

<https://doi.org/10.23913/ciba.v9i17.95>

*Artículos Científicos*

## **Antioxidantes naturales y su poder reductor frente a iones plata: alternativa en la recuperación de metales**

***Natural Antioxidants and Their Reducing Power Against Silver Ions: Alternative  
in the Recovery of Metals***

***Antioxidantes naturais e seu poder redutor contra íons de prata: alternativa na  
recuperação de metais***

**Lidia Meléndez Balbuena**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, México

[Imbalbuena@hotmail.com](mailto:Imbalbuena@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-4664-5221>

**Blanca Martha Cabrera Vivas**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, México

[bmcabreravivas@yahoo.com](mailto:bmcabreravivas@yahoo.com)

<https://orcid.org/0000-0002-9760-5473>

**Ismael Soto López**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, México

[Issolo2015@yahoo.com](mailto:Issolo2015@yahoo.com)

<https://orcid.org/0000-0002-5501-5651>

**Alejandra Castro Lino**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, México

[Alcastro1228@yahoo.com.mx](mailto:Alcastro1228@yahoo.com.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-0321-4357>

**Juan Carlos Ramírez García**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, México

[jcramirezgarcia@gmail.com](mailto:jcramirezgarcia@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1351-5276>



## Resumen

La contaminación de las aguas de ríos y mares por la presencia de metales es un problema de escala mundial debido principalmente al impacto de los relaves mineros. Se ha demostrado científicamente que, además de causar algunos de los problemas ambientales más graves, la exposición a metales en determinadas circunstancias es la causa de la degradación y muerte de vegetación, ríos, animales e incluso de daños directos en el ser humano, por lo que es esencial buscar formas para eliminarlos, o al menos reducir su impacto.

Este trabajo muestra los resultados obtenidos del comportamiento reductor de extractos de plantas frente a iones de plata, un proceso donde, en lugar de usar reactivos sintéticos, método simple y económico, los extractos son químicos utilizados como reactivos en la recuperación de un metal. Extractos que contienen sustancias antioxidantes como flavonoides, taninos y compuestos fenólicos, que son metabolitos secundarios de muchas plantas, cuya actividad antioxidante desempeña un papel fundamental en los procesos de reducción. Los extractos de plantas estudiados fueron los siguientes: diente de león (*Taraxacum officianale*), perejil (*Petroselinum crispum*) y hierbabuena (*Camellia sinensis*). Se realizaron pruebas analíticas de la identificación cualitativa de la presencia en los extractos acuosos de los flavonoides, ácidos fenólicos responsables de su poder reductor.

El poder reductor de los extractos fue probado a través de la formación de nanopartículas de plata, y monitoreando los espectros UV-Vis con la aparición de la banda del plasmón característico de nanopartículas metálicas, así como a través de la recuperación de la plata en forma de sólido limpio y brillante con buenos rendimientos, se cuantificó el rendimiento de la plata obtenida con cada uno de los extractos de plantas utilizados. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que es viable utilizar extractos vegetales para la reducción de metales y de esta forma recuperar metales en forma metálica.

**Palabras clave:** extracto vegetal, metales, nanopartículas, plata, reductor.

## Abstract

The contamination of the waters of rivers and seas due to the presence of metals is a worldwide problem mainly due to the impact of mining tailings. It has been scientifically proven that, in addition to causing some of the most serious environmental problems, exposure to metals in certain circumstances is the cause of the degradation and death of vegetation, rivers, animals and even of direct damage to humans, by what is essential look for ways to eliminate them, or at least reduce their impact.

This work shows the results obtained from the reducing behavior of plant extracts against silver ions, a process where the extracts are chemicals used as reagents in the recovery of a metal instead of using synthetic reagents, simple and economical method. Extracts containing antioxidant substances such as flavonoids, tannins and phenolic compounds, which are secondary metabolites of many plants, and their antioxidant activity play a fundamental role in the reduction processes. The plant extracts studied were: Dandelion (*Taraxacum officianale*), Parsley (*Petroselinum crispum*) and Hierbabuena (*Camellia sinensis*). Analytical tests of the qualitative identification of the presence in the aqueous extracts of the flavonoids, phenolic acids responsible for their reducing power, were carried out.

The reducing power of the extracts was tested through the formation of silver nanoparticles, monitoring the UV-Vis spectra with the appearance of the plasmon band characteristic of metallic nanoparticles, as well as through the recovery of silver in the form of clean and bright solid with good yields, the yield of the silver obtained with each of the plant extracts used was quantified.

From the results obtained it can be concluded that it is feasible to use plant extracts for the reduction of metals and in this way recover metals in metallic form.

**Keywords:** plant extract, metals, nanoparticles, silver, reducer.

## Resumo

A contaminação das águas dos rios e mares devido à presença de metais é um problema mundial devido principalmente ao impacto dos rejeitos de mineração. Está cientificamente provado que, além de causar alguns dos mais sérios problemas ambientais, a exposição a metais em certas circunstâncias é a causa da degradação e morte de vegetação, rios, animais e até mesmo danos diretos aos humanos, então que é essencial procurar maneiras de eliminá-las ou, pelo menos, reduzir seu impacto.

Este trabalho mostra os resultados obtidos a partir do comportamento redutor de extratos vegetais contra íons de prata, processo em que, ao invés de utilizar reagentes sintéticos, método simples e barato, os extratos são produtos químicos utilizados como reagentes na recuperação de um metal. Extratos contendo substâncias antioxidantes, como flavonóides, taninos e compostos fenólicos, que são metabólitos secundários de muitas plantas, cuja atividade antioxidante desempenha um papel fundamental nos processos de redução. Os extratos das plantas estudadas foram: dente de leão (*Taraxacum officinale*), salsa (*Petroselinum crispum*) e hortelã (*Camellia sinensis*). Testes analíticos foram realizados na identificação qualitativa da presença nos extratos aquosos dos flavonóides, ácidos fenólicos responsáveis pelo seu poder redutor.

O poder redutor dos extratos foi testado através da formação de nanopartículas de prata, e pela monitoração dos espectros UV-Vis com o aparecimento da faixa de plasmon característica das nanopartículas metálicas, bem como pela recuperação de prata na forma de nanopartículas. de sólido limpo e brilhante com bons rendimentos, o rendimento da prata obtida com cada um dos extractos de plantas utilizados foi quantificado. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que é viável a utilização de extratos vegetais para a redução de metais e, desta forma, recuperar metais em forma metálica.

**Palavras-chave:** extrato vegetal, metais, nanopartículas, prata, redutor.

**Fecha recepción:** Septiembre 2018

**Fecha aceptación:** Diciembre 2018



## Introducción

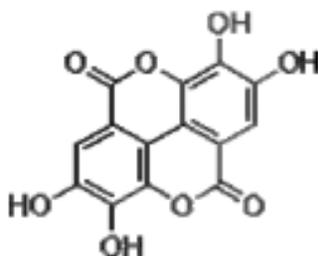
La contaminación de las aguas de ríos y mares por la presencia de metales es un problema de escala mundial principalmente debido al impacto de los relaves mineros, así como a los desechos de las industrias de la metalúrgica. Se ha demostrado científicamente que, además de causar algunos de los problemas ambientales más graves, la exposición a metales en determinadas circunstancias es la causa de la degradación y muerte de vegetación, ríos, animales e, incluso, de daños directos en el ser humano. De los más de 106 elementos conocidos actualmente, 84 son metales, por lo que no es de extrañar que las posibilidades de contaminación metálica en el ambiente sean numerosas. Hay que tener presente que los metales son materias naturales que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. El problema surge cuando prolifera su uso industrial y su empleo creciente en la vida cotidiana termina por afectar a la salud; de hecho, el crecimiento demográfico en zonas urbanas y la rápida industrialización han provocado serios problemas de contaminación y deterioro del ambiente, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Muchos metales como la plata, el cobre y el zinc acaban disueltos en las aguas de ríos y mares debido a que las sales que forman son solubles en agua, y cuando sus concentraciones son más elevadas de lo normal y producen efectos nocivos pasan a ser considerados contaminantes, lo cual sin duda afecta a la flora y fauna, así como al mismo ser humano. Por ello es de suma importancia su eliminación o recuperación, o al menos una disminución de su impacto (Nava, 2011).

Comúnmente las técnicas usuales para la limpieza de estas aguas contaminada con metales son las técnicas químicas en las que son utilizadas sustancias químicas como agentes reductores. El problema de estas técnicas es, o bien su elevado costo, o bien su alto nivel tóxico por los reactivos utilizados. Teniendo en cuenta ambos factores, los científicos han recurrido, en vez de a químicos tóxicos, al uso de plantas capaces de reducir cationes en una disolución de sal metálica (García, García, Rojo y Sánchez, 2001), por lo que en los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de antioxidantes naturales, generalmente constituidos por mezclas de compuestos con elevada diversidad molecular y funcionalidad biológica, obtenidas de extractos vegetales, entre los cuales los más importantes son los compuestos polifenólicos como los flavonoides, taninos y compuestos fenólicos, metabolitos secundarios de muchas plantas que juegan un papel fundamental en la actividad antioxidante por sus bajos potenciales redox, pues actúan como donadores de electrones que producen su oxidación, inhibiendo así otros procesos oxidativos (Han, Zhang y Skibsted, 2012). Los bajos potenciales redox de estos antioxidantes hacen

termodinámicamente favorable la reducción de la gran mayoría de radicales libres y algunos metales (Makarov *et al.*, 2014).

Pertenecen al grupo de los polifenoles o compuestos polifenólicos los compuestos cuya estructura posee al menos un anillo aromático sustituido con uno o más grupos hidroxilo, y se encuentran principalmente en la naturaleza en biomasa como frutas vegetales, semillas y productos derivados. La figura 1 muestra su estructura química.

**Figura 1.** Estructura química de los polifenoles



Fuente: Naczk y Shahidi (2006)

Desde la estructura más simple hasta largas cadenas de anillos aromáticos, los polifenoles constituyen un amplio grupo de fitoquímicos con diversas propiedades y funciones implicadas en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunos de estos compuestos aportan pigmentación y otros son antioxidantes que intervienen en la protección de los tejidos, ya sea frente a la radiación ultravioleta (UV) como a determinados patógenos, o frente al envejecimiento celular (Ignat, Volf y Popa, 2011).

Sin duda la síntesis de nanopartículas metálicas es una evidencia del poder reductor de los extractos vegetales, el cual, cabe subrayar, dependerá de los componentes que la planta contenga. La formación de las nanopartículas metálicas se lleva a cabo por un mecanismo que parte de la reducción inicial de iones metálicos que induce a la formación de centros de nucleación. Estos centros secuestran iones metálicos adicionales y también incorporan lugares vecinos de nucleación que, a veces, conducen a la formación de nanopartículas (García, 2001).

Tomando en cuenta la gran diversidad de vegetales que existen, así como su disponibilidad, y que no solo disminuirían los costos de los procedimientos químicos, sino que también sería un procedimiento más amigable con el entorno, sin olvidar el aporte de la investigación en la química, el objetivo de este trabajo fue estudiar los extractos vegetales del diente de león (*Taraxacum officianale*), del perejil (*Petroselinum crispum*) y la hierbabuena (*Mentha piperita, sativa, spicata*) como antioxidantes naturales y determinar su poder reductor frente a iones plata; todo ello como

una alternativa a los procesos tóxicos de recuperación de metales. La elección de estos extractos viene motivada por su alta disponibilidad y su bajo costo. En suma, no solo evita utilizar agentes reductores químicos en muchos casos caros y tóxicos, sino que también resulta en un método más económico y ecológico.

Al respecto, se comprobó su poder reductor a través de la formación de nanopartículas de plata mediante el uso de espectros UV-Vis: se identificó su presencia por la aparición de plasmones de superficie localizados, característicos de nanopartículas metálicas cuya naturaleza cuántica es una consecuencia directa del pequeño tamaño de las nanopartículas, y de que la mayoría de sus átomos están en la superficie (Cruz *et al.*, 2012). Por otra parte, se comprobó su poder reductor con la reducción de la plata iónica a plata metálica a través de la reacción del compuesto de coordinación diaminplata(I) con los extractos vegetales, gracias a lo cual se logró recuperar la plata en forma de sólido, limpia y brillante con buenos rendimientos.

La tabla 1 muestra los vegetales utilizados en este trabajo.

**Tabla 1.** Vegetales utilizados

<b>Vegetal</b>	<b>Nombre científico</b>
Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>
Hierbabuena	<i>Mentha piperita</i>
Diente de león	<i>Taraxacum officianale</i>

Fuente: Elaboración propia

### **Perejil (*Petroselinum*)**

Botánicamente, el perejil es una planta de 30-80 cm de altura, con un tallo erecto, hojas rizadas y espesas, con raíces primarias largas, cónicas, blancas u ocre. Es una hierba aromática perteneciente a la familia *Apiaceae* o umbelíferas. Presenta diferentes e importantes componentes químicos, tales como flavonoides, apiol, fitol, aceites esenciales, cumarinas y ácido petroselinico, entre otros (Fonnegra y Jiménez, 2007).

### **Diente de león (*Taraxacum officianale*)**

Las hojas de diente de león están constituidas por flavonoides y cumarinas; los primeros poseen características de anticancerígenos que disminuyen los niveles de colesterol, además de presentar propiedades antioxidantes. Es una planta que está constituida, además, por taninos, los

cuales presentan propiedades antioxidantes, al igual que poseen alcaloides y saponinas. Tienen un sabor amargo debido a principios de tipo eudesmano, los cuales forman parte de su constitución (Gimeno, 2000).

### Hierbabuena (*Mentha piperita*)

Las hojas de hierbabuena son de tipo elíptico-lanceoladas, largamente pecioladas y con el margen dentado o aserrado, vellosas por ambos lados, de color muy verde intenso. El olor agradable se debe al mentol, un componente de sus aceites esenciales. La hoja ha sido ampliamente estudiada y contiene, entre otros componentes, aceite esencial (mentol, mentona, cineol) y flavonoides (diosmina, eriocitrina, hesperidina, narirutina, luteolina, rutinósido, entre otros) que le dan su olor tan característico y le confieren, además, sus propiedades farmacológicas (Guedon y Pasquier, 1994).

La figura 2 muestra la imagen de los tres vegetales estudiados.

**Figura 2.** Imagen de vegetales estudiados



a) Diente de león  
(*Taraxacum officinale*)



b) Perejil  
(*Petroselinum crispum*)



c) Hierbabuena  
(*Mentha piperita*)

Fuente: Elaboración propia

### Plata

El metal noble elegido para comprobar el poder antioxidante de los vegetales fue la plata —con un potencial estándar de reducción de 0.7966 Eo/V—; metal brillante, resistente, dúctil y maleable. De todos los metales, tiene el color blanco óptico reflectivamente más alto y la conductividad térmica y eléctrica más altas. Desde el punto de vista químico, es uno de los metales pesados y nobles; desde el punto de vista comercial, es un metal precioso (Brown, 2004).

Es un recurso natural cuya demanda actual es mayor que su producción: la industria fotográfica es la mayor consumidora de la plata en el mundo debido a que es única en su habilidad

para reaccionar con la luz y producir imágenes en aplicaciones, tales como la fotografía, y en la elaboración de las placas radiográficas (Cabrero, 2004). Este producto es el insumo más importante del servicio de rayos X de cualquier hospital o clínica del mundo; desafortunadamente, una vez que las placas radiográficas han cumplido su función, terminan por ser desechadas completamente y puede afirmarse que la plata contenida en las radiografías va a parar a ríos y mares; plata que se enjuaga de las películas radiográficas y una vez que se diluye es muy difícil recuperarla. Actualmente, se cuenta con métodos para recuperar plata de los residuos generados por el sector fotográfico. Los más comunes reportados en la literatura son los métodos químicos que incluyen reemplazo o sustitución metálica, electrólisis, intercambio iónico y precipitación. Estas técnicas están usualmente relacionadas con un alto costo inicial en cuanto al equipamiento, operación y purificación de los productos finales.

El uso de extractos vegetales es una opción para su recuperación, ya que contienen en su estructura poderosos antioxidantes como los compuestos polifenólicos y los flavonoides, capaces de reducir la plata iónica a plata metálica. La efectividad del método radica en que el agente reductor tenga un menor potencial estándar que la plata para poder reducir sus iones metálicos de potencial estándar mayor. Ocurren dos procesos electroquímicos espontáneos de donación y aceptación de electrones, la aceptación y la donación son producto de la transferencia de electrones (Skoog, West, Holler y Crouch, 2005).

## Materiales y métodos

Los reactivos utilizados, a saber,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{AgCl}$  y  $\text{NH}_4\text{OH}$ , fueron del proveedor Sigma-Aldrich. Se utilizó agua desionizada en todas las pruebas. Las plantas de diente de león (*Taraxacum officianale*), perejil (*Petroselinum crispum*) y hierbabuena (*Mentha piperita*) utilizadas en este experimento fueron adquiridas en el mercado del municipio de San Pedro Cholula, Puebla.

Todo el material de vidrio se lavó con agua corriente y posteriormente con agua desionizada.

## Preparación de los extractos

La preparación de los extractos de cada una de las plantas, a saber, diente de león (*Taraxacum officianale*), perejil (*Petroselinum crispum*) y hierbabuena (*Mentha piperita*), se llevó a cabo mediante un proceso de extracción sólido-líquido en las mismas condiciones de temperatura, tiempo de contacto y proporción de biomasa-disolvente. Como disolvente se empleó agua a razón



de su elevada capacidad de extracción de polifenoles y de que no presenta toxicidad alguna (Naczk y Shahidi, 2006). Los extractos vegetales fueron preparados utilizando 1.0 g de cada uno de ellos (diente de león, perejil y hierbabuena) en 100 ml de agua destilada en ebullición hasta obtener un volumen de 70 ml. Esta infusión se filtró con papel Whatman 5 y se dejó enfriar. La figura 3 muestra las imágenes de los extractos vegetales obtenidos.

**Figura 3.** Extractos vegetales



a) Diente de león  
(Taraxacum officinale)



b) Perejil  
(Petroselinum crispum)



c) Hierbabuena  
(Mentha piperita)

Fuente: Elaboración propia

### Identificación de polifenoles

La identificación de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos se llevó a cabo a través de los ensayos cualitativos de Shinoda para flavonoides (una coloración rosada, roja, violeta o naranja indican una prueba positiva positiva), del ensayo de la gelatina-sal para taninos (precipitado verde, azul o negro indican que la prueba es positiva) y del ensayo del  $\text{FeCl}_3$  para compuestos fenólicos (a partir de un color verde, azul o negro la prueba se considera positiva) (Bravo y Acuña, 2015).

#### Ensayo para flavonoides: ensayo de Shinoda

A 1 ml de solución en un tubo de ensayo limpio se adicionaron limaduras de magnesio mientras se sujetaba el tubo con una pinza. Se añadió cuidadosamente, por la pared del tubo, HCl concentrado (pureza de 37 %) hasta el final del desprendimiento de gases.

Una coloración rosada, roja, violeta o naranja indican una prueba positiva para flavonoides.

### **Ensayo para compuestos fenólicos: ensayo del FeCl<sub>3</sub>**

A 1 ml de solución en un tubo de ensayo limpio se añadió una gota de FeCl<sub>3</sub> a 1 % acuoso o alcohólico y se mezcló.

La aparición de coloración verde, azul u oscura se considera prueba positiva.

### **Ensayo para taninos: ensayo de la gelatina-sal**

A 1 ml de solución en un tubo de ensayo limpio se añadió 1 ml del reactivo de gelatina-sal. La formación de precipitado se considera una prueba probablemente positiva.

Decantar el sobrenadante y añadir tres gotas de FeCl<sub>3</sub>: si hay precipitado verde, azul o negro la prueba se considera positiva.

## **Pruebas de la efectividad de los extractos vegetales como reductores frente a la plata**

Para determinar el poder reductor de los extractos se procedió por los siguientes dos caminos.

### **Formación de nanopartículas**

Se prepararon soluciones acuosas de AgNO<sub>3</sub> de concentración 10<sup>-3</sup> M. A estas soluciones se les agregó un volumen definido de los extractos (1-4 mL) y se aforaron con agua desionizada a un volumen de 10 ml. En el momento en que se agregaron los extractos vegetales, tomaron un color amarillo característico de la formación de nanopartículas de plata. Los espectros UV-Vis de las tres disoluciones coloidales obtenidas de la reducción de la plata con los extractos vegetales se realizaron con un espectrofotómetro de doble haz en un intervalo de longitudes de onda entre 350 y 700 nm usando cubetas de cuarzo de 1 cm de camino óptico.

### **Reducción de la plata iónica a plata metálica**

La reducción de la plata iónica a plata metálica se llevó a partir del cloruro de plata obtenido de la reacción de una disolución de nitrato de plata que se hace reaccionar con NH<sub>4</sub>Cl. A 1.7 g de cloruro de plata se hizo reaccionar con 30 ml de hidróxido de amonio a 30 %, con la finalidad de preparar el compuesto de coordinación diaminplata(I).

La reducción de la plata iónica a plata metálica se llevó a cabo a partir del compuesto de coordinación diaminplata(I). La adición de los extractos a este compuesto de coordinación propició la precipitación de la plata en forma de metal.

## Resultados y discusión

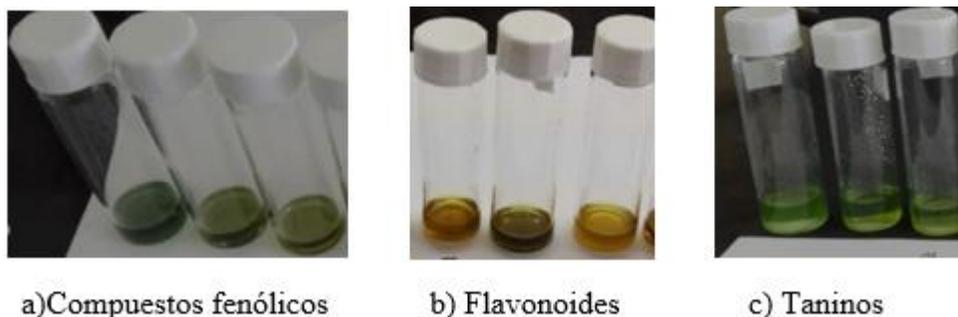
La identificación de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos que se llevó a cabo a través de los ensayos cualitativos fue positiva para los tres extractos vegetales; mostraron coloraciones y la presencia de precipitados debido a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos.

Para la identificación de fenoles se utilizó el ensayo de  $\text{FeCl}_3$ . La figura 4 muestra la fotografía de la identificación de ácidos fenólicos contenidos en los extractos, en donde se aprecia un color verde amarillento característico de su presencia (Ignat, 2011).

En la identificación de la presencia de flavonoides se utilizó la prueba-ensayo de Shinoda, prueba que se considera positiva para flavonoides si presenta una coloración rosada, roja, violeta o naranja. Como se puede apreciar en la figura 4, los extractos vegetales utilizados presentan color naranja.

Para la identificación cualitativa de los taninos presentes en los extractos se recurrió al ensayo de la gelatina-sal, prueba que se considera positiva para taninos si se forma un precipitado. En el caso de los extractos utilizados en este trabajo, la prueba fue positiva en todos los casos; el precipitado prueba la presencia de taninos. En la figura 4 se aprecia el precipitado formado (Miranda, 2012).

**Figura 4.** Pruebas químicas cualitativas de la presencia de polifenoles



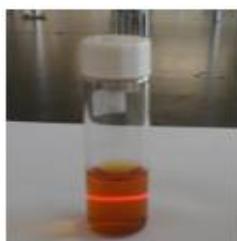
Fuente: Elaboración propia

## Reducción de la plata con los extractos vegetales

### Formación de nanopartículas

La adición de los extractos vegetales a la disolución de nitrato de plata 0.001 M dio como resultado disoluciones color amarillento con propiedades coloidales características de nanopartículas de plata. La figura 5 muestra las coloraciones de cada una de ellas.

**Figura 5.** Disoluciones de nanopartículas obtenidas con los extractos



a) Diente de león  
(*Taraxacum officinale*)



b) Perejil  
(*Petroselinum crispum*)



c) Hierbabuena  
(*Menta piperita*)

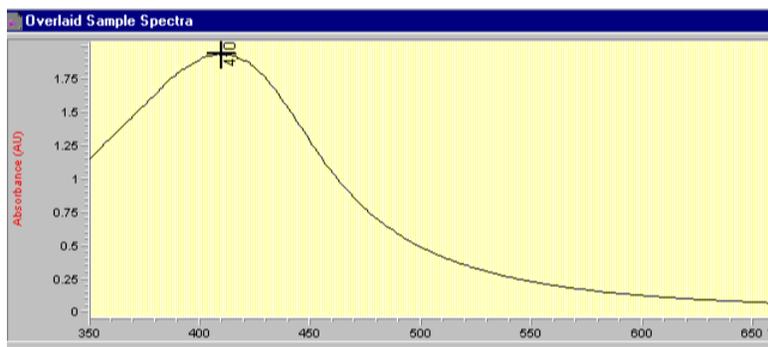
Fuente: Elaboración propia

Estas soluciones se analizaron por espectroscopia UV-Vis durante seis horas: desde del momento en que se agregó el volumen definido hasta su estabilización. Los espectros obtenidos muestran en los tres casos la aparición de la banda del plasmón —característico de las nanopartículas metálicas de plata— como resultado de la reducción de la plata originada por la presencia de los extractos que realizan el papel de agentes reductores.

Entre las fascinantes propiedades de las nanopartículas metálicas se destaca la aparición de plasmones de superficie localizados, característicos, cuya naturaleza cuántica es una consecuencia directa del pequeño tamaño de las nanopartículas metálicas, del desarrollo de nanocarapas cristalinas bien definidas y de que la mayoría de sus átomos están en la superficie, es decir, que la proporción de átomos en la superficie respecto al volumen es muy superior a la del seno del metal (Cruz *et al.*, 2012).

La figura 6 muestra el espectro UV-Vis realizado con la solución coloidal, obtenida con el extracto de hierbabuena. Se observa una banda de plasmón con un máximo de absorbancia a 410 nm, con una amplitud entre los 350-450 nm, lo que confirma la obtención de las nanopartículas de plata y el poder reductor del extracto de hierbabuena (Monge, 2009).

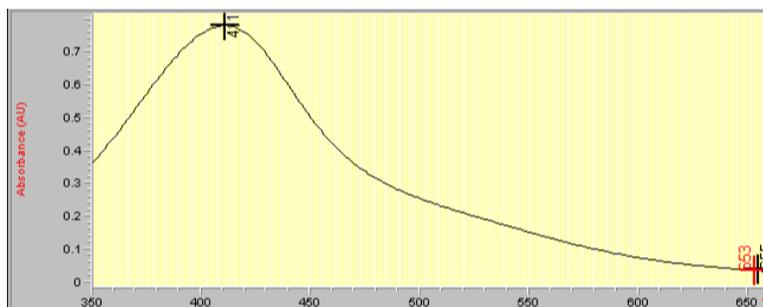
**Figura 6.** UV-Vis realizado con la solución obtenida con el extracto de hierbabuena y los iones plata.



Fuente: Elaboración propia

Y la figura 7, por su parte, muestra el espectro UV-Vis realizado con la solución obtenida con el extracto de diente de león y la solución acuosa 0.001 M de nitrato de plata. Se muestra una banda a 424 nm, lo que también confirma la obtención de las nanopartículas de plata y el poder reductor del extracto de diente de león (Monge, 2009).

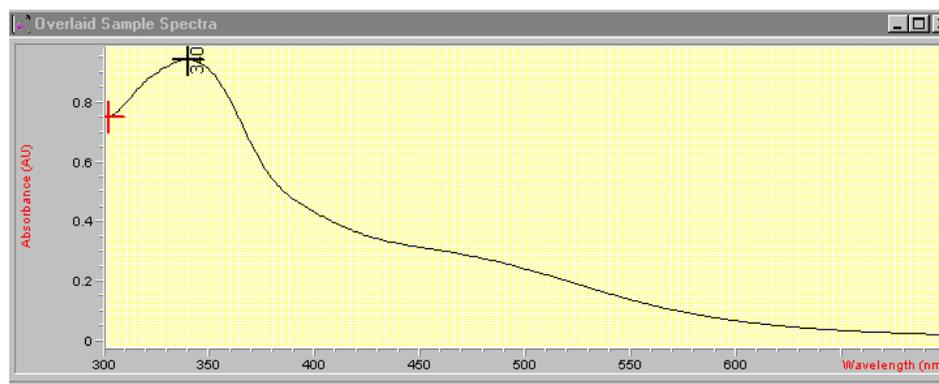
**Figura 7.** UV-Vis de las nanopartículas de plata obtenidas con el extracto de hoja de diente de león



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la figura 8 muestra el espectro UV-Vis de la reacción del nitrato de plata(I) y extracto de perejil. Se observa una banda a una longitud de onda de 340 nm; banda que se encuentra dentro del rango del tamaño de nanopartículas metálicas.

**Figura 8.** UV-Vis de la reacción del nitrato de plata (I) y extracto de perejil



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se resumen las longitudes de onda en la que aparece la banda de absorbancia al hacer reaccionar las sales metálicas con los diferentes extractos estudiados en este trabajo.

**Tabla 2.** Longitudes de onda observadas en los espectros de UV-vis

Sales metálicas + Extracto	Longitud de onda (nm)
AgNO <sub>3</sub> + Hierbabuena ( <i>Mentha piperita</i> )	410
AgNO <sub>3</sub> + Diente de león ( <i>Taraxacum officianale</i> )	411
AgNO <sub>3</sub> + Perejil ( <i>Petroselinum crispum</i> )	340

Fuente: Elaboración propia

Es evidente que los tres extractos vegetales utilizados mostraron evidencias de su poder reductor, los espectros de UV-Vis revelan la formación del plasmón en el rango de 340 nm y 410 nm, característico de la formación de nanopartículas de plata.

### Reducción de la plata iónica a plata metálica

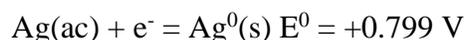
La reducción de la plata iónica a plata metálica por la adición de los extractos vegetales partió de la formación del cloruro de plata a partir de una disolución de nitrato de plata con cloruro de amonio. La ecuación 1 muestra la reacción química.



El cloruro de plata obtenido fue utilizado para la obtención del compuesto de coordinación diaminplata (I), tal y como se muestra en la ecuación 2.

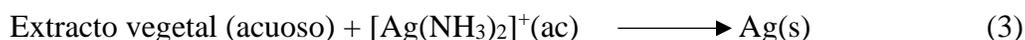


La plata es un metal es un metal muy electropositivo (+0.799 V), y es desplazada de la solución por prácticamente todos los metales (Bard y Faulkner, 2001), lo que hace que se deposite con gran velocidad en forma de polvo negro sin ninguna adherencia, de acuerdo con la siguiente reacción:



La única manera de evitar este inconveniente es desplazando el potencial hacia valores más electronegativos; por ejemplo, mediante la disminución de la concentración de los iones de  $\text{Ag}^+$  en la solución. En la práctica esto se logra utilizando sales complejas, como el diaminplata.

El  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  es un oxidante muy débil con un potencial de oxidación (0.376 V) que reacciona con los componentes de los extractos vegetales en solución acuosa. Sin duda esto dio origen a que los iones de plata ganaran electrones. Así, pues, la plata metálica se depositó en el fondo del recipiente como resultado de la reducción de la plata de  $\text{Ag}^{1+}$  a  $\text{Ag}^0(s)$ . La adición de los extractos vegetales acuosos al diaminplata(I) logró reducir la plata iónica a plata metálica. Ecuación 3



La plata en forma metálica se precipitó al fondo del recipiente, se filtró, se lavó 4 veces con 5 ml de agua y finalmente fue pesada. Esta operación se llevó a cabo con cada uno de los extractos: hierbabuena, diente de león y perejil. La figura 9 muestra la plata precipitada en el fondo del recipiente, así como la plata obtenida en el papel de filtro. Para el caso del uso del extracto de hierbabuena, se obtiene una plata limpia con aspecto brillante.

**Figura 9.** Plata en el fondo del recipiente y en el papel de filtro



Fuente: Elaboración propia

La plata precipitada se obtiene en forma de hojuelas y polvo muy fino con los tres extractos vegetales. Fue necesario lavar varias veces debido a que quedaban residuos de los extractos utilizados, muy probablemente subproductos que se formaron en el transcurso de la reacción. La figura 10 muestra la apariencia de la plata recuperada con cada uno de los extractos acuosos.

**Figura 10.** Plata metálica obtenida con los extractos de perejil, diente de león y hierbabuena



a) Perejil      b) Diente de león      c) Hierbabuena

Fuente: Elaboración propia

La plata obtenida a partir de 1.5 g AgCl y mediante el uso de los extractos vegetales fue pesada para cada uno de los casos. La plata recuperada con el extracto de perejil fue de 0.8816 g; la de hierbabuena fue de 1.0238 g, y para el diente de león fue de 0.9623 g. Los resultados revelan que el extracto acuoso de la hierbabuena mostró mayor capacidad para reducir la plata iónica a plata metálica.

En la tabla 3 se presentan una vez más las cantidades de plata obtenidas en cada una de las muestras utilizadas.

**Tabla 3.** Cantidad de plata recuperada de 1.5 g de AgCl.

<b>Extractos acuosos</b>	<b>Plata recuperada (g)</b>
Perejil ( <i>Petroselinum crispum</i> )	0.8816
Hierbabuena ( <i>Mentha piperita</i> )	1.0238
Diente de león ( <i>Taraxacum officianale</i> )	0.9623

Fuente. Elaboración propia

## Conclusiones

Las pruebas cualitativas de la presencia de flavonoides, ácidos fenólicos y taninos en los tres extractos resultaron positivas.

Se comprobó el poder reductor de los extractos vegetales de las plantas de diente de león (*Taraxacum officianale*), perejil (*Petroselinum crispum*) y hierbabuena (*Mentha piperita, sativa, spicata*) frente a los iones plata; actúan como antioxidantes naturales, como una alternativa en la recuperación de metales.

Los espectros de UV-Vis ponen en evidencia el poder reductor de los extractos vegetales de diente de león, perejil y hierbabuena.

El plasmón superficial que aparece entre 400 nm y 600 nm es evidencia de la formación de nanopartículas metálicas a causa de la ganancia de electrones.

Se pone de manifiesto que, al sintetizar nanopartículas metálicas a partir de este método, es posible reducir los costos de manufactura y el impacto negativo al medio ambiente debido a que el agente reductor usado es de carácter natural.

De la reacción del diaminplata(I) con los tres extractos se logró reducir a la plata y obtenerla en forma de hojuelas metálicas.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que es viable utilizar extractos vegetales para la reducción de metales y de esta forma recuperar metales en forma metálica.

Es importante realizar más estudios a las nanopartículas obtenidas, con otras espectroscopias que nos ayuden corroborar la reducción de los metales con los extractos vegetales.

Por último, se considera que la reducción de metales con extractos vegetales es una alternativa viable para recuperar metales y disminuir en el proceso la contaminación.

## Referencias

- Bravo, A. y Acuña, D. (2015). Evaluación fitoquímica y determinación de flavonoides en hojas de *Ficus benjamina* L. *Xilema*, 28, 61-67
- Brown, L. B. (2004). *Química. La ciencia central* (9.<sup>a</sup> ed.). México: Prentice Hall.
- Bard, A. J. and Faulkner, L. R. (2001). *Electrochemical methods: fundamental and applications* (2<sup>nd</sup> ed.). New York, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Cruz, D. A., Rodríguez, M., López, J., Herrera, V., Orive, A. y Creus, A. (2012). Nanopartículas metálicas y plasmones de superficie: una relación profunda. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 67-78.
- Cabrero, F. J. (2004). *Imagen radiológica: principios físicos e instrumentación* (1.<sup>a</sup> ed). Barcelona, España: Masson.
- Fonnegra, G. R y Jiménez, R. S. L. (2007). *Plantas medicinales aprobadas en Colombia* (2.<sup>a</sup> ed). Colombia: Universidad de Antioquía.
- García, L., García, L. V., Rojo, D. M. y Sánchez, E. (2001). Plantas con propiedades antioxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 20(3), 231-235. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03002001000300011&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002001000300011&lng=es&tlng=es).
- Guedon, D. J. and Pasquier, B. P. (1994). Analysis and distribution of flavonoid glycosides and rosmarinic acid in 40 *Mentha x piperita* Clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(3), 679-684.
- Han, R. M., Zhang, J. P. and Skibsted, L. H. (2012). Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. *Molecules*, 17(2), 2140-2160.
- Gimeno, G. J. (2000). Diente de León. *Taraxacum officinale* Wever. *Medicina naturista*, (1), 20-23.
- Ignat, I., Volf, I. and Popa V. I. (2011). A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821-1835. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610016353>.
- Monge, M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y 663 propiedades bactericidas. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, (1), 33-41.
- Makarov, V. V, Makarova, S. S., Love, A. J, Sinitsyna, O., Dudnik, A. O., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. E. and Kalinina, N. O. (2014). Biosynthesis of Stable Iron Oxide Nanoparticles in Aqueous Extracts of *Hordeum vulgare* and *Rumex acetosa* Plants. *Langmuir*, 30, 5982-5988.

- Miranda, M. y Cuellar, A. (2012). *Farmacognosia y productos naturales*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.
- Nava, R. C. y Méndez, A. M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias (México)*, 16(3),140-147.
- Naczki, M. and Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, (41), 1523-1542.
- Skoog, A. D., West, M. D., Holler, F. J. y Crouch, S. R. (2005). *Fundamentos de química analítica* (8.<sup>a</sup> ed). México: Thomson.

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	LIDIA MELENDEZ BALBUENA
Metodología	LIDIA MELÉNDEZ BALBUENA 80% ISMAEL SOTO LÓPEZ 20%
Software	NO APLICA
Validación	BLANCA MARTHA CABRERA VIVAS
Análisis Formal	JUAN CARLOS RAMIREZ GARCÍA
Investigación	LIDIA MELÉNDEZ BALBUENA
Recursos	ALEJANDRA CASTRO LINO
Curación de datos	NO APLICA
Escritura - Preparación del borrador original	LIDIA MELÉNDEZ BALBUENA
Escritura - Revisión y edición	LIDIA MELÉNDEZ BALBUENA 40% BLANCA MARTHA CABRERA VIVAS 30% JUAN CARLOS RAMÍREZ GARCÍA 30%
Visualización	ISMAEL SOTO LÓPEZ
Supervisión	LIDIA MELÉNDEZ BALBUENA
Administración de Proyectos	ALEJANDRA CASTRO LINO 50% ISMAEL SOTO LÓPEZ 50%
Adquisición de fondos	ALEJANDRA CASTRO LINO

