outlook. (8 de Septiembre de 2015). *Residuos profesionales*.

Obtenido de <https://www.residuosprofesional.com/millones-toneladas-residuos-urbanos/>

Huamán Pérez, M. D. (2014). “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRATAMIENTOS CON

SOLVENTES ORGÁNICOS, AGUA Y EL TIEMPO DE EXTRACCIÓN EN EL RENDIMIENTO DE POLIFENOLES TOTALES DE LA HARINA DE SEMILLA DE PALTA (*Persea americana*)”. Universidad Nacional del Centro de Perú, Facultad de ingeniería en industrias alimentarias, Huancayo, Perú.

Ibrahim, H. M. (2015). “Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using

banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms” . *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 8, 265-275.

Obtenido de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Instanano. (2020). *Instanano*. Obtenido de Cálculo del tamaño de partícula siguiendo el modelo de Scherrer: <https://www.instanano.com/2017/01/xrd-crystallite-size-calculator-scherrer-equation.html>

Jaimer Ríos, M. C., & Saavedra Suárez, Y. V. (2017). *Síntesis y Caracterización de Nanoestructuras de Carbono a Partir de Carbones Colombianos*. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Santander, Colombia.

Ledezma, A., Romero, J., Hernández, M., Moggio, I., Arias, E., & Padrón, G. (2 de Diciembre de 2014). *Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (Opuntiasp.) y su electrohilado polimérico*. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales, México, D.F., México. Obtenido de [http://smcsyv.fis.cinvestav.mx/supyvac/27\\_4/SV27413314.pdf](http://smcsyv.fis.cinvestav.mx/supyvac/27_4/SV27413314.pdf)

Mercado Castro, D. F. (2016). "Uso De Residuos Orgánicos Domiciliarios En La Obtención De Materiales Útiles De Interés Ambiental Y Nanotecnológico". Tesis doctoral. Buenos Aires, Universidad Nacional de la Plata, Departamento de Química, Argentina.

Morales, J., Morán, J., Quintana, M., & Estrada, W. (Febrero de 2009). "*Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta Sol-Gel a partir de nitrato de plata*". Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n2/a04v75n2.pdf>

Mostafa M.H., K., Eman H., I., Khaled Z., E.-B., & Doaa, M. (Noviembre de 2012). "Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity". King Saud University, Arabian Journal of Chemistry.

Paredes Guerrero, D. J. (2015). "Síntesis de nanopartículas metálicas nanoencapsuladas con actividad antimicrobiana y liberación controlada frente a *Staphylococcus aureus* y

Candida albicans”. Trabajo de fin de máster. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química, Colombia.

Ríos Castaño, D., & Tafur Reyes, R. (2003). Variedades de Aguacate para el trópico: Caso Colombia. *V Congreso Mundial del Aguacate*. Cali, Valle del Cauca, Colombia.

Sánchez Moreno, M. (Octubre de 2017). “NANOPARTÍCULAS DE PLATA: PREPARACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES CON APLICACIÓN EN INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS”. Trabajo de fin de máster. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Química Inorgánica y Química Técnica, España.

UPTC. (Consultado 2020). *Aplicaciones de la Difracción de rayos X. Apuntes y ejercicios*.  
Obtenido de [https://www.upct.es/~dimgc/webjoseperez/DOCENCIA\\_archivos/Aplicaciones\\_DRX\\_Apuntes\\_y\\_ejercicios.pdf](https://www.upct.es/~dimgc/webjoseperez/DOCENCIA_archivos/Aplicaciones_DRX_Apuntes_y_ejercicios.pdf)

Vega, S., & Guadalupe, S. (2010). Caracterización electrocinética de asfalteno solución acuosa y en mezclas agua+etilén glicol, en ausencia y presencia de surfactantes iónicos. México, D.F., Universidad de Sonora .División de Ingeniería .Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, México. Obtenido de Tesis digitales: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=20852>

## Apéndices

### Apéndice A. Cálculos realizados para las técnicas de caracterización de las nanopartículas de Ag (NpAg)

Los cálculos para los porcentajes de masa mencionadas en el análisis de resultados, se realizaron de la siguiente manera: para la pérdida de masa de materia orgánica se llevó a cabo entre un valor aproximado e igual para todas las muestras de %masa perdida a los 200°C y el %masa perdida a los 600°C para cada muestra respectivamente y para la pérdida de masa total el cálculo fue de la diferencia de %masa perdida a los 50°C entre el %masa perdida a los 600°C correspondiente a cada muestra. Podemos notar que el mayor porcentaje de pérdida de masa del material corresponde al de las nanopartículas sintetizadas con menor cantidad de extracto hidrosoluble y con mayor cantidad de agua tipo I. (Mostafa M.H., Eman H., Khaled Z., & Doaa, 2012)

En la **Tabla 6** se resume el %masa perdida de materia orgánica y total de cada nanopartícula. Después de saber la pérdida de masa de cada nanopartícula es de interés saber la presencia de los grupos funcionales que hacen parte de cada una de las nanopartículas de plata por medio del espectro FTIR.

Tabla 6.

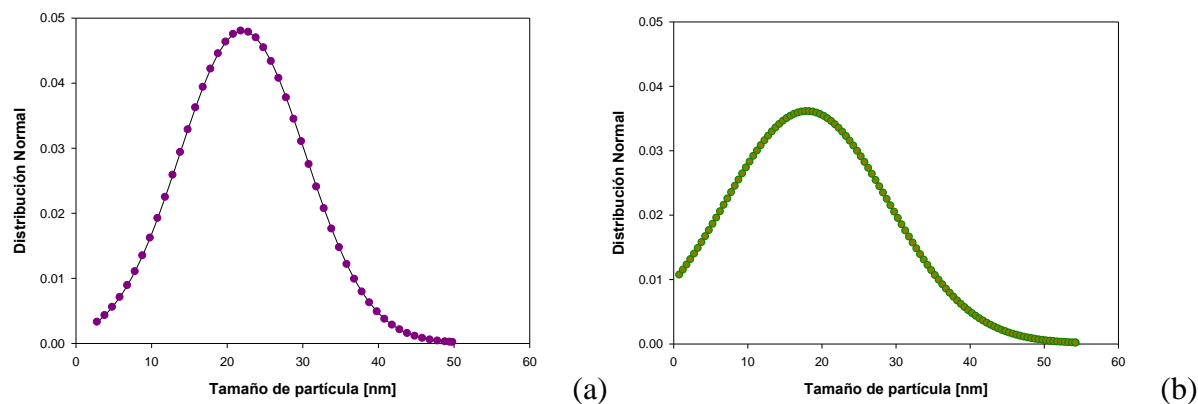
*%masa perdida de materia orgánica y total de cada una de las nanopartículas de Ag (NpAg)*

Nanopartículas	% masa perdida de materia orgánica (200-600°C)	% masa pérdida total (50-600°C)
NpAg 50	28,51%	36,74%
NpAg 40	34,83%	43,06%
NpAg 33	36,15%	44,38%
NpAg 25	41,31%	49,54%

De los datos arrojados por TEM y los histogramas (**Figura 8**) obtenidos fue posible hacer un ajuste estadístico en donde para las NpAg 50 se ajustó una curva gaussiana y para las NpAg 25 una curva lorentziana en donde se obtuvieron las siguientes curvas (**Figura 13**):

Figura 13.

*Ajuste de curvas estadístico de los histogramas de la concentración más alta y más baja de extracto hidrosoluble: a)NpAg 50 b)NpAg 25*



Y por medio de la herramienta Excel se obtuvieron los siguientes datos estadísticos (**Tabla 7**):

Tabla 7.

*Datos estadísticos obtenidos por medio de la herramienta excel para las NpAg 50 y NpAg 25*

Nanopartículas	Media (nm)	Desviación Estándar (nm)	Mínimo(nm)	Máximo(nm)
NpAg 50	22,05	8,30	2,81	49.42
NpAg 25	18,01	11,05	0,78	54.29

De los difractogramas (**Figura 10**) obtenidos es posible realizar el cálculo del tamaño de partícula siguiendo el modelo de Scherrer:

$$Dp = \frac{k \lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde,  $k = 0,94$  es una constante que depende de la estructura cristalina del material,  $\lambda$  (*nanómetros*) es la longitud de onda de la fuente de rayos X,  $\beta = FMWH$  (*radianes*) es la anchura del pico de mayor intensidad y  $\theta$  (*radianes*) es el ángulo donde tiene lugar la difracción. (Mercado Castro, 2016) (Instanano, 2020)

Haciendo uso de la Ley de Bragg es posible calcular la distancia interplanar:

$$d = \frac{n \lambda}{2 \text{sen}(\theta)} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde,  $n = 1$  se denomina orden de difracción y debe ser un número entero consistente con  $\text{sen}(\theta)$  menor o igual que 1,  $\lambda$  (*nanómetros*) es la longitud de onda de los rayos X,  $d$  (*nanómetros*) es la distancia entre los planos de la red cristalina y,  $\theta$  (*grados*) es el ángulo entre los rayos incidentes y los planos de dispersión. (UPTC, Consultado 2020)

Tabla 8.

*Tamaño de partícula hallado por el difractogramas siguiendo el modelo de Scherrer*

Nanopartículas	Pico	FWHM (rad)	D (nm)
NpAg 50	38,17°	0,78	11,26
NpAg 25	38,17°	0,85	10,33

**Apéndice B. Cálculos realizados para la caracterización de la semilla de aguacate y tablas utilizadas para la caracterización de las nanopartículas de SiO<sub>2</sub> (NpSiO<sub>2</sub>)**

El cálculo del % masa pérdida total se realizó de la diferencia del % masa perdida a los 50°C y el % masa perdida a los 550°C que corresponde a 99,153% y 1,524% respectivamente, así mismo los mayores % masa perdida se tomaron como la diferencia entre el % masa perdida a los 250°C y el % masa perdida a los 400°C que son el 85,508% y el 44,453% respectivamente y la diferencia entre el % masa perdida a los 400°C y el % masa perdida a los 550°C siendo el 44,453% y el 1,524%.

Tabla 9.

*Análisis bromatológico en las tres partes del fruto de tres variedades de aguacate en dos estados de madurez. MF: madurez fisiológica; MC: madurez de consumo (Ceballos & Montoya, 2013)*

Análisis Bromatológico																		
Componente	Booth8						Trinidad						Papelillo					
	Cáscara		Pulpa		Semilla		Cáscara		Pulpa		Semilla		Cáscara		Pulpa		Semilla	
	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
Humedad total %	70,79	64,30	75,83	79,77	75,08	65,39	73,36	66,31	79,67	81,24	65,25	66,09	86,68	82,06	79,24	80,16	73,88	70,05
Materia Seca %	29,21	35,70	24,17	20,23	24,92	34,61	26,64	33,69	20,33	18,76	34,75	33,91	13,32	17,94	20,76	19,84	26,12	29,95
Nitrógeno Total %	0,93	0,60	1,15	0,97	0,67	0,72	0,93	0,51	1,16	0,97	0,78	0,99	1,48	0,74	0,91	0,83	1,02	0,91
Proteína Bruta %	5,81	3,75	7,19	6,06	4,18	4,50	5,81	3,19	7,25	6,06	4,88	6,18	9,25	4,63	5,69	5,19	6,63	5,68
Grasa Total %	4,24	3,88	50,18	57,78	4,33	3,01	10,14	2,26	49,81	53,80	3,28	1,91	8,67	2,29	40,03	59,39	3,28	3,31
Fibra Bruta%	53,40	51,49	21,87	18,93	2,96	2,67	57,13	71,68	30,28	20,08	8,03	3,96	17,21	32,34	12,34	14,54	3,45	4,99
Cenizas Totales %	3,69	4,41	6,40	7,97	3,62	3,19	3,86	2,60	4,50	6,31	2,32	3,09	9,93	9,16	4,93	6,15	3,24	3,03
Fósforo %	0,06	0,13	0,04	0,20	0,09	0,02	0,06	0,09	0,06	0,05	0,08	0,01	0,08	0,14	0,05	0,10	0,03	0,02
Calcio %	0,03	0,02	0,00	0,00	0,45	0,67	0,01	0,00	0,01	0,00	0,20	0,19	0,04	0,03	0,00	0,00	0,16	0,26
Magnesio %	0,03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05	0,09	0,05	0,02	0,05	0,06
Potasio %	0,46	0,63	0,65	0,43	1,03	0,85	0,59	0,46	0,93	0,54	0,91	0,77	1,16	1,10	0,75	0,80	0,57	0,59
Sodio %	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01
Hierro p.p.m.	67,80	48,80	36,75	20,95	48,76	78,67	65,30	20,86	33,83	56,91	69,82	32,51	50,30	66,15	10,58	10,35	31,39	38,25
Manganeso p.p.m.	3,13	6,65	0,85	0,48	4,67	4,58	0,33	10,00	2,90	1,00	2,17	2,06	0,05	6,73	2,90	1,25	2,21	2,36
Zinc p.p.m.	13,68	25,58	8,60	12,93	19,35	13,10	12,38	17,28	10,40	15,13	15,21	11,78	20,28	39,98	6,48	13,83	11,75	13,05
Cobre p.p.m.	2,78	5,55	0,45	0,48	8,43	4,73	4,88	47,80	0,58	8,38	6,96	8,01	6,78	8,68	1,20	1,83	5,26	7,92

Tabla 10.

*Composición química y nutricional de dos cultivares de palto (Huamán Pérez, 2014)*

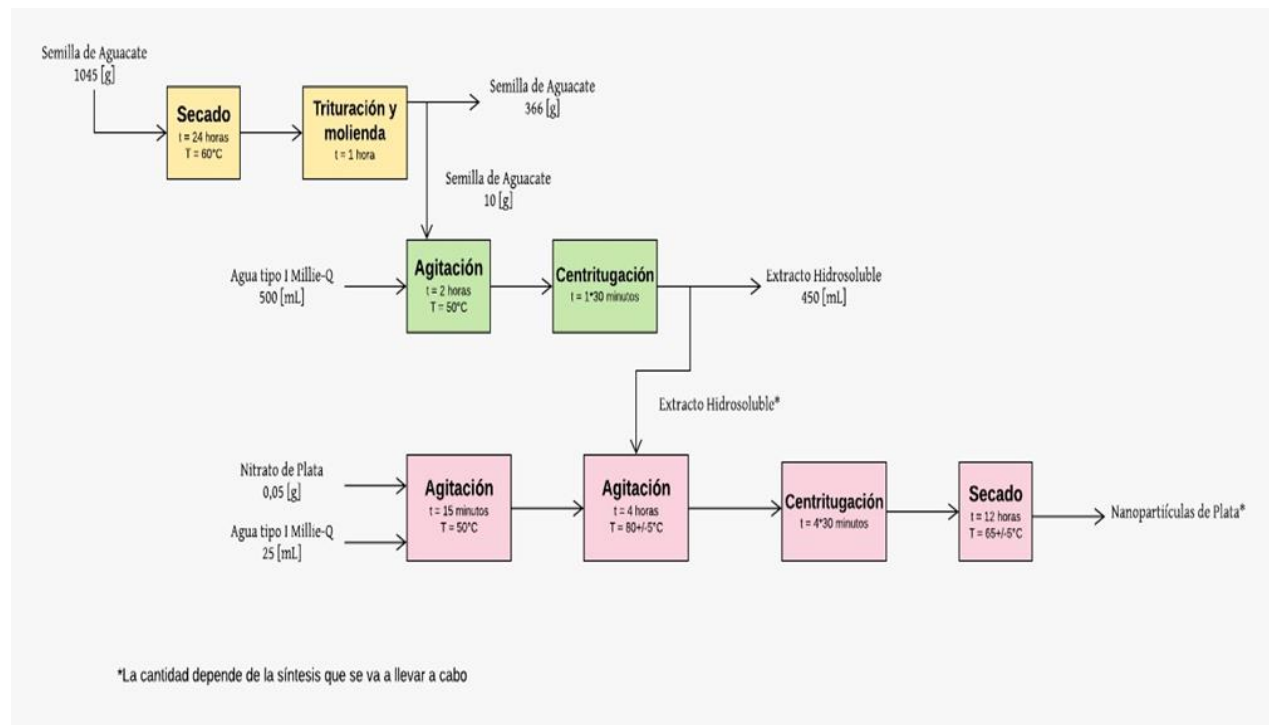
COMPONENTES	CULTIVARES	
	HASS	FUERTE
Agua (%)	74,6	71,2
Grasa (%)	20,6	23,4
Proteínas (%)	1,8	2
Fibra (%)	1,4	1,9
Cenizas (%)	1,2	1,2
Ac. Ascórbico (mg)	11	6
Niacina (mg)	1,9	1,5
Vitamina B6 (mg)	0,62	0,61
Potasio (mg)	480	460
Fosforo (mg)	14	29
Magnesio (mg)	23	23

### Apéndice C. Cálculos realizados para el análisis de costos de las nanopartículas de Ag (NpAg)

En la **Figura 14** se puede evidenciar el diagrama de bloques del proceso general de la obtención de nanopartículas de Ag usando el residuo orgánico de la semilla de aguacate.

Figura 14.

*Diagrama de flujo del proceso de obtención de nanopartículas de Ag a partir de la semilla de aguacate*



El valor del dólar (1 USD) empleado fue de \$3691,19. Este valor es clave para la obtención de los siguientes costos.

El costo de energía para entidades oficiales en el departamento de Santander es de 583,97 \$/kW\*h.

Entonces,

$$\text{Costo de energía (USD/kW * h)} = 583,97 \left( \frac{\$}{\text{kW * h}} \right) * \frac{1}{3691,19} \left( \frac{\text{USD}}{\$} \right) = 0,158 (\text{USD/kW * h})$$

Por lo tanto, el costo de energía sería de 0,158 USD/kW\*h.

A continuación (**Tabla 11**), se encontrarán los precios (en dólares) de reactivos, materia prima y compuestos usados.

Tabla 11.

*Costo y presentación de los compuestos empleados en la obtención de nanopartículas de Ag (NpAg)*

Compuesto	Presentación	Costo (USD)
Aguacate	1 u	0,542
Nitrato de plata (AgNO <sub>3</sub> )	25 g	117,092
Agua Millie-Q	1 L	0,134

Se recuerda que para el desarrollo de este trabajo se emplearon 26 aguacates.

El precio del nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>) y del agua Millie-Q se consultó a personal encargado de estos elementos en los laboratorios del Parque Tecnológico Guatiguará.

En el caso del consumo energético de los equipos nos dirigimos a las fichas técnicas de cada uno. (**Tabla 12**)

Tabla 12.

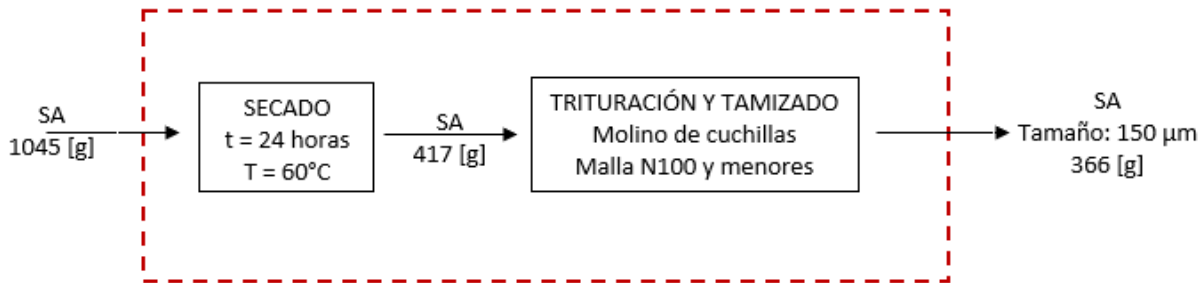
*Consumo energético de los equipos empleados*

Equipo	Consumo energético (kW)
Horno	1,4
Molino de cuchillas	3
Centrifuga	0,24
Plancha de agitación y calentamiento	0,75

- **Pretratamiento del residuo orgánico de la semilla de aguacate**

En la **Figura 15** se puede evidenciar el proceso que se llevó a cabo en el pretratamiento del residuo orgánico de la semilla de aguacate llevado a cabo.

Figura 15.

*Diagrama de bloques pretratamiento de la semilla de aguacate*

El costo por unidad del aguacate fue de \$2000, en dólar sería:

$$\text{Costo aguacate (USD/u)} = 2000 \left( \frac{\$}{\text{u}} \right) * \frac{1}{3691,19} \left( \frac{\text{USD}}{\$} \right) = 0,542 (\text{USD/u})$$

Y se recolectaron 26 unidades, para un total de:

$$\text{Costo total del aguacate (USD)} = 0,542 \left( \frac{\text{USD}}{\text{u}} \right) * 26(\text{u}) = 14,092(\text{USD})$$

Este costo total hace referencia al costo de entrada de la semilla de aguacate al pretratamiento.

En el caso del costo de energía de los equipos, inicialmente se determinó su consumo total en el proceso:

Para el proceso de secado se empleó un horno, el cual según ficha técnica su consumo energético es de 1,4 kW; en el pretratamiento este equipo se emplea por 24 horas, lo que genera un consumo energético total del horno de:

$$\text{Consumo energético horno (kW * h)} = 1,4(\text{kW}) * 24(\text{h}) = 33,6(\text{kW * h})$$

Y éste genera un costo de energía de:

$$\text{Costo de energía horno (USD)} = 33,6(\text{kW * h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW * h}) = 5,309(\text{USD})$$

Para el proceso de trituración se empleó un molino de cuchillas con un consumo energético de 3 kW\*h y el cual se dispuso por 1 h.

$$\text{Consumo energético molino (kW * h)} = 3(\text{kW}) * 1(\text{h}) = 3(\text{kW * h})$$

Y finalmente, su costo de energía sería de:

$$\text{Costo de energía molino (USD)} = 3(\text{kW * h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW * h}) = 0,474(\text{USD})$$

Teniendo el costo de los equipos y de la materia prima, podemos calcular el costo total del pretratamiento:

$$\text{Costo total pretratamiento (USD)} = (14,092 + 5,309 + 0,474)(\text{USD}) = 19,875(\text{USD})$$

Se obtuvieron 366 g de semilla de aguacate previamente secada y molida, la cual tendrá un costo de producción unitario de:

$$\text{Costo de producción unitario SA (g/USD)} = \frac{366}{19,875} \left( \frac{\text{g}}{\text{USD}} \right) = 18,415(\text{g/USD})$$

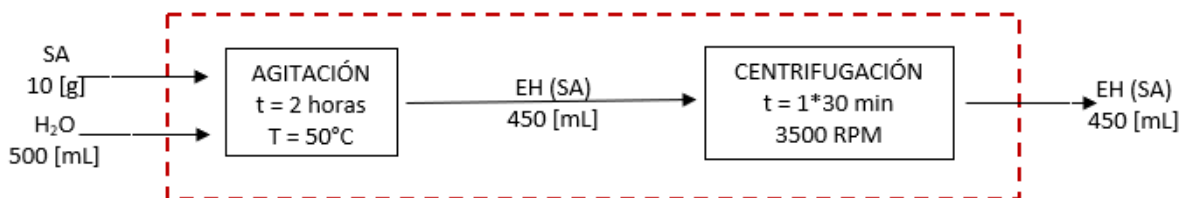
Se obtuvo que el costo de producción unitario de la semilla de aguacate fue de 18,415 g/USD.

#### ▪ Preparación del extracto hidrosoluble

La **Figura 16** representa el diagrama de bloques de la preparación del extracto hidrosoluble.

Figura 16.

*Diagrama de bloques preparación del extracto hidrosoluble*



Para la preparación del extracto hidrosoluble se emplearon 10 g de la semilla de aguacate, el cual su costo fue calculado empleando el costo de producción unitario anteriormente obtenido.

$$\text{Costo SA (USD)} = 10(g) * \frac{1}{18,415} \left( \frac{\text{USD}}{g} \right) = 0,543 \text{ (USD)}$$

Adicional a la semilla de aguacate se usó 500 ml de agua tipo I Millie-Q, la cual tiene una presentación y costo de 0,134 USD/L, este valor fue consultado en los laboratorios del Parque Tecnológico Guatiguará.

$$\text{Costo agua Millie - Q (USD)} = 0,134 \left( \frac{\text{USD}}{L} \right) * 0,5 \text{ (L)} = 0,067 \text{ (USD)}$$

Para llevar a cabo este procedimiento se empleó una plancha de agitación y calentamiento con consumo energético de 0,75 kW por un tiempo de 2 horas.

$$\text{Consumo energético de la plancha (kW * h)} = 0,75(\text{kW}) * 2(\text{h}) = 1,50(\text{kW} * \text{h})$$

Y con un costo de energía de:

$$\text{Costo de energía de la plancha (USD)} = 1,50(\text{kW} * \text{h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW} * \text{h}) = 0,237(\text{USD})$$

También se usó una centrífuga por 30 minutos la cual tiene un consumo de 0,24 kW.

$$\text{Consumo energético centrífuga (kW * h)} = 0,24(\text{kW}) * 0,5(\text{h}) = 0,12(\text{kW} * \text{h})$$

Y con un costo de energía de:

$$\text{Costo de energía centrífuga (USD)} = 0,12(\text{kW} * \text{h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW} * \text{h}) = 0,019(\text{USD})$$

Finalmente, podemos obtener el costo total de la preparación del extracto hidrosoluble.

$$\text{Costo total preparación EH (USD)} = (0,543 + 0,067 + 0,237 + 0,019)(\text{USD}) = 0,866(\text{USD})$$

Al terminar la preparación del extracto hidrosoluble se obtuvieron 450 ml, el cual tendrá un costo de producción unitario de:

$$\text{Costo de producción unitario del EH (ml/USD)} = \frac{450}{0,866} \left( \frac{\text{ml}}{\text{USD}} \right) = 519,630(\text{ml}/\text{USD})$$

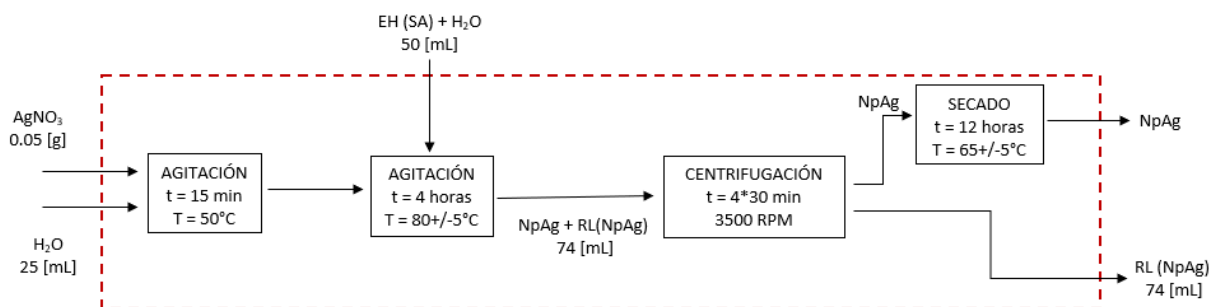
Entonces, el costo de producción unitario del extracto hidrosoluble obtenido a partir de la semilla de aguacate fue de 519,630 ml/USD.

#### ▪ **Obtención de las nanopartículas de Ag**

En la **Figura 17** podemos evidenciar el proceso general en la obtención de nanopartículas de plata ya que cada síntesis de nanopartículas varió respecto a la cantidad de extracto hidrosoluble empleado.

Figura 17.

Diagrama de bloques general obtención nanopartículas de Ag (NpAg)



En el caso de la obtención de las nanopartículas, estas en su síntesis tienen en común el uso de los equipos dado a que su tiempo de uso y temperatura empleada no cambia y el uso de dos reactivos pues su cantidad requerida es la misma.

Se emplean 25ml de agua tipo I Millie-Q destinada a disolver los 0,05 g de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) requerido.

$$\text{Costo agua Millie - Q (USD)} = 0,134 \left( \frac{\text{USD}}{\text{l}} \right) * 0,025 (\text{l}) = 0,003(\text{USD})$$

Y el costo del nitrato de plata empleado sería:

$$\text{Costo Nitrato de Plata (USD)} = \frac{117,092}{25} \left( \frac{\text{USD}}{\text{g}} \right) * 0,05 (\text{g}) = 0,234(\text{USD})$$

Para el proceso anterior [P1] se requirió de una plancha de agitación y calentamiento por 15 minutos.

$$\text{Consumo energético plancha [P1] (kW * h)} = 0,75(\text{kW}) * 0,25(\text{h}) = 0,19(\text{kW * h})$$

Y esta a su vez, tendrá un costo energético de:

$$\text{Costo de energía plancha [P1] (USD)} = 0,19(\text{kW * h}) * 0,158 \left( \frac{\text{USD}}{\text{kW * h}} \right) = 0,030(\text{USD})$$

Luego, se empleó la misma plancha, pero por 4 horas [P2].

$$\text{Consumo energético plancha [P2]} (\text{kW} * \text{h}) = 0,75(\text{kW}) * 4(\text{h}) = 3(\text{kW} * \text{h})$$

Con un costo energético de:

$$\text{Costo de energía plancha [P2]} (\text{USD}) = 3(\text{kW} * \text{h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW} * \text{h}) = 0,474(\text{USD})$$

Luego se hizo uso de una centrifuga por 2 horas.

$$\text{Consumo energético centrífuga}(\text{kW} * \text{h}) = 0,24(\text{kW}) * 2(\text{h}) = 0,48(\text{kW} * \text{h})$$

Y con un costo de energía de:

$$\text{Costo de energía centrífuga}(\text{USD}) = 0,48(\text{kW} * \text{h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW} * \text{h}) = 0,076(\text{USD})$$

Y finalmente, las nanopartículas de plata fueron secadas por 12 horas.

$$\text{Consumo energético del horno} (\text{kW} * \text{h}) = 1,4(\text{kW}) * 12(\text{h}) = 16,8(\text{kW} * \text{h})$$

Y éste generó un costo de:

$$\text{Costo de energía del horno} (\text{USD}) = 16,8(\text{kW} * \text{h}) * 0,158(\text{USD}/\text{kW} * \text{h}) = 2,654(\text{USD})$$

Tenemos un costo total para los equipos empleados en la obtención de las nanopartículas de plata de:

$$\text{Costo total equipos} (\text{USD}) = (0,030 + 0,474 + 0,076 + 2,654)(\text{USD}) = 3,234(\text{USD})$$

Y el costo total de agua tipo I Millie-Q y Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), empleado en todas las síntesis es de:

$$\text{Costo total reactivos} (\text{USD}) = (0,003 + 0,234)(\text{USD}) = 0,237(\text{USD})$$

Estos dos valores serán fijos para cada síntesis de nanopartículas de plata realizadas.

## 1. NpAg 50

En el caso de las NpAg 50 se emplearon 50ml de extracto hidrosoluble el cual tendrá un costo de:

$$\text{Costo EH [NpAg 50]}(USD) = 50(\text{ml}) * \frac{1}{519,630} \left( \frac{USD}{\text{ml}} \right) = 0,096(USD)$$

Finalmente se obtuvo un costo total para la obtención de las NpAg 50 el cual fue de:

$$\text{Costo total obtención NpAg 50}(USD) = (3,234 + 0,237 + 0,096)(USD) = 3,567(USD)$$

Realizada la síntesis de nanopartículas de plata empleando 50 ml de extracto hidrosoluble obtenido a partir de la semilla de aguacate [NpAg 50] se obtuvieron 0,0396 g por lo que su costo de producción unitario sería de:

$$\text{Costo de producción unitario NpAg 50} \left( \frac{g}{USD} \right) = \frac{0,0396}{3,567} \left( \frac{g}{USD} \right) = 0,011 \left( \frac{g}{USD} \right)$$

## 2. NpAg 40

Para las NpAg 40 se usaron 40 ml de extracto hidrosoluble y 10 ml de agua tipo I Millie-

Q. Para un costo de extracto hidrosoluble de:

$$\text{Costo EH [NpAg 40]}(USD) = 40(\text{ml}) * \frac{1}{519,630} \left( \frac{USD}{\text{ml}} \right) = 0,077(USD)$$

Y de agua tipo I Millie-Q:

$$\text{Costo agua Millie – Q [NpAg 40]}(USD) = 0,134 \left( \frac{USD}{l} \right) * 0,01 (l) = 0,001(USD)$$

Las NpAg 40 tendrían un costo total de obtención de:

$$\text{Costo total obtención NpAg 40}(USD) = (3,234 + 0,237 + 0,078)(USD) = 3,549(USD)$$

Y finalmente, se obtuvo 0,0629 g de NpAg 40 las cuales tendrán un costo de producción unitario:

$$\text{Costo de producción unitario NpAg 40} \left( \frac{g}{USD} \right) = \frac{0,0629}{3,549} \left( \frac{g}{USD} \right) = 0,018 \left( \frac{g}{USD} \right)$$

### 3. NpAg 33

En el caso de las NpAg 33 empleamos 33 ml de extracto con un costo de:

$$\text{Costo EH [NpAg 33]}(USD) = 33(ml) * \frac{1}{519,630} \left( \frac{USD}{ml} \right) = 0,064(USD)$$

Y 17 mL de agua tipo I Millie-Q, la cual genera un costo de:

$$\text{Costo agua Millie - Q [NpAg 33]}(USD) = 0,134 \left( \frac{USD}{l} \right) * 0,017 (l) = 0,002(USD)$$

La obtención de NpAg 33, generó un costo total de:

$$\text{Costo total obtención NpAg 33}(USD) = (3,234 + 0,237 + 0,066)(USD) = 3,537(USD)$$

Este proceso de obtención nos dejó 0,0519 g de NpAg 33. El cual nos deja un costo de producción unitario de NpAg 33 de:

$$\text{Costo de producción unitario NpAg 33} \left( \frac{g}{USD} \right) = \frac{0,0519}{3,537} \left( \frac{g}{USD} \right) = 0,015 \left( \frac{g}{USD} \right)$$

### 4. NpAg 25

La NpAg 25 requirieron de 25ml de extracto y 25 ml de agua tipo I Millie-Q. Sus costos se calcularon a continuación:

$$\text{Costo EH [NpAg 25]}(USD) = 25(ml) * \frac{1}{519,630} \left( \frac{USD}{ml} \right) = 0,048(USD)$$

$$\text{Costo agua Millie - Q [NpAg 25]}(USD) = 0,134 \left( \frac{USD}{l} \right) * 0,025 (l) = 0,003(USD)$$

Y el costo total de obtención de las NpAg 25, fue de:

$$\text{Costo total obtención NpAg 25} (USD) = (3,234 + 0,237 + 0,051)(USD) = 3,522(USD)$$

Se obtuvieron 0,0432 g de NpAg 25, las cuales tienen un costo de producción unitario de:

$$\text{Costo de producción unitario NpAg 25} \left( \frac{g}{USD} \right) = \frac{0,0432}{3,522} \left( \frac{g}{USD} \right) = 0,012 \left( \frac{g}{USD} \right)$$

### Apéndice D. Obtención de Nanopartículas de C (NpC) y Nanopartículas de Cu (NpCu)

Se sintetizaron nanopartículas de C (NpC) aprovechando el residuo sólido de la semilla de aguacate previamente seco; para llevar a cabo este procedimiento se escogió tres experimentos, los cuales fueron los siguientes:

1. Se usaron 0,5 g de residuo sólido de semilla de aguacate en 50 ml agua tipo I Millie-Q la cual se colocó en agitación por 30 min a 600 rpm empleando plancha de agitación.

2. Al igual que el pretratamiento anterior se emplearon la misma cantidad de residuo sólido y de agua tipo I, pero el proceso se realizó en agitación mecánica usando la sonda ultrasónica de titanio vibra-cell de 20 kHz con una consola de control de 500 vatios que se encuentra ubicado en el laboratorio del CICAT, por 30 min, en modo pulsado (1s), a una temperatura de 50°C y una amplitud de 60%.

3. Por último, se decidió usar el extracto hidrosoluble de este se emplearon 50 ml.

Después de llevado a cabo los pretratamientos, estas muestras se llevaron a una mufla por 24 horas en calentamiento y 12 horas de reposo a temperatura ambiente, empleando autoclaves de acero inoxidable.

Estas pruebas se llevaron a cabo tres veces en donde el parámetro a modificar fue la temperatura. Estas fueron las siguientes 150°C, 180°C y 200°C.

Dichas nanopartículas se denominaron: A150, A180, A200, S150, S180, S200, E150, E180 y E200; haciendo referencia al proceso llevado a cabo antes de la reacción y a la temperatura de reacción. En la **Tabla 13** se indican los parámetros de cada experimento.

Tabla 13.

*Parámetros variados para la obtención de las nanopartículas de carbono (NpC)*

Nombre	Temperatura (°C)	Parte del extracto	Pretratamiento
A150	150	Sólido residual	Agitación
A170	180	Sólido residual	Agitación
A200	200	Sólido residual	Agitación
S150	150	Sólido residual	Sonicación
S170	180	Sólido residual	Sonicación
S200	200	Sólido residual	Sonicación
E150	150	Extracto hidrosoluble	Ninguno
E170	180	Extracto hidrosoluble	Ninguno
E200	200	Extracto hidrosoluble	Ninguno

Se usó el Espectrofotómetro UV-Vis 8453-Aglient, ubicado en el laboratorio CICAT, en un rango de longitud de onda entre 200 a 900 nm, con el fin de determinar la presencia de nanopartículas de carbono (NpC).

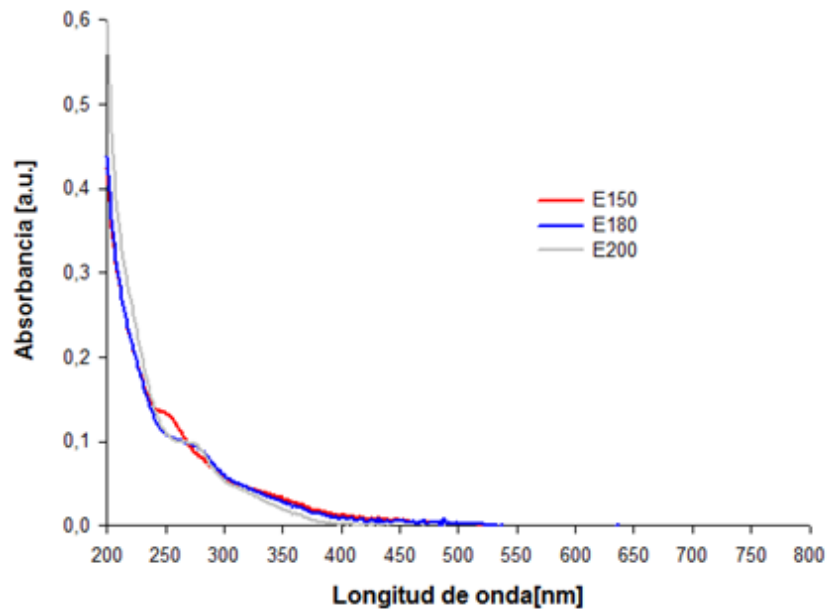
Las nanopartículas de carbono (NpC) presentan un pico de absorción característico en longitudes de onda entre 260 – 320 nm. (Jaimer Ríos & Saavedra Suárez, 2017)

Los picos presentes antes de esta longitud de onda se le pueden atribuir al material orgánico dado al residuo empleado.

Se empleó la técnica UV-Vis para corroborar la presencia de nanopartículas de carbono (NpC). En la Figura 18 se puede apreciar los espectros obtenidos utilizando el extracto hidrosoluble, en este no se observa un pico de gran amplitud, pero se puede notar que éste si cambia respecto al cambio en la temperatura.

Figura 18.

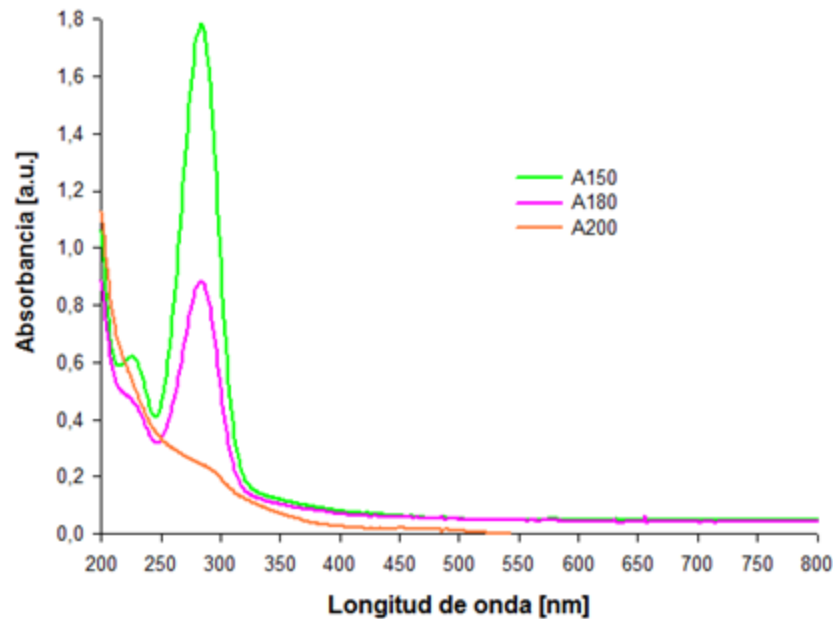
*Cambios de la banda de absorción empleando el extracto hidrosoluble en la obtención de nanopartículas de C (NpC)*



En el caso de las nanopartículas de carbono (NpC) empleando como pretratamiento agitación (**Figura 19**), se nota un aumento en la absorción, pero con una amplitud pequeña en longitud, esto se le puede atribuir a la formación de nanopartículas de C (NpC) pero sin variación en la concentración de estas y es notorio que éste se opaca a medida que se aumenta la temperatura.

Figura 19.

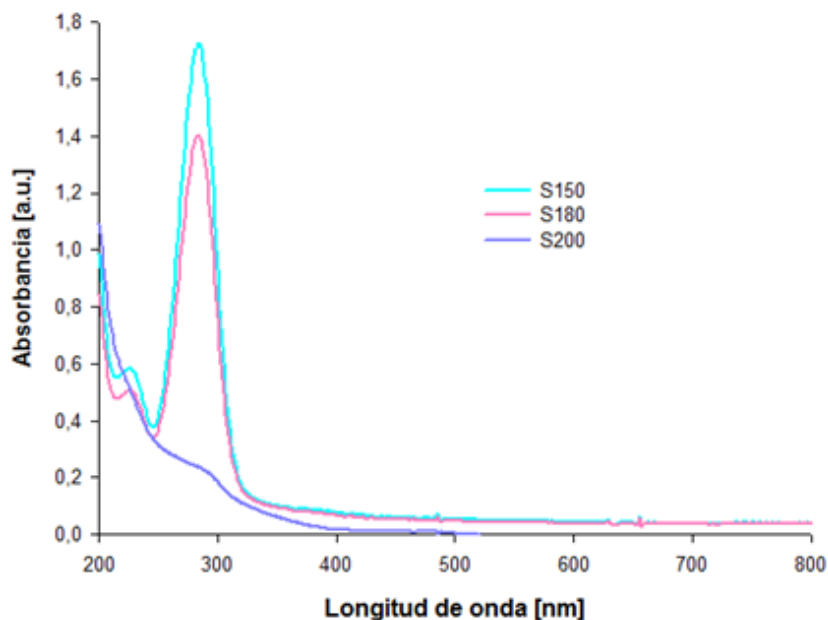
*Cambios de la banda de absorción empleando el residuo sólido de la semilla de aguacate con pretratamiento en agitación en la obtención de nanopartículas de C (NpC)*



En el caso de agitación mecánica (**Figura 20**), el pico de absorción es parecido a las anteriores solo que para una temperatura de 180°C es más grande, lo que nos hace inferir que la síntesis de nanopartículas de carbono (NpC) haciendo uso de agitación mecánica a 180°C tiene mejor rendimiento en comparación con las de agitación previa; al igual se ve una pérdida de este pico de absorción en la temperatura de 200°C.

Figura 20.

*Cambios de la banda de absorción empleando el residuo sólido de la semilla de aguacate con pretratamiento en sonicación en la obtención de nanopartículas de C (NpC)*



Se sintetizaron nanopartículas de Cu (NpCu) en donde se emplearon 0,05 g de  $\text{CuSO}_4$  diluidos en 25 ml de agua tipo I Millie-Q usando agitación constante (400 rpm) a una temperatura de  $50^\circ\text{C}$ . A esta solución se le agregaron 50 ml del residuo líquido del centrifugado de las nanopartículas de plata (NpAg) obtenidas en el primer objetivo, se mantuvo en agitación por 4 horas a una temperatura de  $85 \pm 5^\circ\text{C}$ .

El sólido formado se separó por centrifugación haciendo uso del equipo LC-04F Centrifuge ubicada en el laboratorio CICAT por 30 min a 3500 rpm y posteriormente se llevó a calcinar a  $400^\circ\text{C}$  durante 4 horas.

El objetivo de la obtención de estas nanopartículas fue el de pegarlas a los puntos cuánticos de carbono previamente sintetizadas; las nanopartículas de carbono (NpC) se

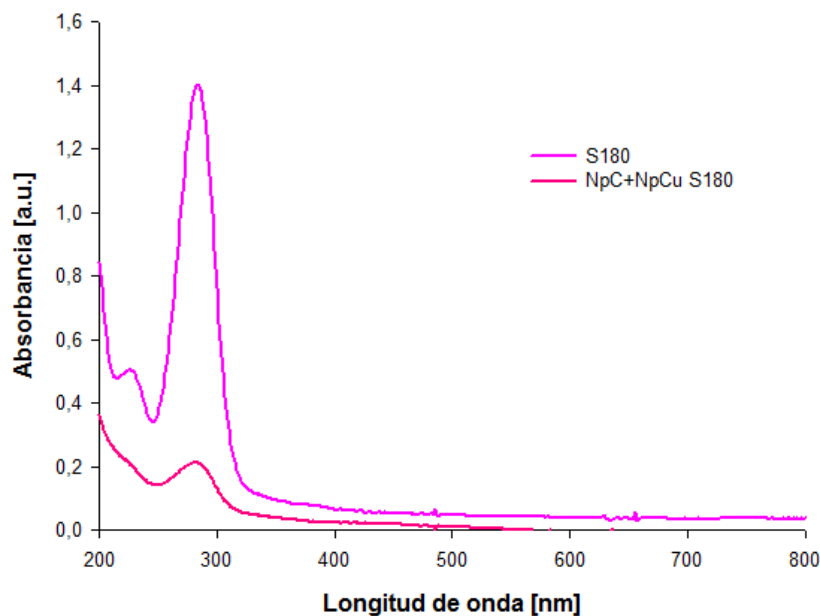
mezclarían con las nanopartículas de cobre (NpCu) y se llevarían en un autoclave a una mufla a 180°C por 4 horas.

El procedimiento anterior se alcanzó a realizar para una muestra de nanopartículas de carbono (NpC) estas fueron las S180 para esto se usó 0,02 g de nanopartículas de cobre (NpCu) en una solución de 50 ml de suspensión de puntos cuánticos de carbono en agua tipo I Millie-Q. Antes de llevarlo a la mufla se colocó en agitación mecánica por 30 minutos en modo pulsado.

En la **Figura 21** se puede notar el cambio del pico de absorción de las nanopartículas de carbono (NpC) S180 con la presencia de las nanopartículas de cobre (NpCu), lo que nos puede hacer concluir que el proceso llevado a cabo fue eficiente.

Figura 21.

*Cambios de la banda de absorción de las nanopartículas de C (NpC) S180 en presencia de nanopartículas de Cu (NpCu)*



Los estudios anteriores dejan abierto un avance en el empleo de residuos orgánicos en la obtención en procesos en serie de nanomateriales.