



Implementación de nanopartículas de cobre (CuNP) en la composición de una película bioplástica de quitosano para comparar la actividad antimicrobiana con tereftalato de polietileno (PET)

Implementation of copper nanoparticles (CuNP) in the composition of a chitosan bioplastic film to compare antimicrobial activity with polyethylene terephthalate (PET)

Marina Chanena Alvarado Aguilar *¹; Ketty Janeth Chávez Valdiviezo²; Jennifer Elizabeth Castro Jiménez³

Recibido: 02 / 01 / 2021 – Revisado: 03 / 03 / 2021 -- Aceptado: 14 / 05 / 2021

*Autor para la correspondencia.

Resumen

En esta investigación se sintetizaron NPCu para ser utilizadas en la composición de una película bioplástica de quitosano y comparar la actividad antimicrobiana de éste bioplástico con un plástico de uso común (PET). Estas nanopartículas fueron obtenidas mediante reacción química del sulfato de cobre con ácido ascórbico utilizando microondas. Las mismas fueron caracterizadas por microscopía electrónica de scanning (SEM) dando un tamaño de nanopartículas promedio de 15nm; la película de quitosano enriquecida con NPCu se sometió a estudio microbiológico en el cual se observó la formación de halos de inhibición bacteriana con un tamaño de 15,5mm y 14,5mm de diámetro en las muestras del bioplástico con las cepas de E. Coli y Staphylococcus respectivamente, mientras que en las muestras de PET no se pudo visualizar inhibición a las bacterias; consolidando con esto, el objetivo principal planteado en la investigación. Además, la degradabilidad del bioplástico fue de un 98% en un lapso de 8 semanas.

Palabras clave

Actividad antimicrobiana, nanotecnología, nanopartículas de cobre, quitosano, bioplástico.

Abstract

In this research, NPCu was synthesized to be used in the composition of a bioplastic film of chitosan and to compare the antimicrobial activity of this bioplastic with a commonly used plastic (PET). These nanoparticles were obtained by chemical reaction of copper sulphate with ascorbic acid using microwaves. They were characterized by scanning electron microscopy (SEM) giving an average nanoparticle size of 15nm; the chitosan film enriched with NPCu was subjected to a microbiological study in which the formation of bacterial inhibition halos with a size of 15.5mm and 14.5mm in diameter was observed in the bioplastic samples with E. coli strains and Staphylococcus respectively, whereas in the PET samples it was not possible to visualize inhibition to the bacteria; consolidating with this, the main objective raised in the investigation. In addition, the degradability of the bioplastic was 98% in a period of 8 weeks.

Keywords

Antimicrobial activity, nanotechnology, copper nanoparticles, chitosan, bioplastic.

1. Introducción

La humanidad y el medio que la rodea han estado expuestos desde sus orígenes a Nanopartículas provenientes de origen natural resultantes de erupciones volcánicas, la combustión y demás; las cuales se han visto en aumento dramático desde la denominada revolución industrial al desarrollar otras fuentes de energía como son los motores de explosión, centrales térmicas y atómicas, y otras fuentes que han sido el inicio del avance extremadamente rápido de la nanotecnología cuyo interés radica en su tamaño que al ser tan pequeño se puede comportar de manera muy

diferente al mismo material en su estado mayormente visible.

Existen en la actualidad, miles de productos que contienen nanomateriales y nanocompuestos que se han convertido en pieza clave para tecnologías de innovación generando la creación de nuevos negocios y la posibilidad de que el sistema económico progrese en las diversas industrias como la alimentaria, medicina, textil, petroquímica, etc.

En el caso del uso de nanopartículas en la industria alimentaria, únicamente los polímeros que se basan en

¹ Universidad de Guayaquil; <https://orcid.org/0000-0002-1714-2801>; marina.alvaradoag@ug.edu.ec

² Investigador independiente; k_et_jes@hotmail.com

³ Investigador independiente; chiquita-1993@hotmail.es



lípidos, polisacáridos y proteínas se pueden utilizar, aunque existen nanopartículas de algunos metales que se incluyen como aditivos que contienen propiedades antimicrobianas muy útiles para recubrimientos de sistemas de refrigeración, fundas y recipientes de envasado de alimentos en los que podemos encontrar nanopartículas de cobre, plata, oro, etc., reforzando la inocuidad de los procesos industriales manteniendo y asegurando la calidad del producto que saldrá al comercio proporcionándole un mayor tiempo de vida útil.

La incorporación de nanopartículas en la industria sigue en aumento y debido a las nuevas aplicaciones ofrece principalmente la protección que permite hacer frente a la pronta degradación de los productos biológicos generando cada vez un nivel de calidad más elevado en la elaboración de alimentos más resistentes, con mayor durabilidad y más saludables.

El presente trabajo de investigación se enfoca en el aprovechamiento y la utilización de las propiedades contenidas en las nanopartículas de cobre implementándolas en la formulación de un biopolímero de quitosano, con la finalidad de comprobar el efecto antimicrobiano del cobre y del quitosano comparándolo con un plástico común derivado de procesos petroquímicos, los dos plásticos serán evaluados frente a dos cepas comunes que son parte del proceso de análisis de control de calidad de las industrias: *Escherichia Coli*, bacteria que puede producir enfermedades y causar diarrea (Diarrea del viajero) y *Staphylococcus aureus*, invade tejidos, provoca infecciones en la piel y tejidos blandos e intoxicación alimentaria.

1.1. Nanotecnología

Las ideas y conceptos detrás de la Nanociencia y la Nanotecnología comenzaron con una conferencia del físico Richard Feynman titulada “Hay mucho espacio en el fondo” en una reunión de la Sociedad Americana de Física en diciembre de 1959, mucho antes de que el término nanotecnología fuese utilizado. En su discurso, Feynman describió un proceso en el que los científicos podrían manipular y controlar átomos y moléculas individuales. [1]

El desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología ha provocado un nuevo marco dentro de la ciencia y la tecnología. La Química Analítica ha experimentado, al igual que otras áreas de la ciencia, un gran cambio gracias

a las necesidades y oportunidades que proporciona la Nanociencia y Nanotecnología Analíticas. Por una parte, el crecimiento exponencial del empleo de nanopartículas en la industria que está teniendo lugar en los últimos años provoca y demanda la aparición de métodos de análisis en la nanoescala para la caracterización y análisis de productos, control medioambiental y estudios toxicológicos. Por otra parte, la posibilidad del empleo de nanopartículas con propiedades excepcionales permite el desarrollo de nuevas estrategias de análisis o mejora de las ya existentes, para el control analítico de compuestos de interés medioambiental, alimentario, clínico o toxicológico. Estos dos aspectos son los que se abordan en lo que hoy denominamos “Nanociencia y Nanotecnología Analíticas”. [2]

En la tabla 1, se muestra diferentes criterios para definir a la nanotecnología:

Tabla 1. Definiciones de Nanotecnología.

Fuente	Definición
International patent classification (IPC) subclase B82B	“Nanoestructura” es “un ordenamiento atómico preciso de la materia que tiene una configuración particular de la forma incluyendo al menos un elemento integral esencial que: 1. Está formada exclusivamente a partir de un átomo, una molécula o una colección muy limitada de átomos o moléculas, colección que en su totalidad es indetectable por un microscopio óptico; y 2. Se ha formado por tener sus átomos o moléculas manipuladas individualmente como discretas unidades durante su fabricación”
physics.about.com	“El desarrollo y la utilización de dispositivos que tienen un tamaño de sólo unos pocos nanómetros”
hyperdictionary.com	“La rama de la ingeniería que se ocupa de las cosas menores de 100 nm (especialmente con la manipulación de las moléculas individuales)”
NASA	“Nanotecnología es la creación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia en la escala nanométrica (1-100 nm), y la explotación de nuevos fenómenos y propiedades (físicas, químicos, biológicos, mecánicos, eléctricos...) en esta misma escala”



International
standard
organization
(ISO, 2010)

“Aplicación del conocimiento científico para manipular y controlar la materia a escala nanométrica con el fin de hacer uso de sus propiedades y fenómenos relacionados con su tamaño y estructura, a diferencia de los asociados con átomos o moléculas individuales o con materiales a granel”

Fundación
española para
la ciencia y
tecnología
(FECYT)

“Tecnología generada con objetos cuyo tamaño oscila desde una décima de nanómetro a una centena de nanómetro”

Fuente: [3]

En la actualidad, el término Nanotecnología es usado con suma frecuencia en el ámbito de la investigación, no obstante, es muy discutible que la Nanotecnología sea una realidad hoy en día. Los progresos actuales experimentados en este campo pueden calificarse más bien como Nanociencia, entendiendo por ésta el cuerpo de conocimiento que sienta las bases para el futuro desarrollo de una tecnología basada en la manipulación detallada de estructuras moleculares. [4]

El verdadero potencial de los nanomateriales, o materiales a escala nanométrica, radica en el excepcional comportamiento que manifiestan como consecuencia de su reducido tamaño. A modo de ejemplo, se pueden citar algunas de las propiedades que en mayor medida se ven influenciadas por el tamaño de la materia:

- Conductividad eléctrica.
- Conductividad térmica.
- Color.
- Reactividad química.
- Elasticidad.
- Resistencia.

Actualmente, se puede considerar que la Nanotecnología se encuentra en sus inicios, ya que en los últimos años se ha venido desarrollando fundamentalmente la Nanociencia, que constituye el sostén fundamental para el desarrollo y aplicaciones específicas de la propia Nanotecnología. [4] En la figura 1, se muestran las principales áreas científico-técnicas de investigación en Nanotecnología

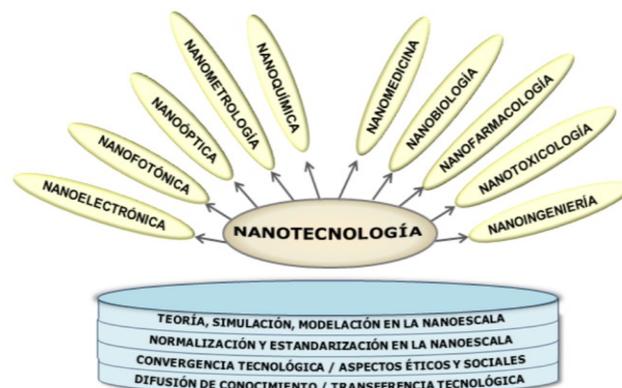


Fig. 1. Principales áreas científico-técnicas de investigación en Nanotecnología

Fuente: [2]

1.2. Características de la nanotecnología

Los siguientes ítems describen algunas de las características de la nanotecnología:

- Métodos *TOP-DOWN* y *BOTTOM-UP*: Por un lado, *TOP-DOWN*, son aquellos que utilizan estructuras de mayores tamaños que los nanómetros, como micrómetros 20, para llegar a partir de ellas a estructuras nanométricas. Por otro lado, *BOTTOM-UP*, en los cuales, a partir de procesos físicos y químicos, como la síntesis, se controlan y manipulan los átomos y moléculas para formar y hacer crecer nanoestructuras. [5]

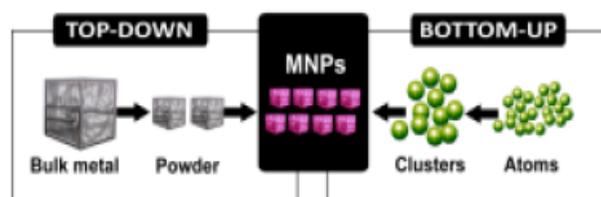


Fig. 2. Formas de crear “nanocosas” top-down y bottom-up

Fuente: [6]

- Interdisciplinario: Esta se encuentra conectada con otras macro disciplinas científicas en las cuales están la ciencia de los materiales, bioquímica, química, física, matemáticas, etc.



1.3. Riesgos de la nanotecnología

Actualmente, apenas existe alguna legislación específica sobre la nanotecnología y los nanomateriales, aunque estos están dentro de la definición de “sustancia” incluida en el Reglamento europeo sobre sustancias y preparados químicos (denominado REACH; acrónimo de registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos). En este sentido, la EFSA publicó una guía de orientación para evaluar los riesgos de las aplicaciones de la nanociencia y de las nanotecnologías en los alimentos y en la cadena alimentaria. Una de sus recomendaciones consistía en la necesidad de desarrollar, mejorar y validar metodologías rutinarias para estudiar en profundidad la toxicidad de las nanopartículas, dado el creciente número de nuevos nanomateriales que hay en el mercado. El interés internacional despertado se muestra en el número de publicaciones aparecidas sobre las distintas técnicas de detección; en el año 2014 un estudio promovido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) plantea las medidas de conductividad, mientras que en un segundo estudio se opta por citometría de flujo y dispersión de luz y fluorescencia de rojo, si bien ya el interés de la Agencia en esta materia se remonta a 2007. [7]

1.4. Aplicaciones de las nanopartículas en la industria

Las posibles múltiples aplicaciones de los avances y descubrimientos en Nanociencias y Nanotecnologías son la principal base sobre la cual se sustenta la importancia del campo. Asimismo, en la literatura se presenta la tendencia de asignación de nuevos nombres a disciplinas ya conocidas que agregan el prefijo “nano” a su campo de estudio, para así identificar a las líneas tradicionales que estudian los fenómenos y aplicaciones en la nanoescala. Tal es el caso de la nanoelectrónica, considerada como el futuro de la microelectrónica, que no sólo permitirá seguir aumentando la miniaturización de las distintas partes de los instrumentos electrónicos, sino que también proporcionará nuevos avances a partir de las propiedades particulares que surgen en la nanoescala. Otro caso es el de nanomateriales, que alude al campo de las ciencias de los materiales que se aboca al estudio de sus propiedades en la nanoescala. [5]

Las aplicaciones de la nanotecnología y la incorporación de NMs en la industria agroalimentaria están creciendo, destacando a corto plazo su uso mayoritario en los materiales en contacto con los alimentos, mientras que a largo plazo se espera el uso de nanoencapsulados. Debido

al aumento de estas nuevas aplicaciones la población está cada vez más expuesta a estos NMs, por lo que es primordial una correcta evaluación del riesgo, así como la elaboración de un marco legislativo específico con el fin de garantizar la seguridad a los consumidores. [3]

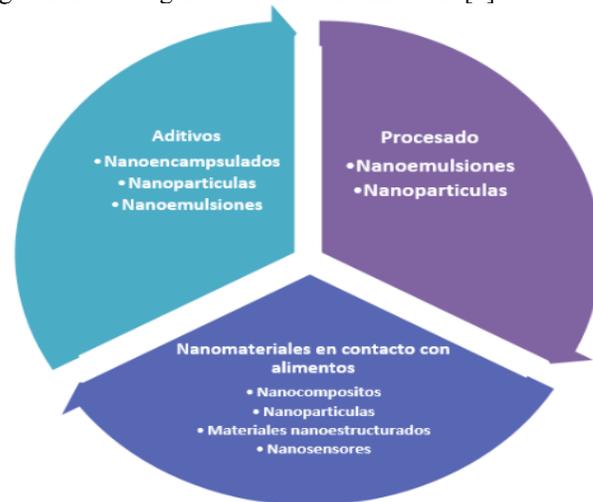


Fig. 3. Aplicaciones de las nanopartículas en la industria.
Fuente: [8]

1.5. Nanopartículas en el procesamiento de los alimentos

Los componentes orgánicos que están presentes en los alimentos como proteínas, carbohidratos y grasas pueden variar en tamaño, desde grandes cadenas poliméricas hasta moléculas más simples en el rango nanométrico. Los nanomateriales orgánicos pueden ser sintetizados para fines específicos, tales como la encapsulación de nutrientes para aumentar su biodisponibilidad, mejorar el sabor, la textura y la consistencia de los productos alimenticios, o enmascarar un sabor u olor indeseable. En la industria de las bebidas se está buscando usar las nanoemulsiones (base lipídica), ya que estas tienen tamaños de gota mucho menores que las longitudes de onda visibles; por lo tanto, la mayoría de las nanoemulsiones parecen ópticamente transparente. Esta es una característica muy favorable para su aplicación como portadores de nutrientes, sin comprometer el color y sabor de estos productos. [8]

1.6. Aplicaciones del SEM

El equipo de microscopía electrónica por barrido se lo utiliza en cualquier área que trabaje con materiales sólidos y en el que sea útil la vista a microescala como, por



ejemplo, químicas, biológicas, ambientales, metalúrgicas, cerámicas, etc.

A continuación, se detalla las principales aplicaciones del SEM:

- Caracterización de morfología, química, y textura en el área de la minería en general, petróleo y más.
- Composición de superficies de polímeros, compuestos semiconductores.
- En odontología se lo utiliza para el estudio de las alteraciones que provocan los ácidos y restos de comida en la superficie de los dientes.
- Control de la calidad en productos de consumo humano como son: fibras y peritajes.
- A continuación, se muestran los requisitos de las muestras a analizar:
- Se deberán entregar adecuadamente rotuladas, acondicionadas y envasadas para asegurar la calidad de las visualizaciones.
- Deben ser conductoras, sólidas y libres de humedad o expuesta a algún químico.
- Se tratará de que las muestras tengan el menor tamaño posible teniéndose en cuenta 4cm de diámetro y 1cm de alto.
- En el caso de que las muestras no sean conductoras se las recubrirá con oro o carbono.
- De ser necesario se someterá a las muestras a un tratamiento en vacío.

1.7. Películas de nanocompuestos quitosano – cobre (QS-CuNP)

Es posible que al formular nanocompuestos quitosano/nanopartículas de cobre (QS/nCu) se puedan incrementar sus propiedades físico-químicas y antibacterianas, manteniendo la biocompatibilidad del biopolímero. [9]

Se sabe que la actividad antimicrobiana de las nanopartículas metálicas es una función del área de superficie en contacto con los microorganismos. Se ha demostrado una relación inversa entre el tamaño de las nanopartículas y su actividad antimicrobiana, donde las nanopartículas en el rango de tamaño de 1-10 nm han mostrado tener la mayor actividad antibacteriana. La transición de micropartículas a nanopartículas involucra un incremento en la relación área de contacto/volumen (razón de aspecto), en donde el área de contacto aumenta dramáticamente permitiendo un mayor número de

interacciones con moléculas orgánicas, inorgánicas y bacterias. Existe evidencia que demuestra que nanopartículas fabricadas a partir de polímeros naturales como el quitosano poseen propiedades bactericidas. Se ha evaluado la efectividad de estas nanopartículas frente a *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocitogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* y *Streptococcus mutans* [10]

Cada organismo requiere encontrar en su medio todas las sustancias necesarias para la generación de energía y biosíntesis celular. Los elementos de ese medioambiente que son utilizados para el crecimiento celular se refieren como nutriente. Los requerimientos nutricionales de una célula bacteriana son revelados por su composición elemental, la cual se compone de C, H, O, N, S, P, K, Mg, Fe, Ca, Mn y trazas de Zn, Co, Cu y Mo. Estos elementos se encuentran en forma acuosa, iones inorgánicos, pequeñas moléculas y macromoléculas, las cuales desempeñan un papel estructural o funcional en la célula. Los medios de cultivo ya sean preparaciones sólidas, semisólidas o líquidas, constituyen el micromundo de los microorganismos en condiciones de laboratorio, intentando ser un reflejo de su hábitat natural en relación con la satisfacción de sus más vitales y principales necesidades como ser vivo. El diseño de un medio de cultivo responderá entonces a las exigencias del microorganismo en cuestión y a la finalidad que se persigue con su multiplicación. Según la finalidad que se persiga, los medios a emplear para el cultivo de estos microorganismos pueden ser complejos o definidos. [11]

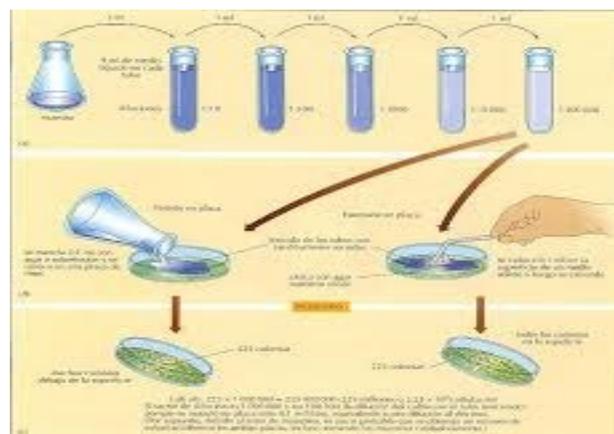


Fig. 4. Medios de sembrado

Fuente: [12]



1.8. Técnicas de aislamiento/transferencia

El aislamiento se puede lograr directamente de una muestra con proporciones adecuadas de microorganismos utilizando los siguientes métodos:

- Por difusión en la superficie de un medio sólido en cajas de Petri.
- Por dilución en Agar
- Macro y micro dilución en caldo
- Épsilon test.
- Métodos automatizados y pruebas especiales.

La técnica de difusión en Agar es cualitativa y sus resultados se pueden interpretar únicamente como sensible, intermedio o resistente, y está diseñada específicamente para bacterias de crecimiento rápido como los *Staphylococcus* sp. O los integrantes de la familia Enterobacteriaceae. Se aplica sobre la superficie de una placa seca de agar. La cepa se debe rayar sobre la superficie del medio de forma tal que se logre un crecimiento confluyente. Cada plato es observado en una luz indirecta y cada halo de inhibición es medido utilizando un caliper o en su defecto una regla graduada en la forma adecuada. En el caso de que no se presente un halo, no se debe reportar 0mm, se debe reportar 6 mm, ya que ese es el diámetro del disco. [13]

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la difusión en Agar

Técnica de difusión en agar	
Ventajas	Desventajas
Es fácil de efectuar y de gran reproducibilidad	Es el hecho de que brinda solo información cualitativa
Bajo precio	Esta técnica debe ser modificada para poderla emplear en organismos fastidiosos o de crecimiento lento
No requiere equipo especial	
Sus resultados son fáciles de interpretar	
Es muy flexible a la hora de escoger el antibiótico a probar	

Por dilución en Agar las muestras que están ya diluidas se mezclan con el agar y se siembran directamente en la superficie de la placa de agar, como en la técnica anterior, las placas se incuban hasta la aparición de las colonias.

En el macro y micro dilución en caldo, se toma el tubo de ensayo con el medio de cultivo líquido, como el caldo simple. Se toma el material a diluir y luego se lo siembra en el tubo de ensayo utilizando el asa cargada con el material bacteriológico, y se agita con movimientos moderados.

Épsilon test, Este método se trata de combinar la difusión en agar y la dilución en agar, y se puede ver mediante la lectura directa con unas tiras compuestas por antibióticos (Amoxicilina) la concentración mínima inhibitoria.

Los métodos automáticos y pruebas especiales se basan en las características que contengan los microorganismos que se desea estudiar. Pero hay que tener presente que puede haber bacterias que suelen tener el mismo comportamiento ante un agente físico o químico.

2. Materiales y métodos

La síntesis de NPCu fue realizada en el Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, para la cual se siguió con la siguiente metodología de ejecución:

- Primero se dispone a pesar los reactivos para la solución por separado a las que llamaremos “solución 1” y “solución 2” para el Sulfato de Cobre y el Ácido Ascórbico (Vitamina C) respectivamente:
- Se pesaron, para la solución 1, 40g de $CuSO_4$ los que se disuelven en un vaso de precipitación con 120ml de H_2O destilada para obtener una solución saturada a temperatura ambiente ($25^{\circ}C$).
- Para la solución 2, se pesan 96g de $C_6H_8O_6$ (Vitamina C) para ser disueltos en 340ml de H_2O destilada a temperatura ambiente ($25^{\circ}C$).
- Una vez obtenidas las dos soluciones, se procede a mezclarlas y acelerar la reacción de sedimentación de las nanopartículas de cobre con ayuda de la irradiación de las ondas de microondas en ciclos de 1 minuto hasta que la solución hierva y se visualice las NPCu aglomeradas en el fondo del vaso de precipitación.
- Se enfría la solución para poder filtrar al vacío utilizando un microfiltro que ayudará a retener las nanopartículas y evitar la pérdida de las mismas.

- f. Cuando todo el producto se haya vaciado, se lavará el cobre con 80ml de alcohol absoluto removiendo con un agitador o espátula.
- g. La materia prima (NPCu) se somete a secado en una estufa durante 15 minutos a 45°C.
- h. Se pesa y calcula el rendimiento de las nanopartículas con relación a la cantidad de sulfato de cobre utilizado.

Los reactivos utilizados en la síntesis de nanopartículas de cobre fueron obtenidos mediante la compra de los mismos en la ciudad de Guayaquil; en Laboratorio Cevallos, proveedor de productos químicos y equipos de laboratorio.

Los demás instrumentos se usaron del laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil.

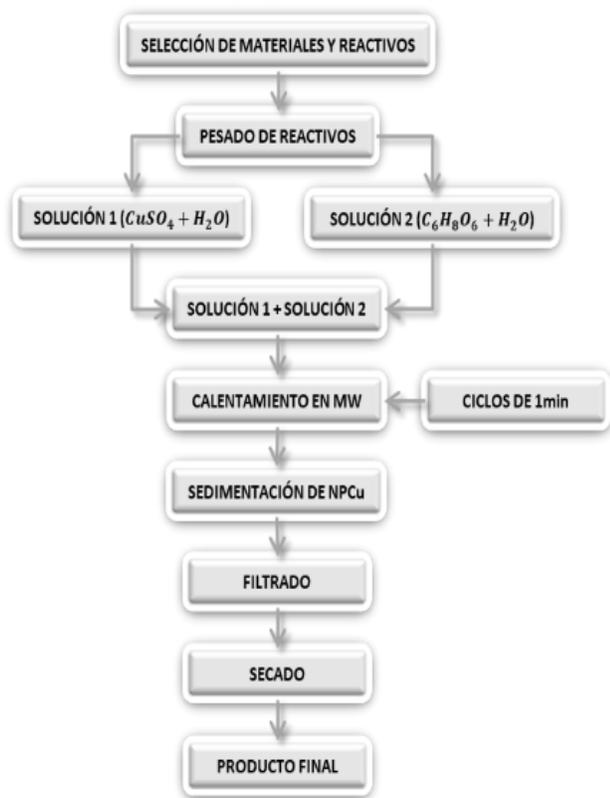


Fig. 5. Diagrama de flujo de la síntesis de Nanopartículas de Cobre

2.4. Procedimiento para realizar el cálculo del área de degradación del biopolímero

Para calcular el área de degradación del plástico, se tomará como referencia el Método de Triangulación que se utiliza para calcular el área de polígonos y figuras irregulares como es el caso de nuestro bioplástico. A continuación de detalla cómo se calcula el área de un polígono irregular:

- a. Dividimos la figura en N triángulos, según sea el número de lados de la figura y con la condición de que todos los lados confluyen hacia un mismo punto interior.
- b. Medir la altura de los triángulos. Cada una de las alturas de los triángulos será el segmento perpendicular al lado del polígono que va hasta el centro.
- c. Se calcula cada una de las áreas de los triángulos sumando las N áreas del plástico con la siguiente ecuación:

Área de polígono irregular

$$= \frac{L_1 * h_1}{2} + \frac{L_2 * h_2}{2} + \dots + \frac{L_n * h_n}{2} \quad (1)$$

Donde L_i son cada uno de los lados y h_i son las alturas de los triángulos.

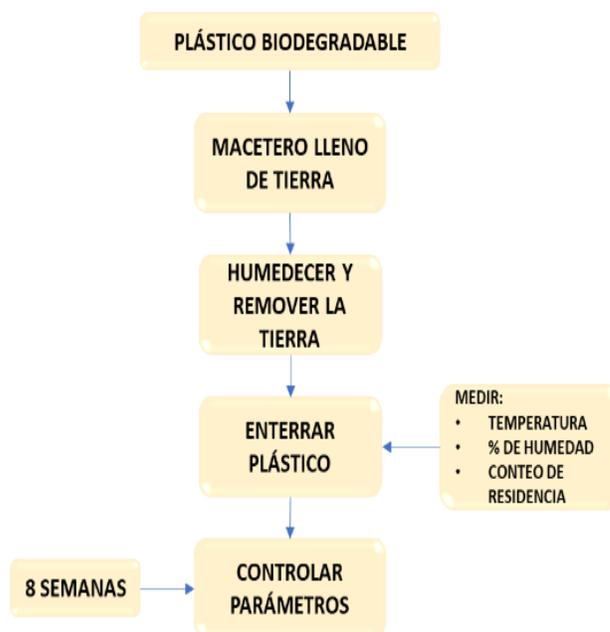


Fig. 6. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo de degradabilidad del plástico biodegradable.



3. Resultados

Cálculo de moles del Sulfato de cobre: $CuSO_4$

$$Cu = 63,546g$$

$$S = 32,065g$$

$$O = 15,999g * 4 = 63,996g$$

$$40g CuSO_4 * \frac{1 mol}{159,607g CuSO_4} * \frac{63,546g Cu}{1 mol CuSO_4} \quad (2)$$
$$= 15,9256g Cu$$

Tabla 3. Promedio de NPCu sintetizadas en el laboratorio

NPCu sintetizadas en el laboratorio		
	Muestra NPCu (g)	Promedio
Solución # 1	7,88	
Solución # 2	7,75	7,75
Solución # 3	7,61	
TOTAL	23,24	

Fuente: Autores

Entonces, el % de rendimiento es el siguiente:

$$\%Rendimiento = \frac{Rendimiento Real}{Rendimiento Teórico} * 100 \quad (3)$$

$$\%Rendimiento = \frac{7,75g}{15,9256g} * 100 \quad (4)$$

$$\%Rendimiento = 48,643 \% \quad (5)$$

Como resultado del cálculo estequiométrico para obtener el rendimiento teórico se obtuvieron 15,9256g Cu, que es la cantidad de Cobre que contienen 40g de Sulfato de Cobre usados para la reacción de síntesis de nanopartículas. El peso de las nanopartículas sintetizadas en el laboratorio tubo un resultado promedio de 7,75g expresado en la Tabla #4, misma que contiene 3 pesos diferentes resultantes de

varios ensayos de obtención de NPCu; el cual sería el rendimiento real obtenido de la síntesis.

Al aplicar la ecuación 3, para calcular el rendimiento de las Nanopartículas de Cobre dio un estimado del 48% de rendimiento total en la síntesis de obtención de nanopartículas de cobre para ser utilizadas en la fabricación de un plástico biodegradable.

3.1. Plástico Biodegradable

Las características que posee el plástico biodegradable obtenido por los autores se muestran a continuación en la tabla:

Tabla 4. Características del Bioplástico

Características del Bioplástico	
Espesor	1mm
Color	Ámbar claro
Flexibilidad	Moderada
Elasticidad	Poca
Textura	Lisa/Suave

3.2. Degradabilidad del Bioplástico.

El bioplástico fue expuesto a condiciones naturales el cual fue enterrado en tierra de sembrado y observado cada semana alrededor de 8 semanas para evaluar la degradabilidad de este y el tiempo en que tarda en degradarse; con esto pudimos visualizar y comprobar las propiedades degradativas del plástico obtenido, lo que es beneficioso al medio ambiente al tener un corto tiempo de descomposición. A continuación, se detalla el proceso de degradación del bioplástico mediante el cálculo de su área en el transcurso del tiempo:

3.3. Cálculo del área degradada del bioplástico

Para calcular el área que del plástico se utilizara el método de triangulación que es usado para calcular el área de una figura irregular, el cual consiste en dividir el polígono en N triángulos y el área del polígono será la suma del área de dichos N triángulos.

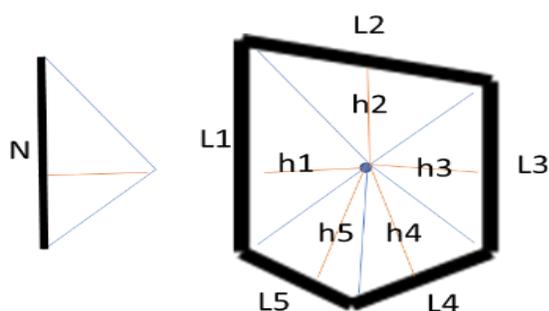


Fig. 7. Área de una figura irregular – Método de triangulación

Tabla 5. Control de degradabilidad del Bioplástico.

Control de degradabilidad del Bioplástico			
Semana	Temperatura °C	% Humedad	Área del bioplástico (cm ²)
0	28	88	8,125
1	27	87	3,905
2	29	85	2,265
3	31	92	2,185
4	24	89	1,175
5	28	80	0,8575
6	32	87	0,725
7	29	87	0,455
8	30	82	0,1625

Al calcular el área del plástico biodegradable para determinar la superficie degradada de la muestra del bioplástico, se tomaron los datos semanales detallados; una vez obtenidos los resultados, éstos fueron agrupados en la tabla 6 en la que se puede observar el cambio en el tamaño que sufrió el bioplástico en el control de degradabilidad del bioplástico, éste muestra las variaciones de la degradación de la semana 0 a la semana 8 con sus respectivas condiciones de temperatura y % de humedad.

En la figura 8, se muestra el gráfico del control de degradabilidad del bioplástico en el que se puede evidenciar más claramente el aumento en la

biodegradación del plástico y la reducción de su tamaño en un 98% en tan solo 8 semanas.

Control de degradabilidad del Bioplástico

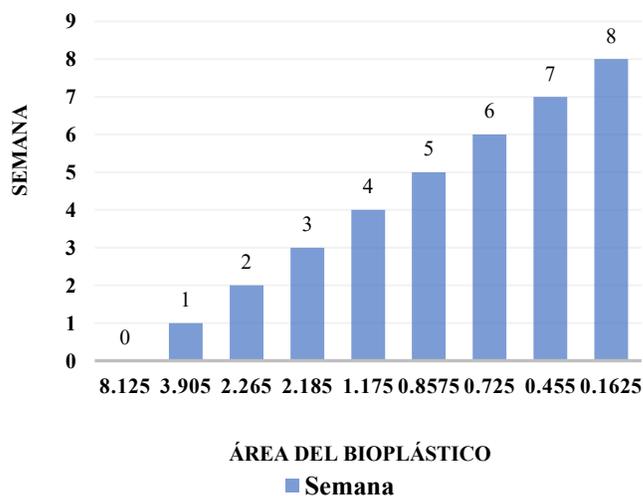


Fig. 8. Gráfico del control de degradabilidad del Bioplástico

3.4. Actividad Antimicrobiana

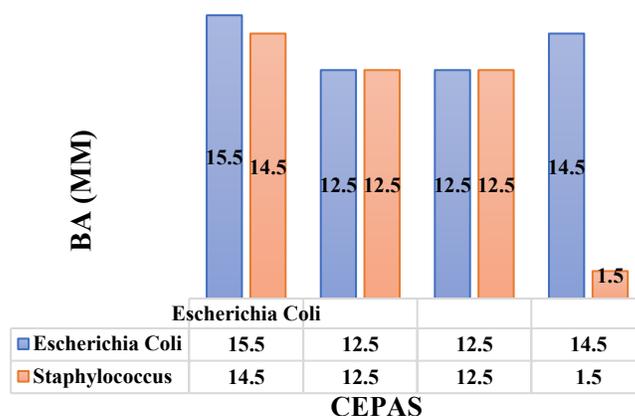


Fig. 9. Gráfico de comparación del tamaño de las muestras Ba analizadas

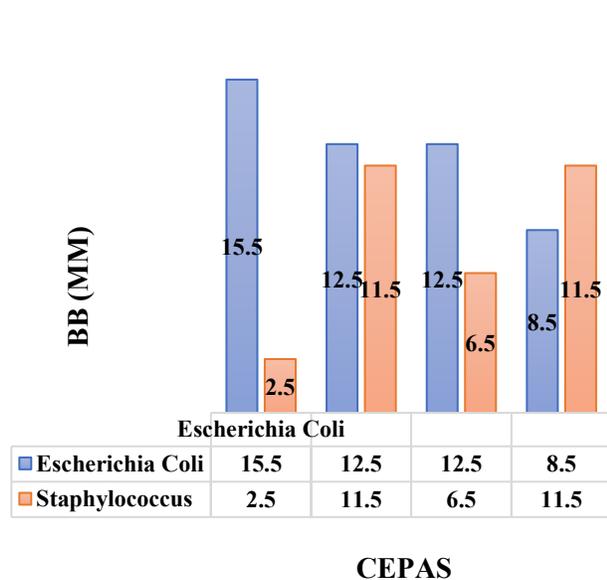


Fig. 10. Gráfico de comparación del tamaño de las muestras Bb analizadas

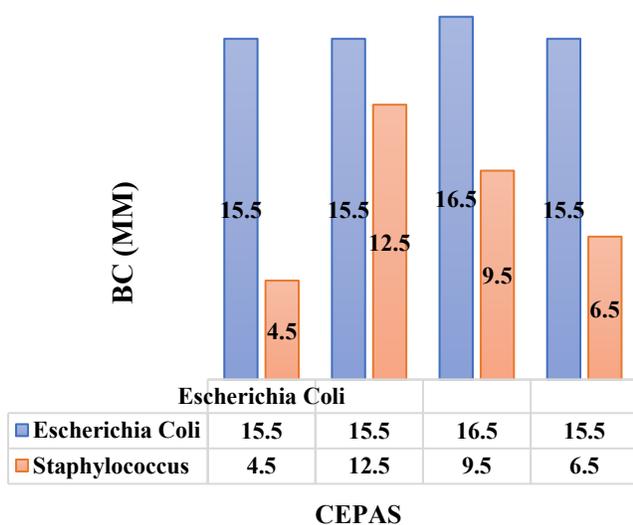


Fig. 11. Gráfico de comparación del tamaño de las muestras Bc analizadas

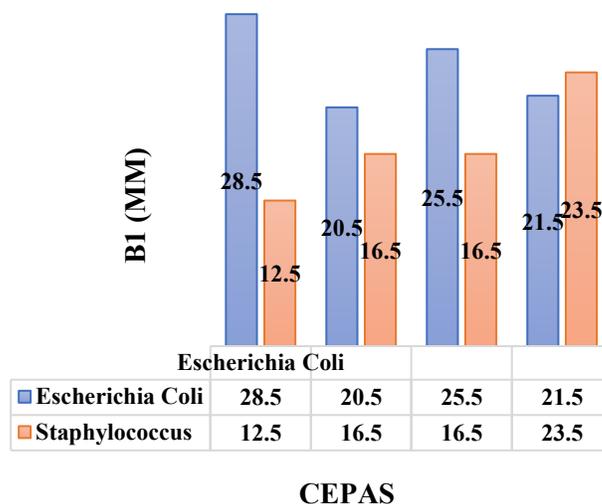


Fig. 12. Gráfico de comparación del tamaño de los halos de las muestras B1 analizadas

Las muestras analizadas con cada una de las cepas de bacterias utilizadas con el fin de comprobar el poder inhibitorio de las nanopartículas de cobre en un plástico biodegradable a base de quitosano con NPCu mostraron resultados positivos al observarse la formación de halos de inhibición alrededor del disco de plástico que contenía las nanopartículas a diferencia del plástico normal (PET) el cual no tubo presencia de formación de halos.

En las figuras 9, 10 y 11 se pueden observar los tamaños de los halos de inhibición de los discos de muestras enriquecidas con NPCu que están siendo comparadas entre las cepas de Escherichia Coli y Staphylococcus; la diferencia en el crecimiento de los halos y la efectividad ejercida en cada una de las bacterias es claramente evidente; el efecto inhibitorio de las nanopartículas de cobre en Escherichia Coli es mayor que en las muestras de Staphylococcus, siendo su máximo valor de 15,5mm y 14,5mm de diámetro respectivamente.

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y descritos en la memoria de este trabajo de investigación, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- Se prepararon nanopartículas de Cobre a partir de una solución de sulfato de cobre y ácido ascórbico



mediante la utilización de microondas en el que se obtuvo un 48,643% de rendimiento.

- En el análisis de microscopía electrónica por scanning, las nanopartículas observadas bajo el haz de luz mostraron un tamaño mínimo de 4nm y máximo de 25nm con un promedio de 15nm.
- Se obtuvo película bioplástica de quitosano de origen chino con un 86,7% de pureza, incorporándole nanopartículas de cobre de promedio 15nm.
- Se logró obtener inhibición bacteriana del bioplástico con NPCu, con diámetros de 15,5mm frente a *Escherichia Coli* y 14,4mm frente a *Staphylococcus*.
- En las muestras de plástico común no se obtuvo inhibición alguna frente a las cepas de *E. Coli* y *Staphylococcus*.
- La degradabilidad del bioplástico alcanzó un 98% dentro de 8 semanas en tierra de sembrado.

Referencias

- [1] «Naukas,» 3 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://naukas.com/2018/08/03/avances-limites-y-problemas-de-la-nanotecnologia/>.
- [2] C. C. Carolina, «Biblioteca Universidad de Córdoba,» Junio 2011. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10396/5718>.
- [3] A. Ávalos Fúnez, A. Haza Duaso y P. Morales Gómez, «Revista Complutense de Ciencias Veterinarias,» *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, vol. 10, n° 2, pp. 1-17, 2016.
- [4] E. F. Santana, «INVESTIGACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO ADITIVADAS CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA LA MEJORA DE PROPIEDADES BIOACTIVAS EN EL SECTOR TEXTIL,» Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [5] M. F. V. Seoane, «Nanotecnología: Su desarrollo en Argentina, sus características y tendencias a nivel mundial,» Universidad Nacional de General Sarmiento, 2011.
- [6] D. i. Lab, «Day in Lab,» 10 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://dayinlab.com/2016/08/10/sexo-drogas-y-nanotecnologia/>.
- [7] A. C. O. Alberto Frutos Pérez-Surrio, «Nanopartículas de plata en envases de uso alimentario,» *Rev. salud ambiente*, vol. 15, n° 2, pp. 80-87, 15 Diciembre 2015.
- [8] H. Y. López De la Peña, C. M. López, E. M. Múzquiz, F. Hernández y M. Hernández, «Depto. Ciencia y Tecnología de Alimentos, UAAAN,» *CienciaAcierta*, pp. 1-9, Octubre - Diciembre 2016.
- [9] K. Maldonado-Lara, G. Luna-Bárceñas, E. Luna-Hernández, F. Padilla-Vaca, E. Hernández-Sánchez, R. Betancourt-Galindo, J. Menchaca-Arredondo y B. España-Sánchez, «Preparación y Caracterización de Nanocompositos Quitosano-Cobre con Actividad Antibacteriana para aplicaciones en Ingeniería de Tejidos,» *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 38, n° 1, 2017.
- [10] D. A. T. Fica, «SÍNTESIS DE SUSPENSIONES DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE Y QUITOSANO, Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS FRENTE A STREPTOCOCCUS MUTANS,» Universidad de Chile, Santiago, 2015.
- [11] J. M. D. C. G. G. y E. S. María C. Nápoles, «EFECTO DE DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO EN LA MULTIPLICACIÓN CELULAR DE *Bradyrhizobium elkanii*,» *Revista Cultivos Tropicales*, vol. 27, n° 1, pp. 35-38, 2006.
- [12] B. C. Carlos y T. T. Junior, «SlideShare,» 31 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/CarlosBarahonaChunga/laboratorio-microbiologa>.
- [13] M. L. Herrera, «Pruebas de sensibilidad antimicrobiana. Metodología de laboratorio,» *Revista Médica del Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera*, vol. 34, Enero 1999.