



**BENÉMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIATURA EN QUÍMICA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DIVERSOS EXTRACTOS VEGETALES
CON PROPIEDADES ANTIOXIDANTES EN LA RECUPERACIÓN DE PLATA
CONTENIDA EN PLACAS RADIOGRÁFICAS**

PRESENTA

LAURA ERIKA SOSA MUÑOZ

Directora de tesis

M.C Lidia Meléndez Balbuena

Asesor

Dr. Esteban Sánchez Muñoz

Abril 2024

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos particulares	7
CAPITULO 1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.1 Propiedades de la plata.....	8
1.2. Composición de una placa radiográfica.....	9
1.2.1 Emulsión fotográfica.....	11
a) Haluros de plata	11
b) Gelatina	12
1.3 Métodos químicos utilizados en la recuperación de la plata de la placa radiográfica.....	12
1.3.1 Sustancias orgánicas como agentes reductores.....	12
a) Reducción de la plata con aldehídos.....	12
b) Reducción de plata con glucosa.....	13
c) Reducción de la plata con hidroquinona.....	13
1.3.2 Reducción de la plata por sustitución metálica.....	14
1.4 Métodos biológicos	16
1.5. Extractos vegetales.....	21
CAPITULO 2. PARTE EXPERIMENTAL	31
2.1. Determinación de compuestos fenólicos a través del método conocido como ensayo de Folin-Ciocalteu.	32
2.1.1 Diseño de la curva de calibración	33
2.1.2 Determinación de la identificación de polifenoles en los extractos vegetales.....	34
2.2 Determinación de metabolitos secundarios en los extractos vegetales.....	35
a) Preparación de las muestras.	35
b) Obtención y análisis de la fracción A.	36
c) Reactivo: gelatina-sal.	36
d) Ensayo para compuestos fenólicos: ensayo del FeCl_3	36
e) Ensayo para Flavonoides: ensayo de Shinoda.	36
f) Ensayo para taninos: ensayo de la gelatina-sal	36
2.3 Elaboración de extractos acuosos y alcohólicos empleados en la recuperación de la plata.....	37
2.4 Procedimiento para la recuperación de la plata metálica contenida en las placas	

radiográficas.....	37
a) Tratamiento de las placas radiográficas con ácido nítrico.....	38
b) Síntesis del cloruro de plata AgCl.	38
c) Preparación de diaminplata(I)	38
d) Reducción de la plata iónica a plata metálica.	38
CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1. Curva de calibración en la identificación de polifenoles	39
3.2. Pruebas fitoquímicas de los extractos vegetales.	43
a) Compuestos fenólicos.....	43
b) Ensayo de flavonoides	45
c) Ensayo para taninos: “Ensayo de la gelatina-sal”,	47
3.3. Tratamiento químico de las placas radiográficas	48
3.3.1. Obtención del nitrato de plata en disolución AgNO ₃	49
3.3.2. Síntesis del cloruro de plata AgCl	50
3.3.3. Síntesis del compuesto diammin plata.....	51
3.4.1. Recuperación de la plata con los extractos acuosos.....	53
3.4.2. Recuperación de la plata con los extractos alcohólicos.	60
CONCLUSIONES.....	70
REFERENCIAS	71

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presentan los resultados obtenidos relacionados con la recuperación de plata contenida en placas radiográficas utilizando extractos vegetales como agentes reductores. El trabajo surge del interés de explorar métodos menos contaminantes con el ambiente como los métodos biológicos. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento de diversos extractos vegetales con propiedades antioxidantes en la recuperación de plata contenida en placas radiográficas. Se hizo uso de vegetales procedentes de la región de Puebla: Moringa, cascará de limón, hojas de rosa, diente de león, cascará de plátano, hojas de eucalipto y cáscara de toronja. Se realizó un análisis previo a los extractos para determinar la presencia de polifenoles a través de la prueba de ensayo de Folin-Ciocalteu, así como también se determinó en cada uno de ellos la presencia de ácidos fenólicos, taninos y flavonoides. Se llevó a cabo el tratamiento químico de las placas radiográficas las cuales contienen plata en forma de halogenuro, hasta formar el cloruro de diaminplata el cual fue tratado con cada uno de los extractos vegetales preparados utilizando como solventes agua y etanol.

Con todos los extractos vegetales se logró recuperar la plata metálica, en algunos casos con mejor rendimiento que en otros, esto es debido a que la composición química de ellos es diferente. Con lo que se comprobó el comportamiento antioxidante de los vegetales elegidos logrando reducir la plata iónica Ag^+ a plata metálica Ag^0 .

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una preocupación creciente en lo que respecta a los problemas relacionados con el ambiente, problemas que son causados por la actividad humana y en cómo estos problemas pueden afectar a nuestra salud, entre los residuos contaminantes se encuentran los de la industria radiográfica_cuyos desechos contienen sales de plata, provenientes de las películas radiográficas utilizadas en todos los hospitales del mundo, estas son desechadas en la basura e impactan en la contaminación de los ríos. La plata es un recurso natural cuya demanda actual es mayor que su producción, siendo la industria radiográfica y fotográfica las mayores usuarias de la plata en el mundo, debido a que es única en su habilidad para reaccionar con la luz y producir imágenes. (Cabrero, 2004). Una vez que las placas radiográficas han cumplido su función, son desechadas por completo y puede asegurarse que la plata que contienen las placas radiográficas debido a las condiciones del ambiente va a parar a los ríos y mares, la plata que se desprende de las películas radiográficas una vez que se diluye en el agua es muy difícil recuperarla, por lo que debemos hacer todo el esfuerzo para recuperarla y reutilizar tan valioso recurso natural que existe en una cantidad limitada en el planeta, Shayne McGuire en su libro titulado *The Silver Bull Market Investing in the Other Gold*, menciona la importancia de la plata resaltando que en poco tiempo será el otro oro en los mercados financieros (Shayne, 2013).

Es importante resaltar que existen múltiples beneficios de recuperar la plata de las placas radiográficas ya que es un metal precioso y se considerada altamente rentable para su comercialización, es decir, el beneficio económico es evidente sustentado en el mercado actual de metales preciosos que considera a este metal como un componente de alta rentabilidad debido a los usos tecnológicos que actualmente ofrece (Barba, Forbes, 2017).

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 (Fabregas et al., 2002). Estas técnicas están usualmente relacionadas con un alto costo inicial en cuanto al equipamiento, operación y purificación de los productos finales.

Debido a este problema existe el interés de explorar métodos menos contaminantes con el ambiente como los métodos biológicos ya que estos métodos son ampliamente utilizados con éxito en la

reducción de sustancias como radicales libres y iones metálicos, siendo utilizados extractos vegetales con gran éxito en la síntesis de nanopartículas de plata y otros metales como el oro y el cobre. (Mitta, 2013).

En este trabajo se presentan los resultados del análisis del comportamiento de diversos extractos vegetales con propiedades antioxidantes que actúan como agentes reductores de la plata iónica y contribuyen en la recuperación de la plata metálica contenida en las placas radiográficas en forma de haluros. Los vegetales contienen sustancias antioxidantes, entre los que se encuentran los *compuestos polifenólicos* (Marakarov, 2014), ellos poseen bajos potenciales redox lo que favorece termodinámicamente la reducción de algunos metales con potenciales de reducción elevados como la plata (Han, 2014).

Se hizo uso de vegetales procedentes del estado de Puebla en México: *hojas de moringa, cascará de limón, cascará de toronja, hojas de rosa, diente de león, cascará de plátano, hojas de eucalipto, jengibre y pipicha*. La elección de estos de vegetales se debe a su fácil disponibilidad en los mercados, así como su bajo costo lo cual evita utilizar agentes reductores que son tóxicos y contaminan el ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar el estudio y análisis del comportamiento antioxidante de diversos extractos vegetales y su aplicación en la recuperación de la plata metálica contenida en las placas radiográficas

Objetivos particulares

- Determinar la cantidad de compuestos fenólicos presentes en los extractos vegetales aplicando el método de Folin-Ciocalteu.
- Identificar a través de análisis cualitativos el contenido de compuestos polifenólicos como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos en los extractos de vegetales.
- Analizar el comportamiento antioxidante de los extractos vegetales acuosos y etanólicos de las plantas: *Moringa*, *Cascara de limón*, *Hojas de rosa*, *Hierbabuena*, *Diente de león*, *Cascara de plátano* y *Hojas de eucalipto*.
- Recuperar y cuantificar la plata contenida en las placas radiográficas utilizando el método de reducción química con los extractos vegetales.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Propiedades de la plata

La plata con símbolo “Ag” ha sido un metal multifacético a lo largo del desarrollo humano, este metal es conocido desde la antigüedad, por ello es de suma importancia desde ese entonces hasta la actualidad. Su nombre proviene de una evolución del adjetivo en latín “plattus”, que significa “ancho, aplantado y más adelante “lámina metálica”. La plata, como el resto de los metales existentes se utilizó para la elaboración de armas de guerra y posteriormente en la manufactura de utensilios y ornamentos, gracias a que es un metal que no se oxida con el medio ambiente y una belleza natural, este es uno de los primeros metales que se utilizó como medio de intercambio. (Mercado, 1982)

La plata natural es un metal brillante, resistente, dúctil y maleable. De todos los metales existentes tiene el color blanco óptico reflectivamente más alto y la conductividad eléctrica y térmica más altas. Por el lado químico, es uno de los metales pesados y nobles; desde el punto de vista comercial es un metal precioso (Brown, 1998).

La plata es un metal de transición con un potencial de reducción de $\text{Ag}^{1+}/\text{Ag}^0$ $+0.8 \text{ E}^0/\text{V}$, ha sido empleada durante miles de años como metal precioso por el ser humano en aplicaciones tan dispares como joyería, utensilios, en la fabricación de monedas y medallas, fotografía o explosivos, aplicaciones industriales incluyendo los componentes eléctricos y electrónicos, también se ha usado en pequeñas cantidades en vendas y productos farmacéuticos para el cuidado de heridas e infecciones gracias a que tiene un gran poder bactericida. En la figura 1.1 se muestra como ejemplo la aplicación de la plata en la joyería.



Figura 1.1. Aplicación de la plata en la joyería.

Desde la antigüedad se empleaban vasijas de plata para almacenar agua o vino ya que se consideraba que preservaba sus condiciones. También Hipócrates, padre de la medicina moderna, describió el empleo de polvo de plata para su aplicación en la curación de heridas y en el tratamiento de úlceras. Posteriormente se han empleado sales y compuestos de plata en diferentes campos biomédicos, especialmente en el tratamiento de quemaduras (Klasen, 2000).

La plata es un metal escaso en la naturaleza, ya que representa una diezmillonésima parte de la corteza terrestre. Se puede encontrar en su estado natural, aunque la mayor parte de sus veces se encuentra en minerales que contienen compuestos de plata como haluros de plata, siendo sulfuros y sulfosales su forma principal (Brown, 1998).

Es un recurso natural cuya demanda actual es mayor que su producción, siendo la industria fotográfica la mayor usuaria 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).

1.2. Composición de una placa radiográfica

Las radiografías o películas radiográficas son imágenes que se utilizan para ver el interior de cuerpo humano, por ejemplo, huesos, órganos, tejidos. En la figura 1.2 se muestra la radiografía de una mano con fractura de un dedo.



Figura 1.2 Radiografía de una mano en donde se aprecia la fractura de un dedo.

Las radiografías o películas radiográficas se encuentran constituidas principalmente por dos partes:

- *La emulsión fotosensible*
- *La base o soporte*

La emulsión fotosensible es el elemento sensible a la luz, como a la radiación ionizante y se encuentra adherida a la base o soporte por una fina lamina adhesiva. Esta emulsión consta de dos componentes básicos que son: los *cristales de haluros de plata* y la *gelatina* en la que estos se encuentran dispersos y distribuidos uniformemente.

La base o soporte está constituida de un material rígido sobre el cual se coloca la emulsión. (González, 1996)

En la figura 1.3 se muestran las partes que constituyen la placa radiográfica.

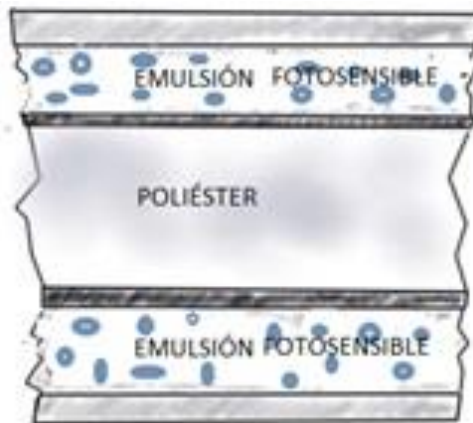


Figura 1.3 imagen de las partes que constituyen una placa radiográfica

1.2.1 Emulsión fotográfica

a) Haluros de plata

Como se mencionó anteriormente la emulsión contenida en las placas radiográficas se encuentra la presencia de haluros de plata. Los haluros o halogenuros de plata son compuestos químicos que se encuentran en forma de sal que son producidos por la combinación de halógenos (cloro, yodo y bromo) y plata. Estas sales de plata al contacto con la luz sufren transformaciones químicas que se observan en la imagen de una placa radiográfica. Los haluros de plata más utilizados en la fabricación de las placas radiográficas son: el cloruro de plata, el bromuro de plata y el yoduro de plata.

Para la elaboración de esta emulsión se combinan por lo menos dos o en algunos casos tres de estas sales de plata diferentes. Estos haluros son generalmente sensibles a radiaciones de hasta 460 nm. de longitud de onda. (González, 1996)

La reacción química que se utiliza para la fabricación de la emulsión fotosensible de la película radiográfica se presenta en la Esquema (1.1).



X= halógeno

Esquema 1.1 Reacción química utilizada para la fabricación de una placa.

Durante la fabricación de la emulsión es a menudo añadir alguna sustancia sulfurada en la gelatina esto para la formación de pequeños cristales de sulfuro de plata que se depositan sobre la superficie

de los cristales, y provocan un aumento de la sensibilidad de la emulsión formando lo que se conoce como centros de sensibilidad que se encargan de la formación de la imagen latente.

b) *Gelatina*

La gelatina es el medio en el que se colocan los granos de la emulsión fotográfica, esta es un coloide proteico de origen vacuno, se encuentra hecha de huesos y pieles que tras su cocción generan un líquido gelatinoso donde se distribuyen de manera homogénea los cristales de la emulsión, que después de su enfriamiento forma una masa gelatinosa y firme, que nos permite controlar su espesor con cierta facilidad. El espesor de la gelatina también es un factor importante para poder determinar su sensibilidad, la velocidad de la película y su resolución de la imagen (González, 1996).

1.2 Métodos químicos utilizados en la recuperación de la plata de la placa radiográfica.

En la actualidad, existen distintos métodos para recuperar plata de los residuos generados por el sector radiográfico, los más utilizados reportados en la literatura son los métodos químicos que incluyen el uso de sustancias orgánicas, reemplazo o sustitución metálica, electrólisis, intercambio iónico y precipitación. Estas técnicas están habitualmente relacionadas con un costo inicial elevado en cuanto al equipamiento, operación y purificación de los productos finales (Fabregas, 2002).

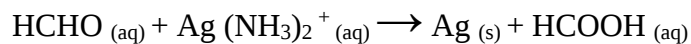
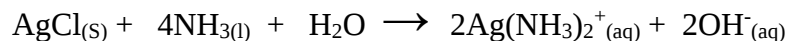
1.3.1 Sustancias orgánicas como agentes reductores

a) Reducción de la plata con aldehídos.

Los aldehídos reaccionan con una gran diversidad de compuestos, exhibiendo su gran facilidad para oxidarse, esta propiedad es utilizada para reducir los iones plata a plata metálica.

La plata en forma de cloruro de plata (AgCl) se hace reaccionar con hidróxido de amonio (NH_4OH) para formar el complejo diaminplata(I) que posteriormente como sucede en la Prueba de Tollens, reacciona con un aldehído, reduciéndose a plata metálica. El complejo $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ es un oxidante muy débil que reacciona lentamente con el formaldehído produciendo un ácido carboxílico y los iones plata se reducen simultáneamente a plata metálica depositándose en las paredes del recipiente cuando éstas están limpias como un espejo. (Wade, 2006)

El esquema 1.2 muestra las reacciones químicas que se llevan a cabo en esta técnica.

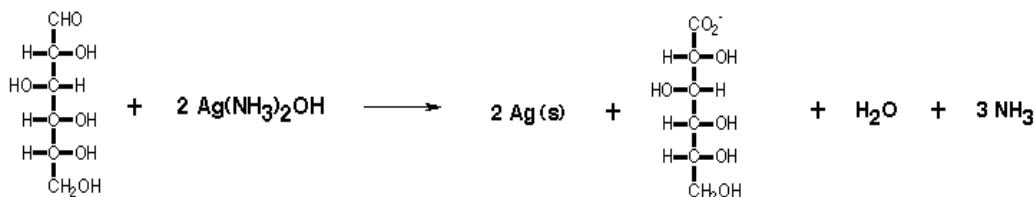
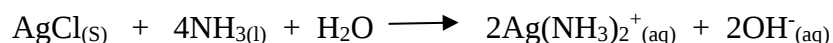


Esquema 1.2 Reducción de plata por formaldehído.

b) Reducción de plata con glucosa.

Una de las propiedades más destacadas de los monosacáridos o azúcares simples, como la glucosa, es su poder reductor que se debe al grupo aldehído ($-\text{CHO}$) que contiene su molécula. Este poder reductor puede manifestarse, frente a un agente oxidante como el ion $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$.

Para la recuperación de plata usando como reductor la glucosa se empieza con la formación del ion diaminoargentato(I) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, que parte del cloruro de plata (AgCl) obtenido de la disolución del ataque de las radiografías con ácido nítrico (HNO_3). El $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ es un oxidante muy débil que reacciona lentamente con el grupo aldehído de la glucosa produciendo un ácido carboxílico y los iones plata se reducen simultáneamente a plata metálica. (Philip, 2000). Esquema 1.3.

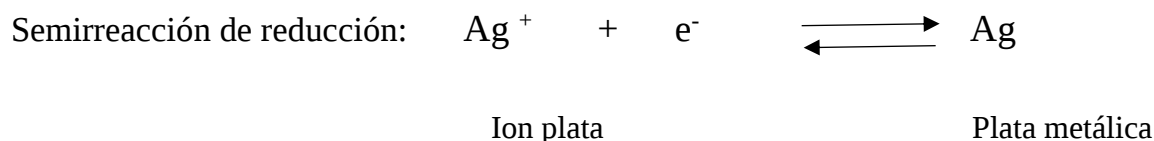
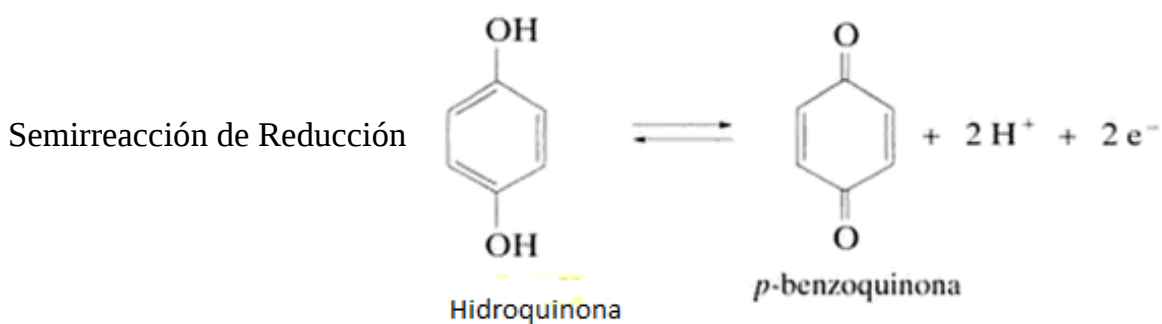


Esquema 1.3 Reducción de plata Ag^{1+} a Ag , por la acción de la glucosa. (Phillips, 2000)

c) Reducción de la plata con hidroquinona.

Las hidroquinonas son grupos que tienden a oxidarse con facilidad, que experimentan reacciones de sustitución electrofílica aromática, donde los electrones del anillo aromático son capaces de reaccionar con especies deficientes de electrones. Como ejemplo de este tipo de reactividad es la oxidación del 1,4-dihidroxibenceno, llamado habitualmente hidroquinona con el ion plata, el proceso se ilustra en el esquema 2.3, (Allinger, 1984).

La hidroquinona y la p-benzoquinona se interconvierten a través de reacciones de oxidación y reducción, las reacciones se resumen a continuación en forma de dos semirreacciones, que se muestran en el esquema 1.4.



Esquema 1.4 Oxidación de la hidroquinona y reducción de la plata

1.3.2 Reducción de la plata por sustitución metálica

Este método se basa en la sustitución de la plata adyacente en un compuesto por otro metal más activo. Este método tiene buena efectividad si el metal tiene un menor potencial estándar que la plata para poder reducir sus iones metálicos de potencial estándar mayor. En dicho método ocurren dos procesos electroquímicos espontáneos de donación y aceptación de electrones, estos procesos de aceptación y la donación son producto de la transferencia de electrones (Skoog, 2005).

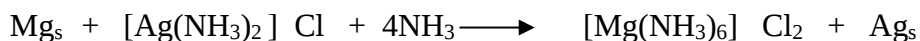
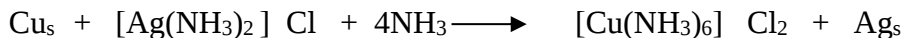
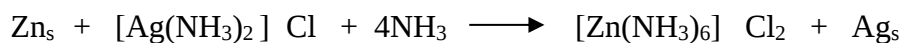
En la recuperación de la plata por este método de sustitución metálica, se eligen metales reductores como el zinc, cobre, magnesio, hierro y cobalto que tienen potenciales de reducción estándar más bajos que los de la plata y sus compuestos complejos (Chang, 2002). Ver la tabla 1.1.

Chang Raymond. (2013). Química. Ed Mc Graw Hill.

Tabla 1.1 Potenciales de reducción normales de semirreacciones.

Semirreacción	E°/V
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	0.7966
$\text{Zn}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.762
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	-0.3502
$\text{Mg}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.356
$\text{Fe}^{+2} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.440
$\text{Co}^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}$	-0.280
$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}_s + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}\text{ac}$	0.017
$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}_s + 2\text{NH}_4$	0.376
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}_s + 2\text{NH}_4$	-0.12

El esquema 1.5 muestra la reacción química de recuperación de plata metálica, que se lleva a cabo haciendo reaccionar la forma acomplexada del diaminplata(I) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]$ la cual posee un potencial de reducción estándar de 0.376 Voltios mayor que los potenciales de los metales Zn, Cu, Mg.



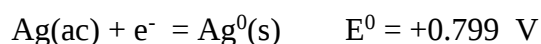
Esquema 1.5 Reacciones de sustitución

1.3.3 Método electroquímico

La plata se extrae haciendo circular una corriente eléctrica entre dos electrodos suspendidos en la disolución. El metal se va acumulando gradualmente en uno de ellos (el cátodo).

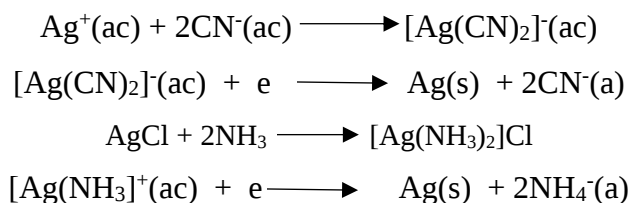
Se utiliza como cátodo un electrodo de varilla de carbono y como ánodo un electrodo de acero inoxidable (barra).

Uno de los metales muy electropositivos es la plata (+0.799 V), y es desplazada de la disolución por prácticamente todos los metales (Chang, 2022), colocándose con gran velocidad en forma de polvo negro sin ninguna adherencia, de acuerdo con el esquema 1.6 presentado a continuación:



Esquema 1.6 Reacción redox con potencial de reducción de la plata

La única forma de evitar este inconveniente es desplazando el potencial hacia valores más electronegativos; por ejemplo, mediante la disminución de la concentración de los iones de Ag^+ en la disolución. En la práctica esto se realiza utilizando sales complejas, como son los cianuros dobles y el diaminplata, en ese caso se producen las reacciones que se muestran en el esquema 1.7.



Esquema 1.7 muestra químicamente, las reacciones que intervienen en este caso.

De esta manera los iones $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ no se reducen con tanta facilidad por que los ligandos estabilizan al ion plata en su número de oxidación 1^+ , desplazando el potencial considerablemente (Bard, 2001; Basolo, 1980), el esquema 1.3.5 muestra químicamente, las reacciones que intervienen en este caso.

1.4 Métodos biológicos

Actualmente los sistemas biológicos como hongos, plantas, levaduras y bacterias que contiene en

su estructura química sustancias con potenciales propiedades como antioxidantes han llamado la atención de los científicos principalmente por su aplicación en la reducción de iones metálicos como el caso de la síntesis de nanopartículas metálicas (Huang et al., 2007).

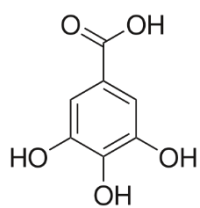
El empleo de extractos vegetales son los más populares debido a la facilidad de obtención de los vegetales, así como su fácil manejo y seguridad, poseen en su estructura química una amplia gama de metabolitos con propiedades reductoras y disminuyen el desperdicio y los costos de energía.

Se caracterizan por poseer metabolitos como los compuestos *polifenólicos*, *flavonoides* y *taninos* con potenciales redox muy bajos por lo que presentan gran capacidad antioxidante, se comportan como agentes reductores debido a que ceden electrones para reducir a otras sustancias. (Makarov, 2014; Han et al, 2012)

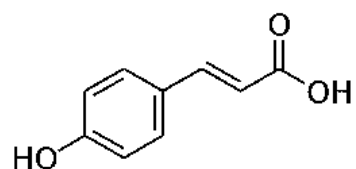
Los compuestos polifenólicos son un grupo de sustancias que se encuentran en las plantas con poderes antioxidantes, gracias a que poseen uno o más grupos hidroxilo en su estructura, estos compuestos pueden ser divididos por su estructura en dos clases esencialmente que son: los *ácidos fenólicos*, *flavonoides* y *taninos*. Es importante resaltar que los polifenoles en las plantas no solo tienen la función de defensa antioxidante sino también sirven para la regulación del crecimiento, la actividad hormonal, la actividad antimicrobiana, la regulación del pH, el metabolismo y la inducción del periodo de latencia. (Olszowy, 2019)

Estos compuestos tienen una estructura química característica ya que en ella se encuentran uno o más anillos tipo benceno con sustituyente OH, algunos ejemplos de estos compuestos son los *ácidos fenólicos* como el *ácido p-cumarico* y el *ácido gálico*, *flavonoides* compuestos de bajo peso molecular como la *quercetina* y *epicatequina*, *taninos* polifenoles de alto peso molecular como el *casuarictin* (García & Carril, 2011), sirven como agentes antioxidantes gracias a la gran cantidad de grupos OH que poseen en su estructura.

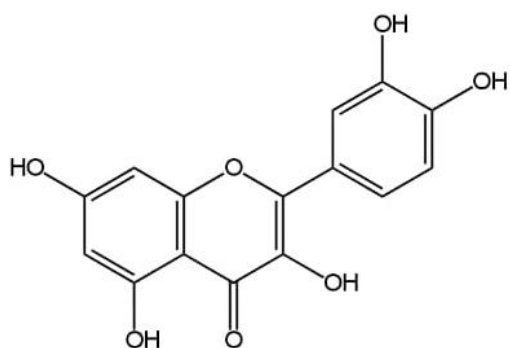
En la figura 1.4 se muestra la estructura química de algunos de ellos.



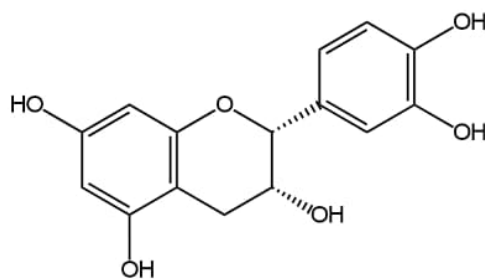
Ácido gálico



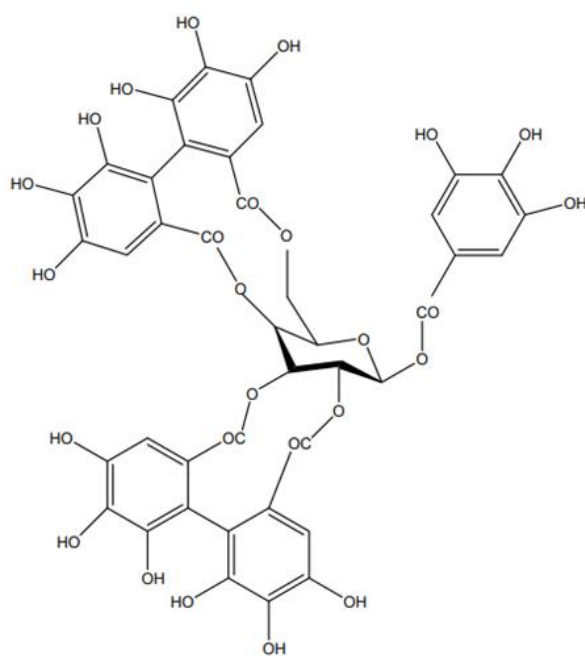
Ácido p-cumarico



Quercetina



Epicatequina



Casuarictin

Figura 1.4 Fórmula estructural de algunos polifenoles. (García, 2011)

Estos se caracterizan por su gran poder antioxidante, que es consecuencia de su estructura y

presencia química de los polifenoles. Los grupos hidroxilo que se encuentran en es los anillos fenólicos son los responsables de donar átomos de hidrógeno, estos reaccionan con las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, lo que impide la formación de especies reactivas. Otra característica de estos compuestos es la capacidad de quelar metales, que se encuentran relacionados en la formación de radicales libres. Gracias a esto los polifenoles reducen la oxidación de biomoléculas y la acumulación de estrés oxidativo, de manera que controlan la inflamación y mejoran los marcadores de cáncer y enfermedades que son degenerativas. (Huerta, 2022)

Un antioxidante se considera como un donador de electrones capaz de evitar una reacción en cadena de óxido-reducción, es por eso que también puede ser considerado como un agente reductor ya que es capaz de donar sus electrones y así poder reducir al sustrato. (Hicks JJ, 2006)

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos está muy relacionada con el potencial de reducción. Cuanto menor es el potencial de reducción, más probable es que la molécula del polifenol done su electrón para la reducción (Butkovic et al, 2004). En la Tabla 1.1 se muestran valores de los potenciales de reducción para algunos compuestos polifenolicos, los compuestos con bajos potenciales de oxidación (Epa 0.45 V) actúan como antioxidantes (Simic et al., 2007)

Tabla 1.1 Valores de potencial de reduccion para compuestos fenólicos (Sousa et al., 2004).

Compuestos fenólicos	Epa [V]*
Miricetina	0.20
Quercetina	0.29
Ácido cafeico	0.31
Catequina	0.36
Ácido clorogénico	0.39
Kaempferol	0.39
Fisetina	0.39
Luteolin	0.41
Ácido ferúlico	0.53
Ácido p-cumárico	0.59
Herperetina	0.72

El mecanismo de como ocurre este proceso de reducción de los metales con extractos vegetales aún no se ha establecido claramente, sin embargo, se ha encontrado en la bibliografía algunas propuestas.

El mecanismo de reducción del ion metálico y la formación de átomos metálicos se realiza mediante la presencia de grupos funcionales de los compuestos polifenólicos presentes en los extractos de plantas.

En la **Figura 1.5** se ilustra el probable mecanismo de reducción del ion metálico plata con la participación de grupos fenólicos (R-OH). La reducción del ion plata se lleva a cabo mediante la presencia de los grupos funcionales de los compuestos polifenólicos presentes en los extractos de plantas. Los compuestos polifenólicos liberan electrones al romper el enlace O-H y el electrón liberado puede usarse para reducir los iones metálicos de plata es decir pasa de Ag^+ a Ag^0 . Las formas enol del polifenol se convierten en quinonoides mediante dos estructuras resonantes.

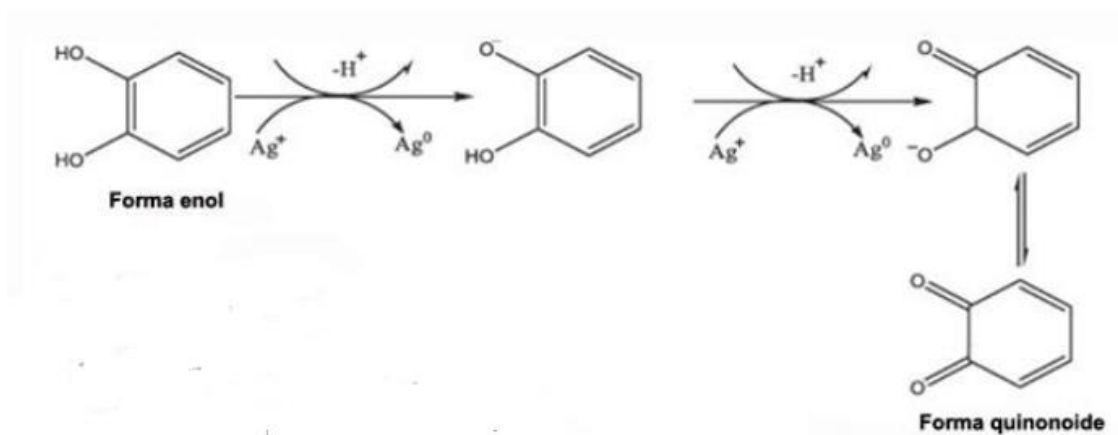


Figura 1.5 Imagen del probable mecanismo de reducción del ion plata y la formación de nanopartículas. (Espinoza, 2020)

Uno de los factores que influye en la recuperación de un metal por este mecanismo de transformación biológica es el potencial redox (potencial de reducción electroquímico estándar),

es decir de la transformación del ion del elemento a su forma de valencia cero (ejemplo de Ag^+ a Ag^0), es un factor importante para considerar. Mientras mayor sea el valor positivo de este potencial redox más fácil ocurre la biotransformación, es decir, habrá un mayor porcentaje de recuperación del elemento en su forma metálica como ocurre con el Au, Ag, Cu, Se, Pd, Ir, Pt, Cr, Ru.

Por lo tanto, la reducción del metal depende del elemento metálico a utilizar y el extracto vegetal, debido a que las capacidades reductoras de los compuestos polifenólicos encontradas en el extracto vegetal, determinan el potencial reductor, quien es el responsable del mecanismo de reducción y la formación de átomos metálicos.

1.5. Extractos vegetales

a) *Moringa oleífera* (Moringa).

Comúnmente conocida por el nombre de Moringa (*Moringa oleífera*) es una planta perteneciente a la familia Moringaceae nativa de la India y ampliamente cultivada en las regiones subtropical y tropical de todo el mundo, es la más cultivada y conocida de las 13 especies del género *Moringa*, y esto se conoce gracias a registros del herbario ya que se desconoce su estado silvestre. (Olson y Fahey, 2011). Esta planta tiene un sinnúmero de aplicaciones ya que ha sido utilizada como antioxidante, antiinflamatorio, hepatoprotectora, antidiabético, fungicida, anticancerígeno, antibacterial e inmunomodulador. En la figura 1.6 se aprecia la fotografía de esta planta.



Figura 1.6. Imagen de la moringa. Imagen recupera de:

<https://www.prensalibre.com/vida/salud-y-familia/7-beneficios-de-la-moringa-como-y-cuanto-consumirla/>

Esta planta tiene metabolitos secundarios de los cuales contiene mayormente alcaloides, fenoles, taninos y flavonoides, estos son compuestos químicos que no ayudan al metabolismo primarios de las plantas, pero intervienen entre el ambiente y la planta por medio de interacciones ecológicas. Las hojas de *Moringa oleífera* son ricas en vitaminas, carotenoides, polifenoles, ácidos fenólicos, flavonoides, alcaloides, isocianatos, taninos y saponinas (Leone et al., 2015).

b) *Taraxacum officinale* (Diente de León).

Diente de león, es una hierba perenne que puede alcanzar un tamaño de unos 10 a 50 cm de alto, su conjunto de frutos forma una bola ligera cuyas semillas se desprenden y se esparcen con el viento (Urretabiscaya, 2017). En su composición química podemos encontrar presentes un elevado porcentaje de polifenoles, estos polifenoles especialmente son derivados de ácidos hidroxicinámico, flavonoides, lactonas, sesquiterpénicas, cumarinas, triterpenos, fitosteroles, ácido cafeico y sales minerales, principalmente las potásicas. El grupo de compuestos de los ácidos hidroxicinámico se encuentra presentes en la pared celular del vegetal. Contienen polifenoles que poseen un alta capacidad antioxidante y bajos potenciales redox como la luteolina que pertenece al grupo de flavonoides. Estos compuestos son correspondientes a un grupo de metabolitos secundarios polifenolicos que poseen un anillo aromático unidos por lo menos a un grupo oxhidrilo en su estructura. En la figura 1.7 se aprecia la estructura química de la Luteolina (flavonoide).

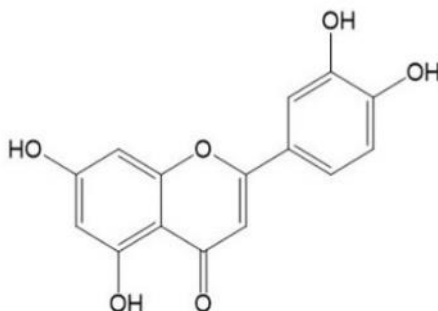


Figura 1.7 Estructura química de la Luteolina (flavonoide), componente del *Taraxacum officinale* (Diente de León) (Urretabiscaya, 2017).

c) *Musa paradisiaca* (Plátano).

Comúnmente conocido como plátano, es un fruto que se cree que proviene de regiones tropicales del sur de Asia, el plátano es uno de los cultivos más comunes que existen en regiones con climas tropicales de todo el fruto lo único que se consume por el humano es la pulpa. Los frutos del plátano son bayas falsas sin semillas, de forma cilíndrica que se encuentran distribuidos en manos de racimos que contienen aproximadamente de 30 – 70 plátanos que tienen un tamaño entre 20 y 40 cm de largo y de 4 a 7 cm de diámetro (Hernández, 2009).

El plátano posee un sinnúmero de propiedades tanto en pulpa como en la cascara del mismo, la pulpa del plátano es una excelente fuente de potasio (Kumar, 2012). Figura 1.8 muestra la imagen de cascaras de plátano.



Figura 1.8 Cascara de plátano. (Melara, 2021)

La cascara de plátano es el principal subproducto del proceso industrial del plátano y representa aproximadamente el 30 % del peso del fruto (González, 2010), las potenciales aplicaciones para la cascara de plátano dependen de su composición química. Unas de las características principales de la cascara de plátano es que son ricas en fibra, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos polisaturados y potasio (Emaga, 2007); gracias a los esfuerzos para utilizar esta cascara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas. Muchos autores han analizado el efecto de los compuestos antioxidantes en la cascara de plátano, para identificar el efecto sobre los radicales libres los cuales se producen continuamente en nuestro organismo, ya sea de forma natural o por el estrés ambiental, así como otros factores relacionados con muchas enfermedades como el cáncer, artritis, enfermedad del Parkinson, aterosclerosis y Alzheimer (Halliwell, 1989). El plátano es una de la fruta más consumida a nivel mundial y se conoce que su pulpa, así como su cascara poseen varios antioxidantes como la galocatequina y la dopamina. La cantidad total de

compuestos fenólicos en la cascara de plátano (*Musa acuminata* Colla AAA) va desde los 0.9 a 3 g/100 g en base seca. En el año 2002 identificaron la galocatequina en concentraciones de 160 mg/100 g en base seca, siendo este compuesto al que se le relaciona la capacidad antioxidante de la cáscara. La cáscara de plátano maduro también contiene otros compuestos tales como las antocianinas (delinidina y cianidina) y catecolaminas. Así mismo, la cáscara de plátano contiene carotenoides, como el β -caroteno, α -caroteno y diferentes xantoilas, estas han sido cuantificadas en un rango de 300-400 μ g de equivalentes de luteína/100 g,³¹ así mismo se han identificado esteroides y triterpenos, como el β -sitosterol, stigmasterol, campesterol, cicloeucalenol, cicloartenol y cicloartanol 24-metileno (Knapp, 1969). La figura 1.9 muestra la estructura química de la Galocatequina, principal compuesto antioxidante de la cáscara de plátano, en donde se aprecia la gran cantidad de grupos fenólicos (Someya et al, 2002).

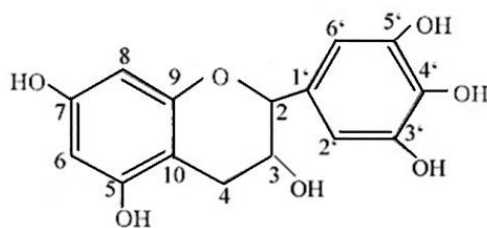


Figura 1.9 Estructura química de la Galocatequina, principal compuesto antioxidante de la cáscara de plátano (Someya et al, 2002)

d) *Citrus Paradisi* (*Rutaceae*) (toronja)

La toronja, también conocida pomelo o pamplemusa una fruta híbrida que tiene origen entre el cruce natural del naranjo dulce con el pummelo, proveniente de india occidental según varias investigaciones realizadas. Actualmente es el segundo cítrico más consumido a nivel mundial, ya que posee muchos beneficios y se ha convertido en una medicina natural muy popular utilizada en varios países (More, 2013). Esta fruta es cultivada en países subtropicales y tropicales, los países que producen la mayoría de estas frutas son: Estados Unidos, China, Sudáfrica, México e Israel. (Cruz, 2007)

Existen muchas especies de esta fruta sin embargo podemos clasificarlas dependiendo del color de la pulpa, que van desde el amarillo, rojo, rosa, pasando hasta por el anaranjado, estas últimas deben su color gracias a la presencia de carotenoides que son pigmentos antioxidantes (Cruz, 2007). Los

tipos conocido mayormente de la especie de toronja de carne blanca, son las Duncan y March; y para la especie de carne rosada se conocen la Star Ruby, Río Red y Red Blush. (Londoño, 2012) En la figura 1.10 se muestra la estructura anatómica de la toronja.

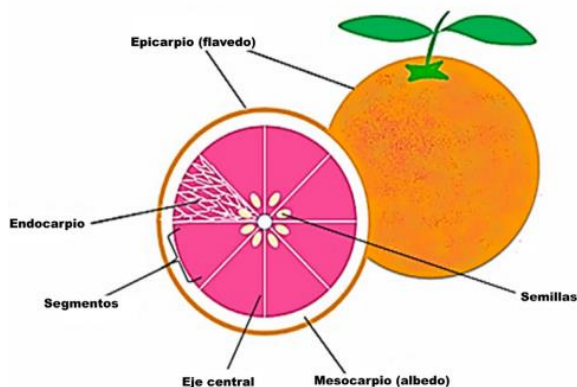


Figura 1.10 Estructura anatómica general de los cítricos en *C. paradisi* (De la Rosa, 2016).

Se conocen como principales constituyentes químicos de estas frutas a la naringina, hesperidina, neohesperidina, poncirina, tangeretina, aurapteno, umbeliferona, nobiletina, β -sitosterol, estigmasterol, α -pineno, limoneno y sabineno (More, 2013). La hesperidina (hesperitina-7-rutinósido), naringina (naringenina-7-neohesperidosida), poncirina, didimina, narirutina (naringenina-7-rutinósido), neohesperidina (hesperitina-7-neohesperidosida), neoeriocitrina (heridictiol-7-neohesperidosida) y eriocitrina son flavonas glicosídicas (moléculas con restos de azúcar) presentes en cáscaras de cítricos.

La toronja posee altas cantidades de polifenoles, especialmente los flavonoides, flavonas e isoflavonas, se ha determinado que el contenido de flavanonas individuales y totales presentes en la toronja (De la Rosa, 2016), obteniendo rendimientos de 27 mg de flavanonas por cada 100 g de jugo analizado, el compuesto mayoritario fue la naringina. Un análisis de compuestos fenólicos en la toronja originaria de China reveló que muchas partes de la toronja como incluidos los flavedos, albedos, segmentos de membranas, pulpa y semillas; registraron a la naringina y neohesperidina como flavonoides dominantes. Se obtuvieron altos contenidos de naringina y neohesperidina en el flavedo con cantidades de 5666.82 y 1022 $\mu\text{g/g}$ de peso seco respectivamente (De la Rosa, 2016).

De la investigación mencionada anteriormente se obtuvo que el ácido fenólico más importante encontrado en las muestras analizadas fue el ácido gálico, la pulpa tuvo el mayor contenido de este

con 343.07 $\mu\text{g/g}$ PS, además de ácido clorogénico (110.23 $\mu\text{g/g}$ PS), ácido caféico (53.86 $\mu\text{g/g}$ PS) y ácido ferúlico (23.12 $\mu\text{g/g}$ PS). En general, hay altas cantidades de flavonoides en el flavedo que se localiza en la cáscara, mientras que el jugo tenía grandes cantidades de ácidos fenólicos (De la Rosa, 2016). La figura 1.11 muestra los ácidos fenólicos hidroxicinámicos más importantes reportados para el zumo de diferentes variedades de *Citrus paradisi* (De la Rosa, 2016).

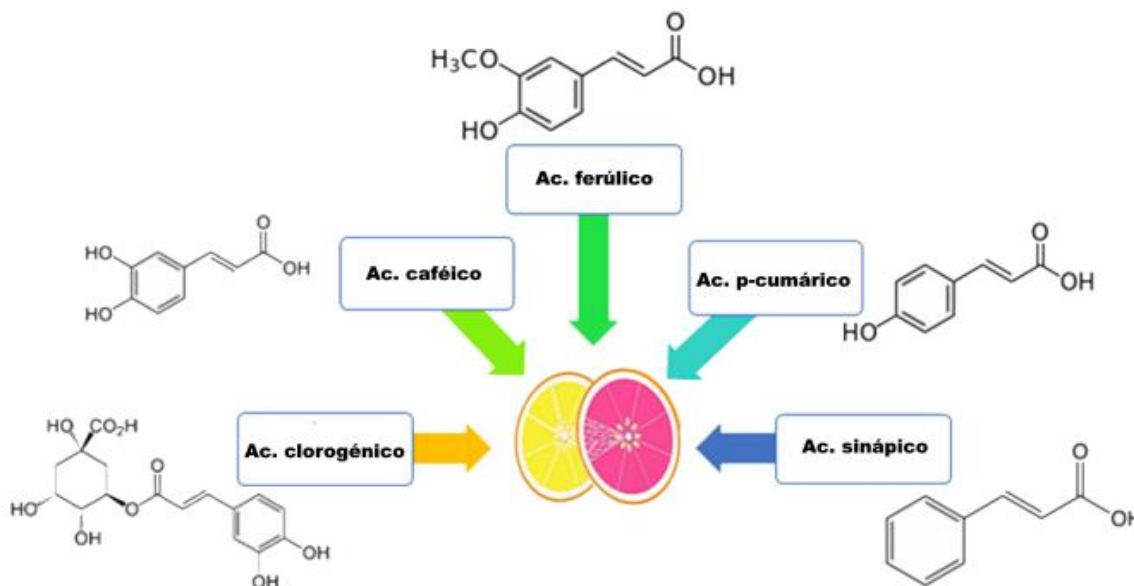


Figura 1.11 Ácidos fenólicos hidroxicinámicos más importantes reportados para el zumo de diferentes variedades de *Citrus paradisi* (De la Rosa, 2016).

e) *Citrus aurantifolia* (limón).

Comúnmente conocido como limón, pertenece a la familia de las Rutáceas, proviene de una zona tropical y subtropical del sudeste asiático común. El limón se cultiva principalmente por sus alcaloides, que tienen una actividad contra el cáncer y poseen un potencial poder antibacteriano en sus extractos crudos y cualquiera de sus partes (hojas, flor, fruto, cascara, tallo), por lo que es considerado una planta medicinal importante (Kawaii, 2000).

En general todos los cítricos poseen polisacáridos, carotenoides, tocoferoles, lípidos, terpenos, vitaminas, minerales, y algunos ácidos como el ácido cítrico o el ácido ascórbico y flavonoides (flavonas y flavonoles) que tienen capacidad de antioxidantes. El limo posee una gran cantidad de vitamina C, calcio y potasio. Las cáscaras de cítricos generalmente tienen un alto contenido

nutricional y contienen una variedad de fitoquímicos que pueden usarse como medicina. La cáscara de limón contiene una gran cantidad de glucósidos flavonoides, cumarina, β y γ -sitosterol, glucósidos y aceites volátiles. Además, la fibra de los cítricos también contiene compuestos bioactivos como polifenoles y polimetoxilatos de flavonoides, que contribuyen a su actividad antibacteriana, poco común en otras plantas (Tumane, 2014). En la figura 1.12 se muestra la imagen de la fruta del limón.



Figura 1.12 Limón. Imagen recuperada de:
<https://huerto-en-casa.com/el-limon-es-fruta-o-verdura/>

f) *Zingiber officinale* (jengibre).

Zingiber officinale comunmente conocido como jengibre es una especia utilizada desde tiempos antiguos en la cocina y farmacopea tradicionales asiáticas. Tiene una naturaleza templada en fresco) o caliente en (seco) y picante; ayuda a eliminar el frío, y sirve como un tónico digestivo antiemético por excelencia antigripal expectorante y antitusivo, estimula la circulación y ayuda a desintoxicar formando así parte de las fórmulas de la farmacopea china (Cattani, 2011). En la figura 1.13 se muestra imagen de jengibre.



Figura 1.13 Jengibre (Corral, 2020)

El jengibre proviene de la familia Zingiberaceae, cuyos nombres Zingiber y Jengibre son provenientes de hindú zingibil, que es el nombre común otorgado a esa planta. Es una planta con un rizoma perenne, nudoso, tuberoso, con una corteza de color ceniciento con rugosidades transversas, su sabor picante y aroma son característicos de ella. Surgen tallos falsos en el rizoma, que poseen un color rojizo, oblicuos, anuales, erectos y redondos que se encuentran envueltos en hojas y que alcanzan hasta 1 m de altura. Se cosechan desde los 9 a 10 meses (Viza, 2019).

Las hojas desprenden un aroma agradable y brotan del rizoma, son subsésiles, lanceoladas, lineales agudas, alternas y estrechas, de 6 a 10 cm de longitud y 2 cm de ancho. Posee flores irregulares, pequeñas, fragantes y de color amarillo verdoso, que se agrupan como espigas. También tiene inflorescencias que son terminales y brotan del tallo floral, que es solitario y radical (Narcisa, 2018).

Proveniente de la zona tropical de Asia, India, Indochina y China el jengibre tiene una gran importancia mundial en la actualidad, siendo China el mayor productor en el mundo, este es una especie pantropical de cultivos y tiene un sinnúmero de variedades entre las que destacan más por su precio elevado son las que provienen de Australia, Indonesia, y Jamaica, aunque las más vendidas provienen de China (Narcisa, 2018).

El jengibre presenta principios activos que tienen un gran poder antioxidante que le brinda beneficios a la salud, por lo que se considera un alimento funcional. El extracto etanólico de esta raíz ha probado que tiene una gran actividad antioxidante, ya que este presenta una gran cantidad de componente fenólicos y una intrínseca capacidad antiradical (Vallejo, 2018).

El jengibre tiene una fuerte eficacia para reducir los radicales libres, gracias a los componentes fenólicos entre los que destacan el el gingerol, gingeron y shogaol, entre otros. Una mezcla de no-resinas fenólicas (hidrocarburos sesquiterpenos, compuestos carbonílicos, hidrocarburos del monoterpeno y 13 ésteres) contribuye a la actividad antioxidante y es responsable del fuerte aroma de jengibre en los suplementos de dieta, bebidas y alimentos (Rodríguez, 2017).

g) *Eucalyptus (eucalipto).*

Eucalyptus comúnmente conocido como eucalipto es una especie de árboles o arbustos provenientes de Australia, los cuales poseen más de 700 especies y cuyo distintivo son sus hojas por su forma ovalada cuando son jóvenes, y alargadas cuando maduran, de un color verde grisáceo. Hoy en día, se encuentran distribuidos por gran parte del planeta y debido a su crecimiento rápido, frecuentemente se emplean en plantaciones forestales para la industria papelera, madera o para la obtención de productos químicos además de su gran poder ornamental. En su composición química podemos encontrar que esta planta posee un aceite esencial 1,8-cineol (o eucalipto), otros de sus constituyentes principales son los terpénicos, aparece también una decena de heterociclos oxigenados, compuestos fenólicos, ácidos fenólicos y flavonoides (rutósido, hiperósido), en la cera epicuticular aparecen flavonas mutiladas (Conde et al., 1996). En la figura 1.14 se observa la estructura química de dos de los componentes del eucalipto, conocido como rutósido y el iperósido siendo ambos flavonoides, en los que se observan la presencia de grupos $-[OH]$ enlazados a anillos aromáticos los cuales probablemente sean responsables de su actividad como antioxidantes.

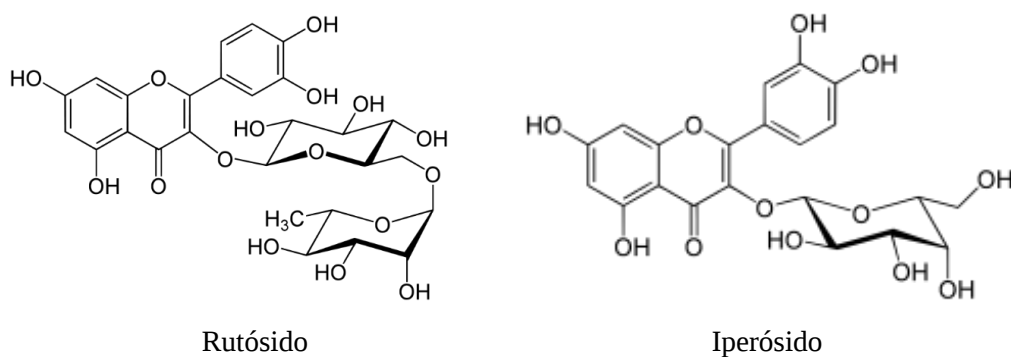


Figura 1.14 Estructura química del Rutósido y la del Iperósido

h) *Porophyllum macrocephalum* (pipicha).

El *Porophyllum macrocephalum* comúnmente conocida como pipicha o chepicha es una planta proveniente de México dependiendo de la zona de producción. La palabra “pipitza” proveniente del náhuatl significa soplar repentinamente. Porophyllum es una derivación la palabra en griego porus que significa poro y phyllon que significa hoja, esta planta presenta glándulas en las hojas en la gran mayoría de las especies que conforman este género, por lo que desprende aceite que le da olor y sabor característico a estas hierbas (Castro et al., 2011; Cobos et al., 2019; Guzmán, 2009; Jimenez et al., 2012).



Figura 1.15 Pipicha. (pipicha por Kilo, s.f.)

La pipicha por su sabor característico y aroma intenso; se utiliza principalmente como condimento de algunas comidas típicas mexicanas, como ejemplo en algunos caldos, sopas, guisados, quesadillas entre otros, las partes comestibles de esta son sus hojas.

La pipicha se encuentra distribuida en los estados de Durango, México, Hidalgo, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Puebla, siendo este último el que la siembra para su comercio, con un promedio de 96 toneladas anualmente (Guzmán, 2009).

La *Porophyllum macrocephalum* es una hierba, aromática y comestible, sus tallos miden entre 25 a 50 cm de alto, con ramificación de la base ascendente, sus hojas son opuestas en la sección inferior de la planta, las superiores son alternas lineares, de 1,5 a 4 cm de largo y de 3 mm de ancho. Tiene glándulas olorosas y son muy pequeñas colocadas en 2 hileras (Castro et al., 2011; Cobos et al., 2019; Guzmán, 2009; Jiménez et al., 2012).

i) Rosa (Hoja de rosa).

De la composición química de la hoja de rosa no se encuentra registros en la bibliografía, sin embargo, en este trabajo se llevaron a cabo pruebas analíticas cualitativas que arrojaron resultados sobre su composición, entre los polifenoles encontrados podemos mencionar a los taninos, así como flavonoides y ácidos carboxílicos.

CAPITULO 2. PARTE EXPERIMENTAL

En este capítulo se describe la metodología experimental que se llevó a cabo en este trabajo. Los reactivos químicos utilizados, así como su marca se encuentran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resumen los reactivos empleados.

REACTIVOS	FORMULA	MARCA
Placas radiográficas	-	-
Ácido nítrico	HNO ₃	Sigma-Aldrich
Cloruro de amonio	NH ₄ Cl	Meyer
Hidróxido de amonio	NH ₄ OH	J. T. Baker
Agua desionizada	H ₂ O	-
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	Sigma-Aldrich
Ácido gálico	C ₇ H ₆ O ₅	Sigma-Aldrich
Reactivo de folling	C ₁₀ H ₅ NaO ₅ S	Sigma-Aldrich
Cloruro de sodio	NaCl	Química Mercurio
Cloruro de Hierro (III)	FeCl ₃	Golden Bell
Magnesio	Mg	-
Ácido clorhídrico	HCl	Sigma-Aldrich
Alcohol amílico	C ₅ H ₁₂ O	Química Mercurio
Grenetina	-	Duche
Carbonato de calcio	CaCO ₃	Sigma-Aldrich

Los vegetales empleados en la elaboración de los extractos acuosos y etanólicos se enlistan en la Tabla 2.2, con su nombre científico y el utilizado comúnmente, ellos fueron adquiridos en el mercado de la localidad de Puebla.

Tabla 2.2. Extractos vegetales

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Moringa oleífera</i>	<i>Hojas de Moringa</i>
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Diente de león</i>
<i>Musa paradisiaca</i>	<i>Cascara de plátano</i>
<i>Citrus Paradisi (Rutaceae)</i>	<i>Cascara de Toronja</i>
<i>Citrus aurantifolia</i>	<i>Cascara de limón</i>
<i>Zingiber officinale</i>	<i>Jengibre</i>
<i>Eucalyptus</i>	<i>Hojas de Eucalipto</i>
<i>Porophyllum macrocephalum</i>	<i>Pipicha</i>
<i>Rosa</i>	<i>Hoja de rosa</i>

La actividad experimental dio inicio con la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos presentes en los extractos vegetales empleados como agentes reductores. La identificación y cuantificación de los compuestos fenólicos se realizó utilizando la técnica conocida como ensayo de Folin-Ciocalteu. A continuación, se describe el proceso aplicado (García Martínez, 2015).

2.1. Determinación de compuestos fenólicos a través del método conocido como ensayo de Folin-Ciocalteu.

La determinación de compuestos fenólicos se realizó a través del método conocido como ensayo de Folin-Ciocalteu, método en el que los compuestos fenólicos reaccionan con este reactivo a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 760 nm. Se utilizó ácido gálico como estándar de referencia y se elaboró una curva de calibración.

2.1.1 Diseño de la Curva de calibración

Se elaboró la curva de calibración para identificar la presencia de polifenoles en los extractos acuosos vegetales, utilizando una disolución de 0.1 g ácido gálico en 100 mL de agua destilada y una disolución de 4 g de carbonato de calcio en 25 mL de agua destilada, así como 50 mL del reactivo de Folin 1N.

- 4 g de carbonato de sodio en 25 mL de agua (1.509 M)
- 50 mL de reactivo de Folin 1N
- 100 mL de ac. gálico (0.1 g en 100 mL) 0.0058 M

Procedimiento

Se utilizaron 6 frascos de vidrio color ámbar para proteger a los reactivos de la luz y evitar su descomposición y 1 blanco. El procedimiento se describe a continuación:

1. Adicionar en cada frasco 2 mL de carbonato de sodio y 250 microlitros de reactivo de Folin 1N, solo al blanco se le adiciono el carbonato de sodio y el reactivo de Folin sin agregar ácido gálico
2. 0.2 mL = 20 microlitros
3. Al primer frasco adicionar 20 microlitros de ac. gálico, al segundo 40 microlitros, al tercero 60, al cuarto 80 y al quinto 100 microlitros, al sexto no se le adiciona ácido gálico debido a que el servirá de blanco.
4. Al final a cada frasco se le adiciono 2 mL de agua destilada

En la tabla 2.3 se detallan las cantidades de cada uno de los reactivos empleados en cada uno de los frascos.

Tabla 2.3 Reactivos empleados en la elaboración de la curva de calibración

FRASCO	1	2	3	4	5	6
Carbonato de sodio (mL) + agua destilada	4	4	4	4	4	4
Reactivo de Folin	250	250	250	250	250	250

(μL)						
Ácido gálico (μL)	2.5	5	10	20	40	60

Cada uno de los frascos se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 3 minutos antes de realizar las pruebas de UV, para elaborar la curva de calibración. Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de química analítica con el equipo de Uv-Vis marca CARY y modelo 50 Conc.

A partir de los valores de absorbancia obtenidos de cada concentración de ácido gálico se elaboró la correspondiente recta de calibración.

2.1.2 Determinación de la identificación de polifenoles en los extractos vegetales.

Preparación de los extractos vegetales acuosos.

Para esta prueba se prepararon los extractos con 1 g de vegetal y 100 mL de agua, la mezcla se mantuvo en calentamiento entre 80 y 90 °C hasta que su volumen se redujo 30 mL, posteriormente se dejó enfriar y se filtró, los extractos se vaciaron a un matraz de aforación de 100 mL y se aforo hasta ese volumen.

Determinación de la concentración de polifenoles en los extractos vegetales

Se prepararon frascos con 2 mL de carbonato de calcio, 250 microlitros de reactivo de Folin y 800 microlitros de extractos acuosos, así como un blanco con 250 microlitros del reactivo de Folin y los 2 mL de carbonato de calcio, una vez preparados los frascos se agitaron vigorosamente. En la tabla 2.4 se reportan las cantidades de los reactivos empleados para la preparación de la prueba de la identificación de polifenoles.

Tabla 2.4. reactivos y cantidades empleadas en la identificación de polifenoles contenidos en los extractos vegetales.

Vegetal	Carbonato de calcio (mL)	Reactivo de Folin (μL)	Extracto vegetal acuoso (μL)
<i>Plátano</i>	2	250	800
<i>Toronja</i>	2	250	800
<i>Limón</i>	2	250	800
<i>Jengibre</i>	2	250	800
<i>Flor de muerto</i>	2	250	800

<i>Moringa</i>	2	250	800
<i>Eucalipto</i>	2	250	800
<i>Pipicha</i>	2	250	800
<i>Diente de león</i>	2	250	800
<i>Hierbabuena</i>	2	250	800
<i>Albaca</i>	2	250	800
<i>Hoja de rosa</i>	2	250	800

A partir de los valores de absorbancia obtenidos de cada extracto vegetal utilizando la curva de calibración se determinó la concentración de polifenoles contenidos en cada uno de los extractos vegetales, los resultados se presentan en el capítulo de resultados y discusión.

Identificada la presencia de polifenoles en los extractos se procedió a determinar cualitativamente metabolitos secundarios en los extractos vegetales

2.2 Determinación de metabolitos secundarios en los extractos vegetales

Para determinar los metabolitos secundarios contenidos en un vegetal se realizó una serie de pruebas fitoquímicas. La fitoquímica es una disciplina del área de las ciencias que analiza y estudia, de forma cualitativa y cuantitativa, la composición química de los metabolitos secundarios presentes en las plantas.

Estas pruebas incluyen una serie de métodos para la detección de los diferentes grupos químicos contenidos en las especies vegetales a estudiar. El método se basa en extracciones de los metabolitos secundarios como *ácidos polifenólicos*, *taninos* y *flavonoides*. Para la extracción de los metabolitos contenidos en el vegetal se utilizó como solvente alcohol etílico del 96⁰.

Las pruebas fitoquímicas se realizaron como se describe a continuación.

a) Preparación de las muestras.

Se utilizó seco y triturado el material vegetal: *hojas de moringa*, *diente de león*, *cascara de plátano*, *cascara de toronja*, *cascara de limón*, *jengibre*, *hojas de eucalipto*, *pipicha* y *hoja de rosa*. Para cada especie vegetal se realizó el mismo procedimiento: se molieron 2 g de vegetal se pusieron a macerar con 50 mL de alcohol etílico. Se dejaron macerar a temperatura ambiente por 24 horas en

un frasco de vidrio de color ámbar para protegerlo de la luz. Pasado el tiempo, el líquido obtenido es filtrado y reservado en un recipiente cerrado y protegido de la luz. Al sólido sobrante se le adicionan otros 35 mL de etanol y se repite el proceso durante 24 horas.

b) Obtención y análisis de la fracción A.

Se toman 20 mL del filtrado que serán la fracción A.

Los 20 mL de la fracción A se llevan a un calentamiento de 20 °C hasta lograr la sequedad de la mezcla. Lo que se obtiene es disuelto en 20 mL de agua caliente y filtrado. Para realizar la prueba de flavonoides se utilizan 10 mL del filtrado en caliente, los 10 mL restantes se dejan enfriar a temperatura ambiente y se vuelven a filtrar. Con este último filtrado se realizan las pruebas compuestas fenólicos, taninos y flavonoides (Ardoino, 2013).

c) Reactivo: gelatina-sal.

Se prepara una disolución saturada de NaCl, se remoja por 1 hora 2.0 g de grenetina en la disolución. Se calienta hasta disolver y se afora a 100 mL.

Con las fracciones obtenidas se realizaron las siguientes determinaciones

d) Ensayo para compuestos fenólicos: ensayo del $FeCl_3$

Se llevan a sequedad 3 mL de la fracción A calentando a baño María (se puede hacer directamente sin llevar a seco). El residuo seco se disuelve en 1 mL de agua destilada y se le agregan 3 gotas de $FeCl_3$ al 1% acuoso. La aparición de coloración varía de acuerdo con la cantidad y posición de los grupos hidroxilos fenólicos presentes: amarilla indica la presencia de 1 -OH, verde grisáceo 2 -OH adyacentes y azul negro 3 -OH adyacentes.

e) Ensayo para Flavonoides: ensayo de Shinoda.

Se toman 0.5 mL de la fracción A y se agrega una granalla de Zn o Mg más 0.2 mL de ácido clorhídrico concentrado y se espera hasta la disolución de la granalla. Se agregan 0.2 mL de alcohol amílico y luego 2 mL de agua destilada. Se observa la aparición de coloración marrón, pardo rojiza o rosada en la fase orgánica. La aparición de una tonalidad desde rosado tenue hasta guinda indica la presencia de flavonoides.

f) Ensayo para taninos: ensayo de la gelatina-sal

Reacción con gelatina: se llevan a sequedad otros 3 mL de la fracción A calentando a baño maría (se puede hacer directamente sin llevar a seco). El residuo seco se disuelve en 1 mL de agua destilada y se le agregan 10 gotas de una disolución acuosa de gelatina al 2% (preparada con agua tibia) (si no precipita se agregan unas gotas de disolución ácida de cloruro de sodio). La aparición de turbidez hasta precipitado abundante indica la presencia de taninos (Ardoino, 2013).

A continuación, se describe el método empleado en la preparación de los extractos, así como los pasos que se siguió para la recuperación de la plata.

2.3 Elaboración de extractos acuosos y alcohólicos empleados en la recuperación de la plata.

Los vegetales empleados fueron: *moringa*, *diente de león*, *cascara de limón*, *cascara de toronja*, *cascara de plátano*, *hoja de rosa*, *eucalipto*, *pipicha* y *jengibre*.

La extracción de los metabolitos antioxidantes de las plantas depende en gran medida de la naturaleza de los disolventes que se emplean en este proceso. Los solventes polares son los más empleados para el caso de la extracción de los polifenoles de las plantas, fundamentalmente el agua y alcoholes, ya que se ha demostrado su eficacia en la extracción de grandes concentraciones de estos compuestos (Hoceme et al, 2022).

La elaboración de extractos se llevó a cabo para cada especie mediante un proceso de extracción sólido-líquido, empleando como solventes, agua y etanol. Los vegetales fueron previamente lavados secados y posteriormente triturados, se prepararon los extractos por contacto de 1.0 g del vegetal con 100 mL de disolvente, calentando y dejando ebulir por un tiempo de 40 min a una temperatura de 80 °C tras el cual se obtiene el extracto líquido por filtración. Los extractos se almacenan a 4 °C y protegidos de la luz.

2.4 Procedimiento para la recuperación de la plata metálica contenida en las placas radiográficas

La recuperación de la plata metálica contenida en las placas radiográficas inicia con su tratamiento químico hasta llegar al compuesto en donde la plata se encuentra en forma acomplejada con amoniaco, posteriormente este compuesto de coordinación es tratado con los extractos vegetales para reducir la plata de forma iónica Ag^+ a plata metálica Ag^0 .

A continuación, se describe cada uno de los procesos químicos.

a) Tratamiento de las placas radiográficas con ácido nítrico

A 100 g de radiografías trituradas a unas dimensiones medias de 1 cm², en un matraz Erlemeyer de 500 mL, se someten a una digestión ácida, se adicionan 600 mL de una disolución de ácido nítrico (20%), la mezcla color azul se agito por 5 horas a una temperatura de 80 °C tornándose amarilla. La mezcla amarilla que contuvo la plata en forma de nitrato de plata fue filtrada utilizando papel filtro Whatman No. 42.

b) Síntesis del cloruro de plata AgCl.

La disolución filtrada de color amarillo (nitrato de plata) resultante del ataque del ácido nítrico sobre las placas radiográficas, se coloca en un vaso de precipitados de 600 mL; se disuelve 2.56 g de cloruro de amonio en 40 mL de agua destilada y se adiciona a la disolución de nitrato de plata con agitación, tornándose lechosa de color blanco debido a la formación del cloruro de plata, se deja reposar un día hasta la precipitación total del cloruro de plata en forma de un sólido blanco. Se filtra el precipitado y se lava varias veces con agua destilada; el polvo obtenido de cloruro de plata se seca mediante una estufa de calentamiento a una temperatura de 25 °C para su posterior uso.

c) Preparación de diaminplata (I)

A 1.0 g de cloruro de plata obtenido fue utilizado en la formación del complejo *diaminplata (I)*, adicionándole 20 mL de disolución acuosa de amoniaco al 30% (Skoog, 2010), aumentando la temperatura para mejorar las condiciones de reacción, para la formación del complejo diaminplata en disolución.

d) Reducción de la plata iónica a plata metálica.

Una vez obtenido el *diaminplata (I)*, la recuperación de la plata metálica se realizó con la adición de los extractos vegetales en disolución acuosa en disolución alcohólica 100 mL. Una vez adicionado los extractos vegetales la plata contenida en el complejo se redujo a plata metálica, finalmente fue filtrada y pesada.

CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos, así como la discusión de estos. Se inicia con los resultados de la curva de calibración y posteriormente se muestran y discuten los resultados del empleo de los extractos vegetales como agentes reductores en la recuperación de la plata contenida en las placas radiográficas.

3.1. Curva de calibración en la identificación de polifenoles

La curva de calibración para determinar la presencia y concentración de polifenoles contenidos en los extractos de plantas empleados en este trabajo de investigación se llevó a cabo por medio del ensayo de Folin- Ciocalteu, las mediciones espectroscópicas de absorbancia por Uv-Vis a 760 nm con él ácido gálico, según el procedimiento que se describe en el capítulo 2 de la parte experimental se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados de las mediciones de las disoluciones de las disoluciones

Disolución	Prom. absorbancias	Concentración 2 (C2) M
1	0.009233333	3.40E-06
2	0.025166667	6.89E-06
3	0.0393	1.30E-05
4	0.101133333	5.18E-05
5	0.1506	1.03E-04
6	0.009233333	3.40E-06

En la tabla 3,1 se observan los diferentes datos obtenidos para la construcción de la curva de calibración como son el promedio de las absorbancias que se obtuvo al realizar dicha prueba ya que la medición de estas se hizo por triplicado para cada una de las disoluciones preparadas y C₂ la concentración que se calculó previamente usando la fórmula de las diluciones que se muestra a continuación.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Donde:

V_1 = Volumen del ácido gálico adicionado en cada una de las disoluciones

C_1 = Concentración del ácido gálico preparado en 100 mL disolución

V_2 = Volumen total de cada disolución

C_2 = Concentración de cada disolución preparada para la curva.

La curva de calibración obtenida por el método de Folin- Ciocalteu se muestra en el grafico 3.1.

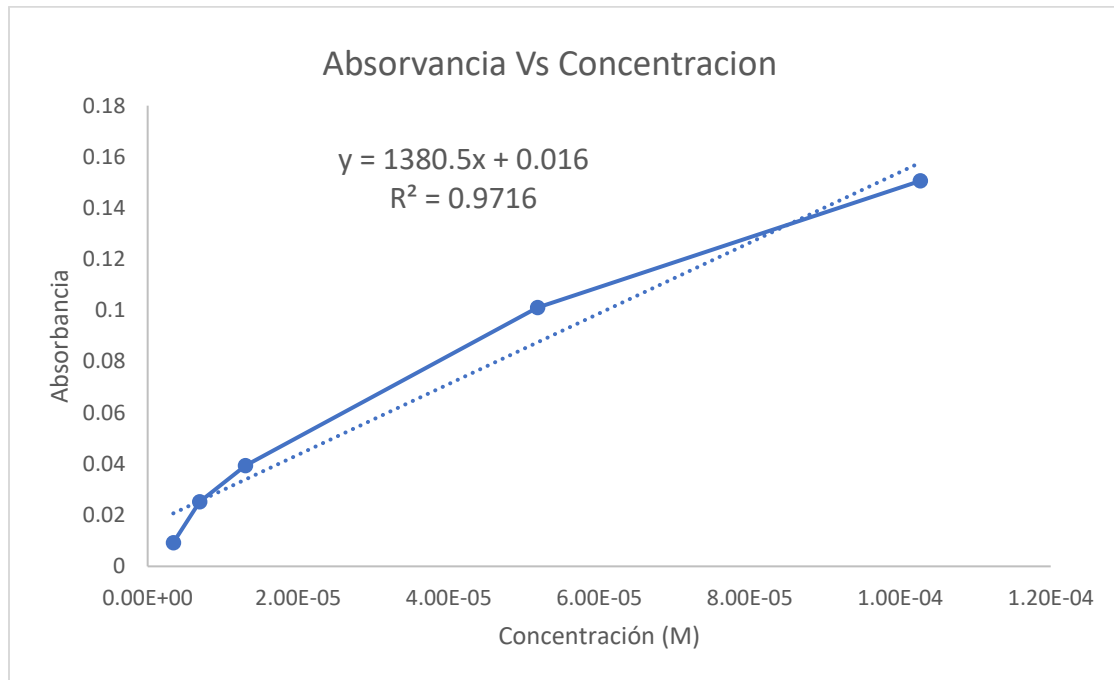


Gráfico 3.1. Curva de calibración obtenida por el método de de Folin- Ciocalteu

Con la ayuda de la ecuación de la recta obtenida en la curva de calibración se determinaron las concentraciones totales de polifenoles presentes en 50 mL de cada una de las disoluciones de los extractos vegetales, la ecuación de la recta obtenida es la siguiente:

$$Y = 1380.5x + 0.016$$

Donde:

Y = Promedio de absorbancia

X = Concentración ácido gálico

0.016= Punto de intersección u ordenada al origen

1380.5= Pendiente

Se despeja x en la ecuación anterior y se obtiene lo siguiente:

$$X = Y - 0.016 / 1380.5$$

Una vez despejada la ecuación se colocan los valores correspondientes para cada uno de los extractos para en el caso del valor de absorbancia se utilizó el valor del promedio de absorbancia ya que la medición se realizó por triplicado y se construyó la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Promedio de absorbancias y concentración de polifenoles en los extractos.

Extracto	Absorbancia 1	Absorbancia 2	Absorbancia 3	Prom absorbancias (y)	Concentración (x)
<i>Plátano</i>	0.0563	0.0605	0.0541	0.05696667	2.96752E-05
<i>Toronja</i>	0.0093	0.0175	0.0229	0.01656667	4.10479E-07
<i>Limón</i>	0.0167	0.0146	0.0169	0.01606667	4.82917E-08
<i>Jengibre</i>	0.0236	0.0231	0.0231	0.02326667	5.26379E-06
<i>Flor de cempaxúchitl</i>	0.0090	0.0063	0.0069	0.0074	-----
<i>Moringa</i>	0.0823	0.0909	0.0858	0.08633333	5.09477E-05
<i>Eucalipto</i>	0.0972	0.1066	0.0931	0.09896667	6.0099E-05
<i>Pipicha</i>	0.0340	0.0333	0.0335	0.0336	1.2749E-05
<i>Diente de león</i>	0.0300	0.0337	0.0311	0.0316	1.13003E-05
<i>Hierbabuena</i>	0.0121	0.0097	0.0067	0.0095	-----
<i>Albaca</i>	0.0158	0.0122	0.0169	0.01496667	-----
<i>Hoja de rosa</i>	0.0441	0.0419	0.0451	0.0437	2.00652E-05

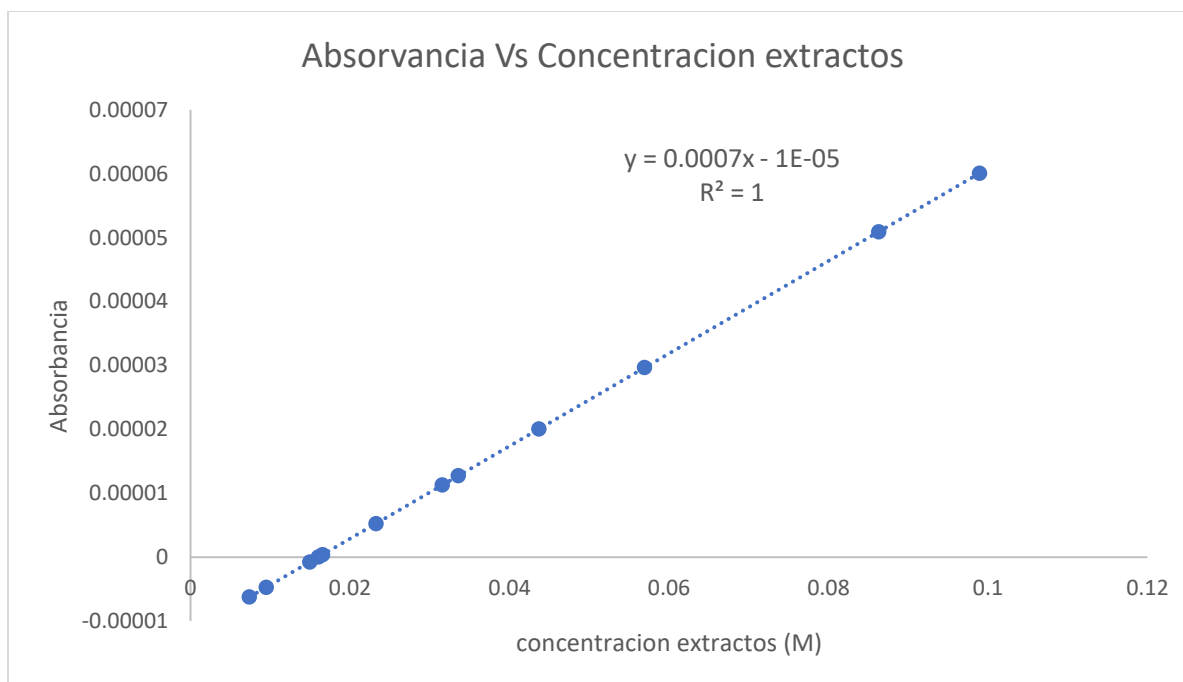


Gráfico 3.2. Absorbancia vs concentración de extractos.

A todos estos extractos se les aplicó el método de Folin-Ciocalteu para determinar el contenido en polifenoles presentes. Los resultados muestran la presencia de polifenoles en los extractos estudiados revelando como es de esperarse que algunos de ellos contienen polifenoles en mayor concentración como es el caso del extracto de *eucalipto*, *moringa*, *jengibre* y *cascara de plátano*, mientras que otros de ellos contienen una concentración muy baja como lo son el *limón*, *la toronja*, *hierbabuena*, *albaca* y *flor de cempaxúchitl* ya que se obtuvieron valores muy bajos, inclusive algunos como lo son la *flor de cempaxúchitl*, *hierbabuena* y *la albaca* no entran dentro de la curva de calibración y no pueden calcularse sus concentraciones por este método por lo que estos no fueron elegidos para las pruebas que se realizaron.

Como se mencionó con anterioridad a los vegetales elegidos que fueron las hojas de *eucaliptus*, *pipicha*, *moringa*, *cascara de limón*, *jengibre*, *cascara de toronja*, *cascara de plátano*, *diente de león* y *hoja de rosa*, el estudio realizado reveló que la cantidad de polifenoles presentes en 800 microlitros del extracto, para el *eucaliptus* fue de 6.0099E-05 M y la *moringa* fue de 5.09477E-05 M siendo estos los extractos con mayor concentración de polifenoles, para el extracto de *pipicha* se obtuvo una concentración de 1.2749E-05 M, para el *jengibre* su concentración obtenida fue de 5.26379E-06 M, para *cascara de plátano* se obtuvo una concentración de 2.96752E-05 M, para *diente de león* la concentración obtenida fue de 1.13003E-05 M y por ultimo para la *hoja de rosa*

su concentración fue de $2.00652\text{E-}05\text{ M}$, que fueron altas como las del *eucalipto* y la *moringa* pero un poco menores a estos, por último la *cascara de toronja* con $4.10479\text{E-}07\text{ M}$ y la *cascara de limón* con $4.82917\text{E-}08\text{ M}$, que tiene concentraciones menores a todos los extractos anteriormente mencionados pero entran en la curva de calibración.

3.2. Pruebas fitoquímicas de los extractos vegetales.

Una vez conocida la información sobre la presencia de polifenoles en los extractos elegidos se procedió a realizar pruebas cualitativas fitoquímicas (Ardoino, 2013) para detectar la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos. Los resultados obtenidos se discuten a continuación.

a) *Compuestos fenólicos*

Se determinó la presencia de compuestos fenólicos en los extractos vegetales utilizando el ensayo de FeCl_3 . La prueba se considera positiva si la disolución toma la coloración amarilla, verde grisáceo y azul negro. En todos los casos la prueba resulto positiva, es decir en todos los extractos de los vegetales elegidos se pudo observar un cambio de color dando evidencia de la presencia de compuestos fenólico. La coloración varia de un extracto a otro, esta depende de la cantidad y posición de los hidroxilos: amarilla indica la presencia de 1 -OH, verde grisáceo 2 -OH adyacentes y azul negro 3 -OH adyacentes, según lo reportado en la bibliografía revisada (Ardoino, 2013).

En la figura 3.1 se muestra la imagen de las coloraciones de cada uno de los extractos antes de haberse realizado el ensayo de compuestos fenólicos con el reactivo FeCl_3 .

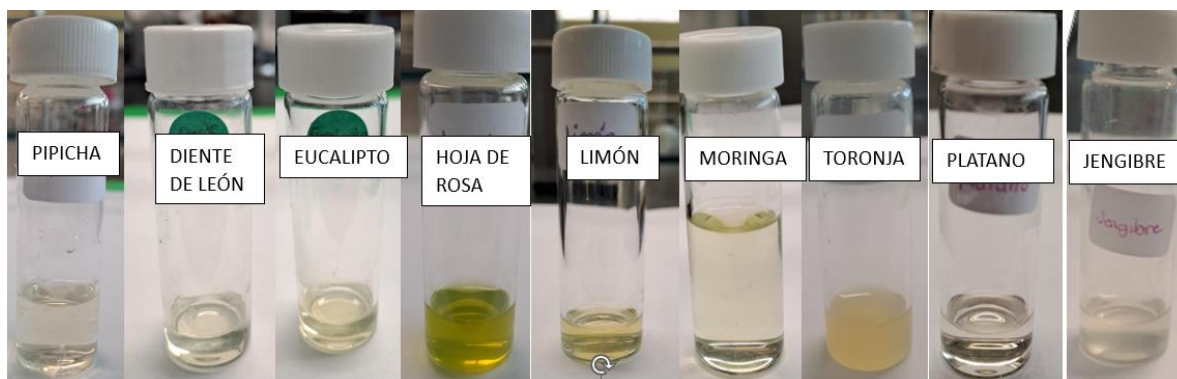


Figura 3.1. Extractos preparados antes de agregarles el FeCl_3 .

En la figura 3.2 se muestra la imagen de las coloraciones adquiridas con cada uno de los extractos después de haberse realizado el ensayo de compuestos fenólicos con el reactivo FeCl_3 .



Figura 3.2. Prueba del ensayo de FeCl_3 para la identificación de compuestos fenólicos.

El color observado del extracto de la *pipicha* es un verde grisáceo por la probable presencia de 2 grupos OH, en el caso del *eucalipto* una coloración azul negro por lo que se infiere que los 3 grupos fenólicos se encuentran adyacentes 3-OH, en los extractos restantes *cascara de plátano*, *cascara de limón*, *cascara de toronja*, *moringa*, *jengibre* y *diente de león* se observaron coloraciones amarillas de diferentes tonalidades por lo que se puede inferir la presencia de polifenoles. En la Tabla 3.3 se resumen las observaciones relacionadas al color adquirido de los extractos después de la prueba de compuestos fenólicos.

Tabla 3.3. Color adquirido de los extractos vegetales en la prueba de ácidos fenólicos

Extracto	Prueba: Ácidos fenólicos
<i>Cascara de plátano</i>	Amarillo verdoso
<i>Cascara de toronja</i>	Amarillo naranja
<i>Cascara de limón</i>	Amarillo ámbar
<i>Jengibre</i>	Amarillo pálido verdoso
<i>Hojas de moringa</i>	Amarillo verdoso
<i>Hojas de eucalipto</i>	Azul negro
<i>Pipicha</i>	Verde grisáceo
<i>Diente de león</i>	Amarillo pálido
<i>Hoja de rosa</i>	Amarillo

b) Ensayo de flavonoides

En la identificación de flavonoides se utilizó la prueba conocida con el nombre de “*Ensayo de Shinoda*”, prueba cualitativa que permite el identificar la presencia de *flavonoides* que contienen en su estructura los vegetales. Esta se considera positiva cuando la disolución de estudio presenta coloración rosa, roja, violeta, verde amarillento o naranja. Observar la aparición de coloración marrón, pardo rojiza o rosada en la fase orgánica indica la presencia de flavonoides. (Martínez, 2014). En esta prueba, el magnesio metálico es oxidado por el HCl concentrado, dando como productos al H_2 , que es liberado en forma de gas produciendo por reducción el ion flavilio (Badui, 2006), también llamado 2-fenil-benzopirilio que normalmente funciona como catión dando como resultado de la reducción una coloración rojo escarlata, el $MgCl_2$ forma complejos con los flavonoides dando coloraciones características.

El color que se muestra depende de varios factores intrínsecos, como son los sustituyentes químicos que contenga y la posición de estos en el grupo flavilio; por ejemplo, si se aumentan los hidroxilos del anillo fenólico se intensifica el color azul, mientras que la introducción de metoxilos provoca la formación del color rojo.

En la figura 3.3 se muestra la imagen de las coloraciones de cada uno de los extractos antes de haberse realizado la prueba de identificación de *flavonoides*.

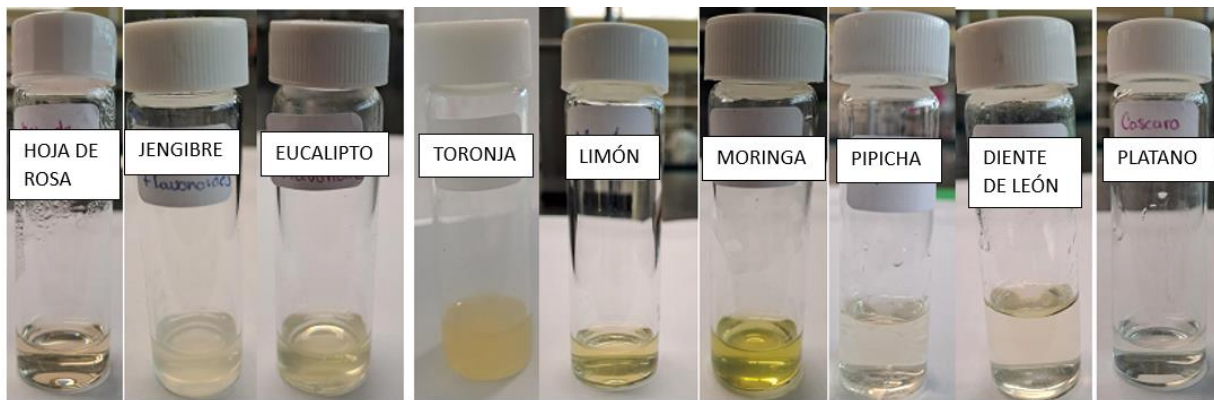


Figura 3.3. Extractos preparados antes de realizarles la prueba para la identificación de flavonoides

En la figura 3.4 se aprecian las soluciones de los extractos vegetales después de haberse realizado el ensayo anteriormente mencionado, se observa que en todas las disoluciones de los extractos se

tornaron de color rosa indicando la presencia de *flavonoides* en la estructura química de los extractos, excepto para el caso de la *cascara de plátano* que no cambio de color manteniéndose sin color, adicionalmente se puede observar de la figura 3.4 que para algunos extractos también es visible la presencia de una coloración marrón en la fase orgánica la cual según la literatura se considera positiva de la presencia de flavonoides, tal es el caso de la *cascara de limón*, *cascara de toronja*, *hojas de moringa*, *pipicha* y *diente de león*.



Figura 3.4. Prueba de “*Ensayo de Shinoda*” para la identificación de flavonoides.

Tabla 3.4. Color adquirido de los extractos vegetales en la prueba de “*Ensayo de Shinoda*” en la identificación de *flavonoides*

Tabla 3.4. Color adquirido de los extractos vegetales en la prueba de “*Ensayo de Shinoda*”

Extracto	“ <i>Ensayo de Shinoda</i> ”: <i>flavonoides</i>
<i>Cascara de plátano</i>	Rosa tenue
<i>Cascara de toronja</i>	Fase orgánica marrón- disolución rosa
<i>Cascara de limón</i>	Fase orgánica marrón, disolución rosa
<i>Jengibre</i>	Rosa claro
<i>Hojas de moringa</i>	Fase orgánica marrón- disolución rosa
<i>Hojas de eucalipto</i>	Rosa claro
<i>Pipicha</i>	Fase orgánica marrón- disolución rosa
<i>Diente de león</i>	Fase orgánica marrón- disolución rosa
<i>Hoja de rosa</i>	Rosa intenso

c) Ensayo para taninos: “Ensayo de la gelatina-sal”,

En la identificación los taninos presentes en las muestras de los extractos se aplicó la prueba de “Ensayo de la gelatina-sal”, esta considera positiva si observa la formación un precipitado en la disolución que se está estudiando.

El precipitado que se forma es debido a que los taninos presentes en la muestra reaccionan con las proteínas formando precipitados insolubles. En la disolución de gelatina las proteínas que están presentes en la grenetina de la gelatina reaccionan con los *taninos* contenidos en las disoluciones de los extractos vegetales.

En la figura 3.5 se muestra la imagen de las coloraciones de cada uno de los extractos antes de haberse realizado el ensayo gelatina-sal en la identificación de *Taninos*.

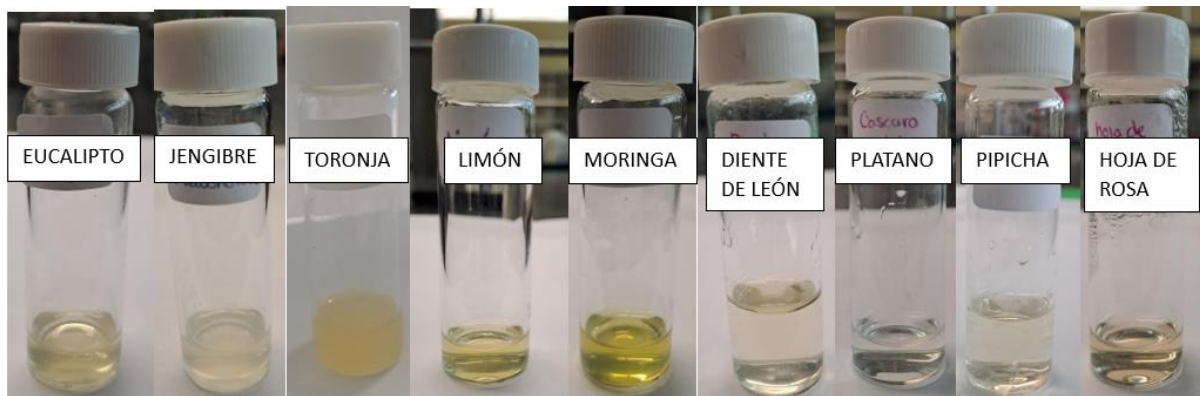


Figura 3.5. Extractos preparados antes de realizarles el Ensayo gelatina-sal en la identificación de Taninos.

Para los extractos de *eucalipto*, *jengibre*, *cascara de toronja*, *cascara de limón* y *moringa* se apreció en las muestras una turbidez que se debe a la presencia de un sólido insoluble en suspensión por lo que se considera la prueba positiva de la presencia de *taninos* en estos extractos. Para el caso de los extractos *diente de león*, *cascara de plátano*, *pipicha* y *hoja de rosa* no se apreció ninguna turbidez, por lo que se puede deducir que si puede haber presencia de *taninos* pero la concentración es muy baja a el límite de detección de la técnica utilizada en ellos (Ardoino, 2013). En la figura 3.6 se muestra la fotografía de los resultados obtenidos.

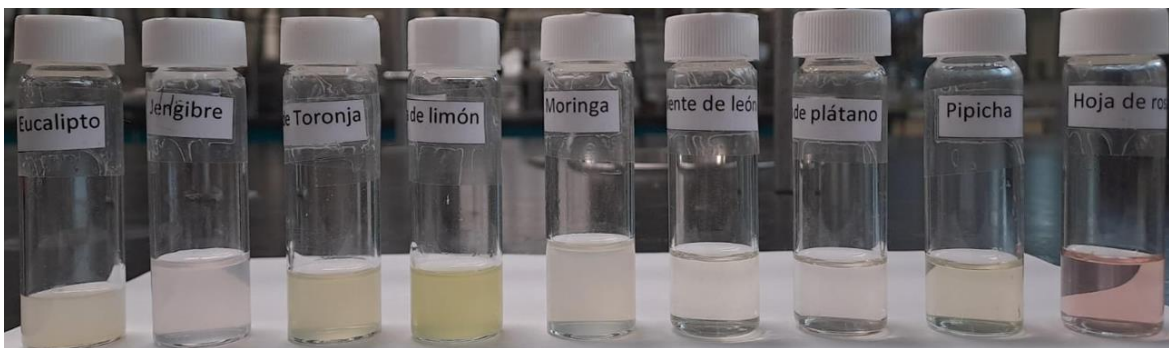


Figura 3.6. Prueba del *ensayo gelatina-sal* en la identificación de *taninos*

En la Tabla 3.5, se muestran el cambio de turbidez de los extractos vegetales en la prueba del ensayo gelatina-sal en la identificación de *taninos*.

Tabla 3.5. Color adquirido de los extractos vegetales en la prueba del ensayo gelatina-sal en la identificación de *taninos*.

Extracto	<i>“Ensayo de la gelatina-sal”: Taninos</i> Apariencia de la muestra
<i>Cascara de plátano</i>	Sin turbidez
<i>Cascara de toronja</i>	Turbidez amarilla
<i>Cascara de limón</i>	Turbidez amarilla
<i>Jengibre</i>	Turbidez blanca
<i>Hojas de moringa</i>	Turbidez blanca
<i>Hojas de eucalipto</i>	Turbidez blanca
<i>Pipicha</i>	Sin turbidez con cambio de color a Amarillo pálido
<i>Diente de león</i>	Sin turbidez
<i>Hoja de rosa</i>	Sin turbidez con cambio de color a rosa

3.3. Tratamiento químico de las placas radiográficas

Para la recuperación de la plata metálica contenida en las placas radiográficas fue necesario realizarles un tratamiento químico con la finalidad de liberar la plata contenida en forma de haluro.

El tratamiento químico consistió en varias etapas: inició con la recuperación de plata en forma de *nitrato de plata* en disolución (AgNO_3), posteriormente la disolución obtenida fue tratada con cloruro de amonio con la finalidad de generar el *cloruro de plata* (AgCl) en cual fue tratado con una disolución de hidróxido de amonio hasta obtener la plata acomplejada en el *compuesto cloruro de diaminplata* ($[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$), compuesto que finalmente fue empleado en la reducción de la plata con los extractos vegetales. A continuación, se dan los detalles de cada una de las reacciones químicas que se llevaron a cabo en cada etapa del tratamiento químico de las placas radiográficas.

3.3.1. Obtención del nitrato de plata en disolución AgNO_3 .

El tratamiento químico de 100 g de placas radiográficas se llevó a cabo por una digestión ácida con ácido nítrico (HNO_3) al 30%. El ácido nítrico reaccionó con la emulsión de halogenuro de plata con el que se encuentran cubiertas las placas (González et al., 1996), se observó la formación de una disolución amarilla en los primeros minutos de la reacción, en donde se encuentra la plata en forma de nitrato de plata en disolución. En la figura 3.7, se muestra la imagen de este proceso.

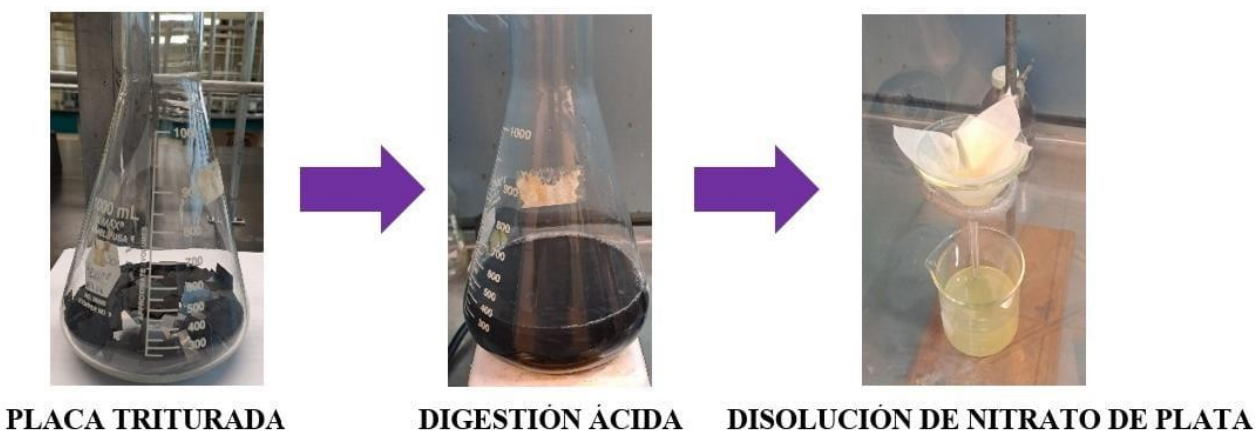


Figura 3.7. Proceso de la digestión ácida de las placas radiográficas con HNO_3 al 30%.

La reacción química que se llevó a cabo como se ilustra en el esquema 3.1. La emulsión de halogenuro de plata reacciona con el ácido nítrico dando como resultado nitrato de plata en disolución y como subproductos monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno ambos en estado gaseoso, y agua (Skoog, 2010).



Esquema 3.1 Reacción de la plata con ácido nítrico

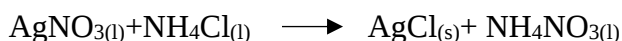
3.3.2. Síntesis del cloruro de plata AgCl

Una vez obtenido el nitrato de plata en forma de una disolución amarilla se hizo reaccionar con cloruro de amonio con la finalidad de obtener la plata en forma de cloruro de plata (AgCl), este se formó de manera instantánea, es decir desde el primer momento de la interacción del cloruro de amonio con la disolución amarilla conteniendo el nitrato de plata en disolución, se apreció en forma de un sólido blanco que posteriormente precipito al fondo del recipiente. La figura 3.8 muestra la fotografía de la formación y precipitación del AgCl (Douglas et al., 2007).



Figura 3.8. Imagen de formación del AgCl

El nitrato de plata que se encuentra en medio ácido en forma de disolución se hizo reaccionar con NH_4Cl de lo cual se obtuvo un sólido blanco que corresponde a cloruro de plata AgCl y el subproducto en disolución NH_4NO_3 , la reacción química ocurrida se muestra en el esquema 2.1 (Douglas et al., 2007).



Esquema 3.2 Reacción de nitrato de plata con cloruro de amonio.

El cloruro de plata fue separado por filtración y lavado varias veces con agua destilada y posteriormente llevado a sequedad.

Este proceso se llevó a cabo con tres muestras de 100 g de placas radiográficas para contar con un promedio de cloruro de plata que se puede obtener a partir de 100 g de radiografías. En la tabla 3.6 se resumen la cantidad de cloruro de plata en cada uno de los procesos, así como el promedio calculado.

Tabla 3.6. Cloruro de plata obtenida de 100 g de placas radiográficas.

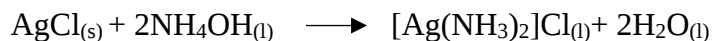
Muestras de 100 g de placas radiográficas	Cloruro de plata $\text{AgCl}_{(s)}$ obtenido (g)
Muestra 1	0.9104
Muestra 2	0.8194
Muestra 3	0.8793
Promedio	0.8697

La cantidad de cloruro de plata que se obtuvo en promedio fue de 0.8697 g por 100 g de radiografías. Como es de esperarse la cantidad de AgCl obtenida en los tres casos no es la misma debido a que la cantidad de plata depende de las condiciones de la placa radiográfica utilizada.

3.3.3. Síntesis del compuesto diaminplata

El diaminplata(I) se preparó con el cloruro de plata obtenido del tratamiento de las placas radiográficas, para su síntesis se utilizó 1.0 g de cloruro de plata, este fue tratado con hidróxido de amonio al 30%. El cloruro de plata reacciona con el hidróxido de amonio con la consecuente formación del cloruro de diaminplata en disolución acuosa y agua, la disolución acuosa del diaminplata es incolora.

El esquema 3.3, muestra la reacción ocurrida.

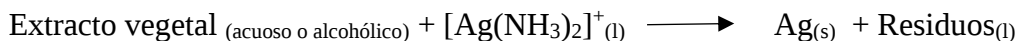


Esquema 3.3 Reacción de cloruro de plata con hidróxido de amonio

Una vez obtenido el compuesto cloruro de diaminplata se procedió a realizar la recuperación de la plata utilizando los extractos vegetales como agentes reductores.

3.4. Recuperación de la plata con los extractos vegetales acuosos y etanólicos.

La recuperación de la plata se llevó a cabo a través del proceso de reducción química usando como agentes reductores de la plata los extractos vegetales. Se utilizaron los extractos de plantas empleando como solventes agua y etanol. El proceso de reducción de la plata se llevó a cabo a través de la reacción química entre el cloruro diaminplata $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ y los extractos vegetales. El esquema 3.4 muestra la reacción química ocurrida.



Esquema 3.4 reacción de reducción de la plata con extractos naturales

El $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ reacciona lentamente con los polifenoles de los extractos tanto en solución acuosa como en solución alcohólica (en etanol), originando que los iones plata se reduzcan a plata metálica por la presencia de electrones originados por la oxidación de los extractos vegetales. (Skoog, 2002).

En el momento que los extractos acuosos y etanólicos interaccionaron con el compuesto cloruro de diaminplata se observó la formación de plata metálica en forma pequeñas partículas, evidencia de la reducción de la plata generada por la presencia de los extractos vegetales. En el esquema 3.5 se muestra la reacción.



Esquema 3.5 Reacción de reducción Ag^+ a Ag^0

A continuación, se muestran y discuten los resultados de los dos procesos con extractos acuosos y alcohólicos.

4.4.1. Recuperación de la plata con los extractos acuosos.

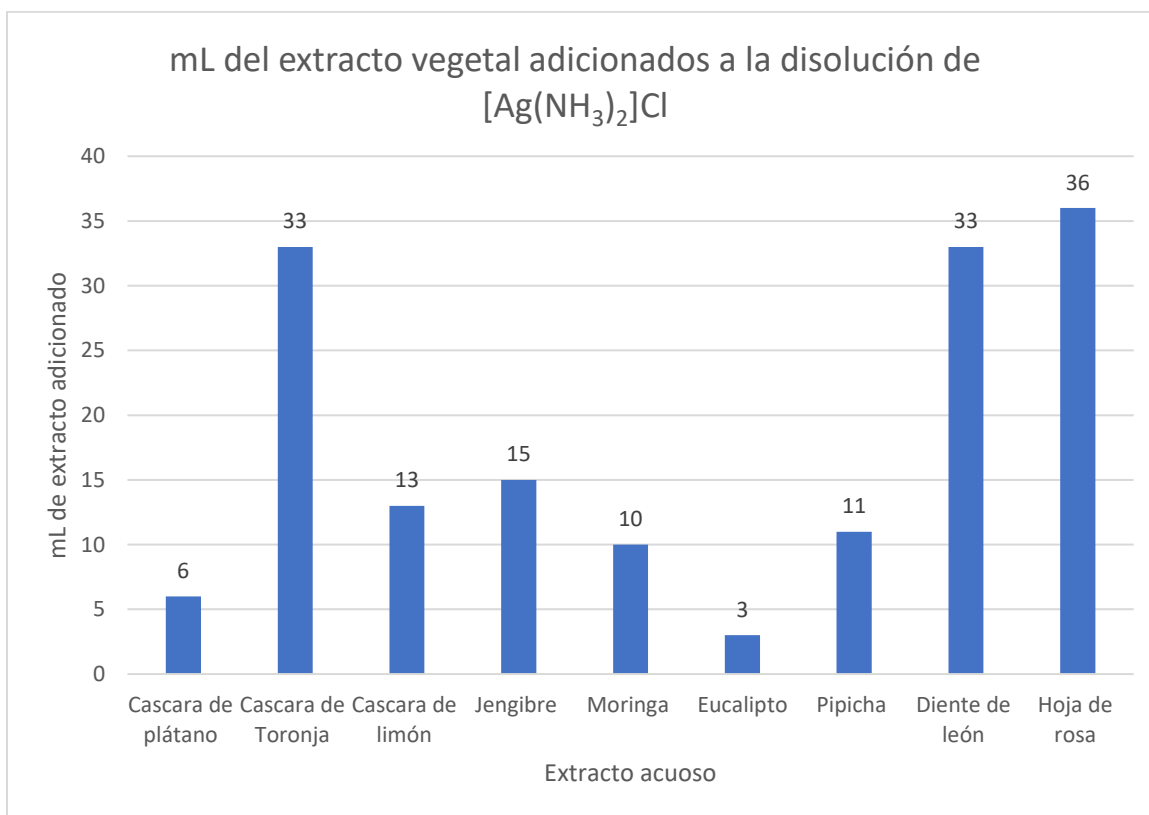
La recuperación de la plata con los extractos vegetales preparados con agua como solvente, se llevó a cabo en un vaso de precipitado conteniendo 50 mL de la disolución cloruro de diaminoplatina $[Ag(NH_3)_2]Cl$, los extractos acuosos fueron adicionados gota a gota con agitación constante a temperatura ambiente. Es importante mencionar que la cantidad adicionada de los extractos acuosos no fue la misma en todos los casos, esta se adicionó en función a lo observado ya que los extractos se comportaron de manera diferente como era de esperarse debido a que su composición química es distinta. Con algunos de ellos solo fue necesario la adición de unos pocos mililitros de extracto, para observar las pequeñas partículas de plata que se estaban formando, sin embargo, para otros fue necesario adicionar mayor cantidad de extracto.

En la tabla 3.7 se encuentran las cantidades en mililitros utilizados de cada uno de los extractos.

Tabla 3.7 Extractos vegetales acuosos y la cantidad adicionada en mL del extracto vegetal

Extracto vegetal acuoso	mL del extracto vegetal adicionados a la disolución de $[Ag(NH_3)_2]Cl$	Color de la disolución después de la adición del extracto vegetal
<i>Cascara de plátano</i>	6.0	Amarillo
<i>Cascara de toronja</i>	33.0	Amarillo
<i>Cascara de limón</i>	13.0	Amarillo marrón
<i>Jengibre</i>	15.0	Amarillo
<i>Moringa</i>	10.0	Ámbar
<i>Eucalipto</i>	3.0	Amarillo- café
<i>Pipicha</i>	11.0	Verde amarillento
<i>Diente de león</i>	33.0	Amarillo
<i>Hoja de rosa</i>	36.0	Amarillo

En el gráfico 3.3 muestra la cantidad adicionada en mL de cada uno de los extractos vegetales hasta observar la formación de la plata en pequeñas partículas flotando en la disolución, en donde se puede apreciar la comparación de las cantidades empleadas entre ellos.



Gráfica 3.3. Cantidad en mL del extracto vegetal acuoso adicionados a la disolución de $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$.

Se observa en la gráfica anterior que para el caso de la adición de los extractos acuosos de *eucalipto* y *cascara de plátano* se utilizó menos cantidad de extracto vegetal siendo adicionados para cada uno 3 y 6 mL respectivamente, este resultado corresponde perfectamente a la cantidad de polifenoles en su estructura química según los resultados obtenidos de la curva de calibración, mostrando su capacidad reductora sobre la plata iónica. Para el caso de los extractos vegetales de la *cascara de limón*, *jengibre*, *hojas de moringa* y *pipicha* se utilizó una cantidad mayor de extracto entre los 10 a 15 mL, mientras que, para el *diente de león*, *cascara de toronja* y *hoja de rosa* se puede ver que se utilizó una mayor cantidad de extracto acuoso que en el de los casos anteriores rebasando los 30 mL ya que en estos no se observaba cambio inmediatamente.

Una vez adicionados los extractos acuosos, a los pocos minutos se observó la formación de un polvo blanco metálico en la parte superior de la disolución, y poco a poco se formó una especie de capa metálica sólida de color plateado brillante en la parte superior de la disolución con un consecuente cambio de color de la disolución. Este resultado es considerado como una evidencia de la reducción de la plata iónica Ag^+ a plata metálica Ag^0 y al mismo tiempo se corrobora su poder antioxidante de los extractos vegetales estudiados en este trabajo.

En la figura 3. 9 se muestran fotografías en donde se observa la capa plateada y brillante que se formó al adicionar los extractos a la disolución de cloruro de diaminplata.

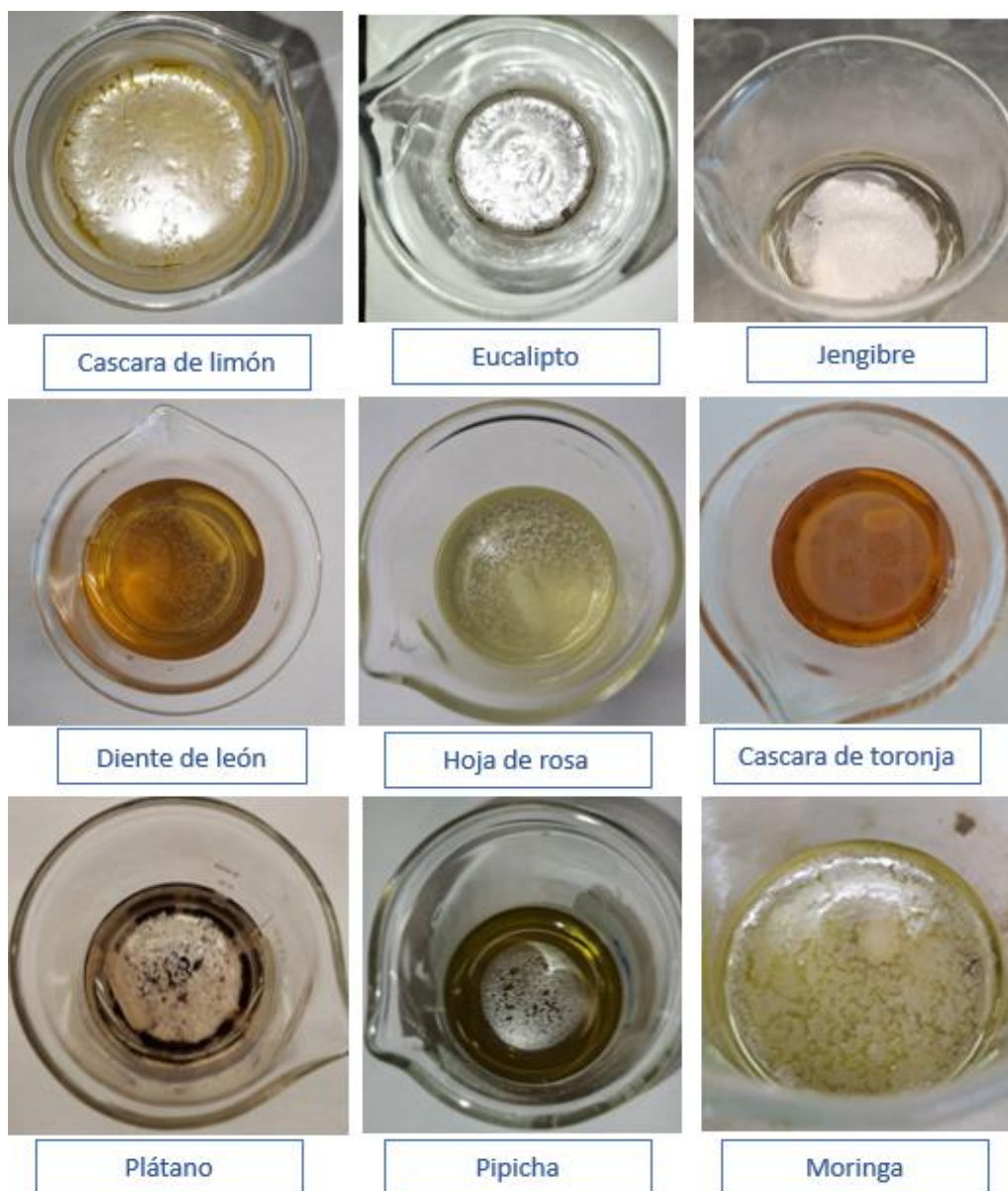


Figura 3.9. Capa de plata formada por la reducción de la plata iónica a plata metálica generada por la adición de los extractos vegetales acuosos *cascara de limón*, *eucalipto*, *jengibre*, *pipicha*, *moringa*, *hoja de rosa*, *cascara de toronja*, *diente de león* y *plátano*.

Se aprecia en algunos casos que la capa plateada que se forma no es igual de abundante, puesto que la acción de los extractos como agentes reductores no lo hacen con la misma efectividad ya que su composición química es diferente. La apariencia y cantidad de la plata recuperada varían dependiendo del extracto utilizado debido a su composición química, así se aprecia que para el caso de la aplicación del extracto de *cascara de limón*, *eucalipto*, *jengibre*, *cascara de plátano*, *pipicha* y *hojas de moringa* se forma una capa brillante y abundante y para el caso de los extractos de *diente de león*, *hoja de rosa* y *cascara de toronja* la capa es muy delgada.

Como es de esperarse el comportamiento antioxidante de los extractos vegetales no es el mismo ya que la cantidad y composición química de ellos es diferente, es decir poseen diferentes compuestos químicos que actúan de forma diferente lo que hace que algunos de ellos presentes mayor poder reductor como es el caso del extracto acuoso de las *hojas de eucalipto* con el cual solamente se utilizaron 3 mL, suficiente para reducir la plata presente en la disolución en forma iónica a plata cero. Así como también se aprecia que con algunos extractos vegetales se necesitaron más de 30 mL, como es el caso de la *cascara de toronja*, *la hoja de rosa* y *diente de león*.

La plata formada fue recuperada por filtración, lavada varias veces con agua destilada y posteriormente llevada a sequedad en una estufa, finalmente se pesó para saber la cantidad de plata recuperada. La figura 3.10 muestra la fotografía de la plata recuperada con el extracto de las hojas de Eucalipto.



Figura 3.10. Imágenes de la plata recuperada con el extracto acuoso de las hojas de *eucalipto*.

La figura 3.11, se muestra la apariencia de la plata con cada uno de los extractos vegetales acuosos.

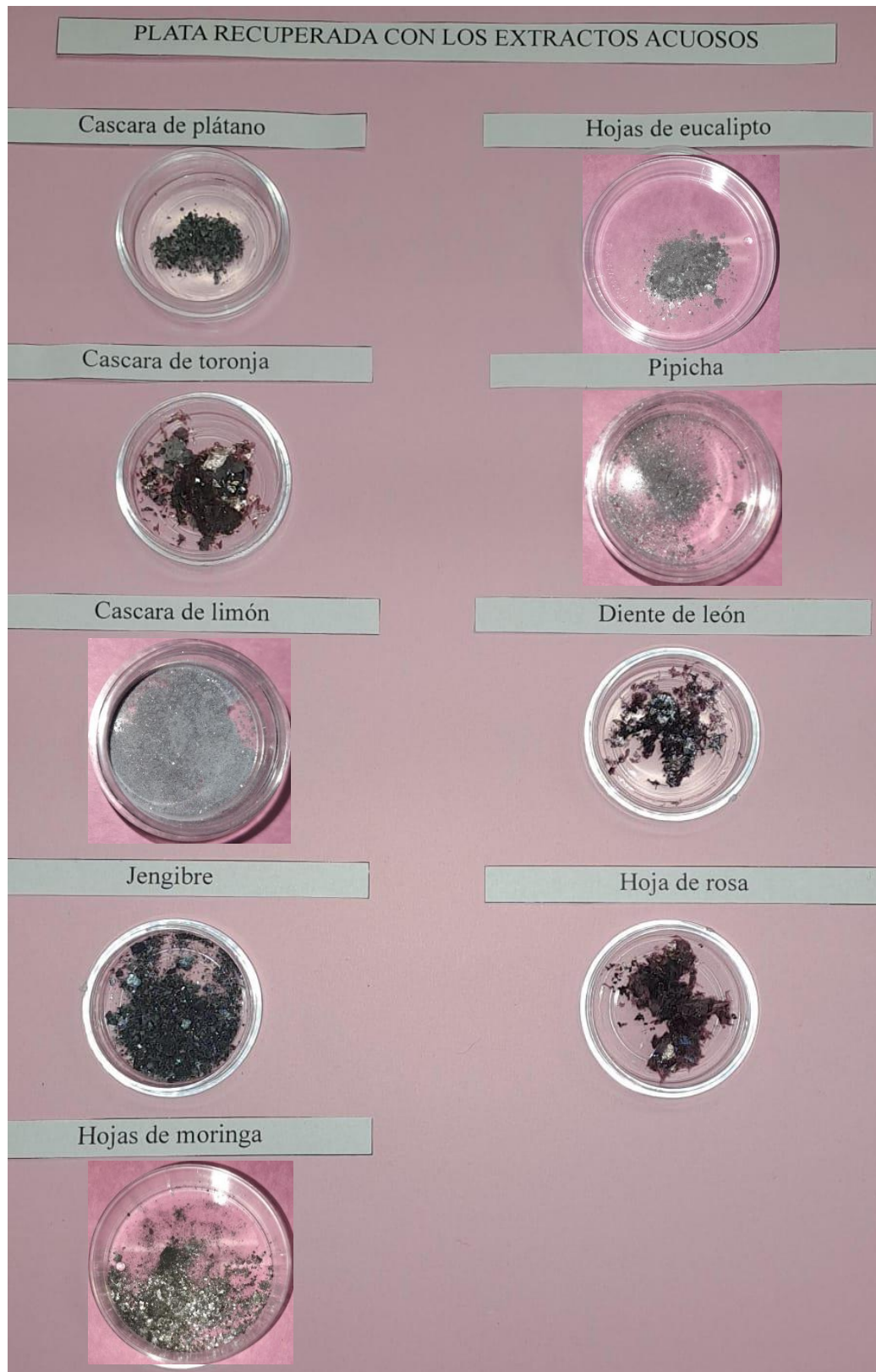


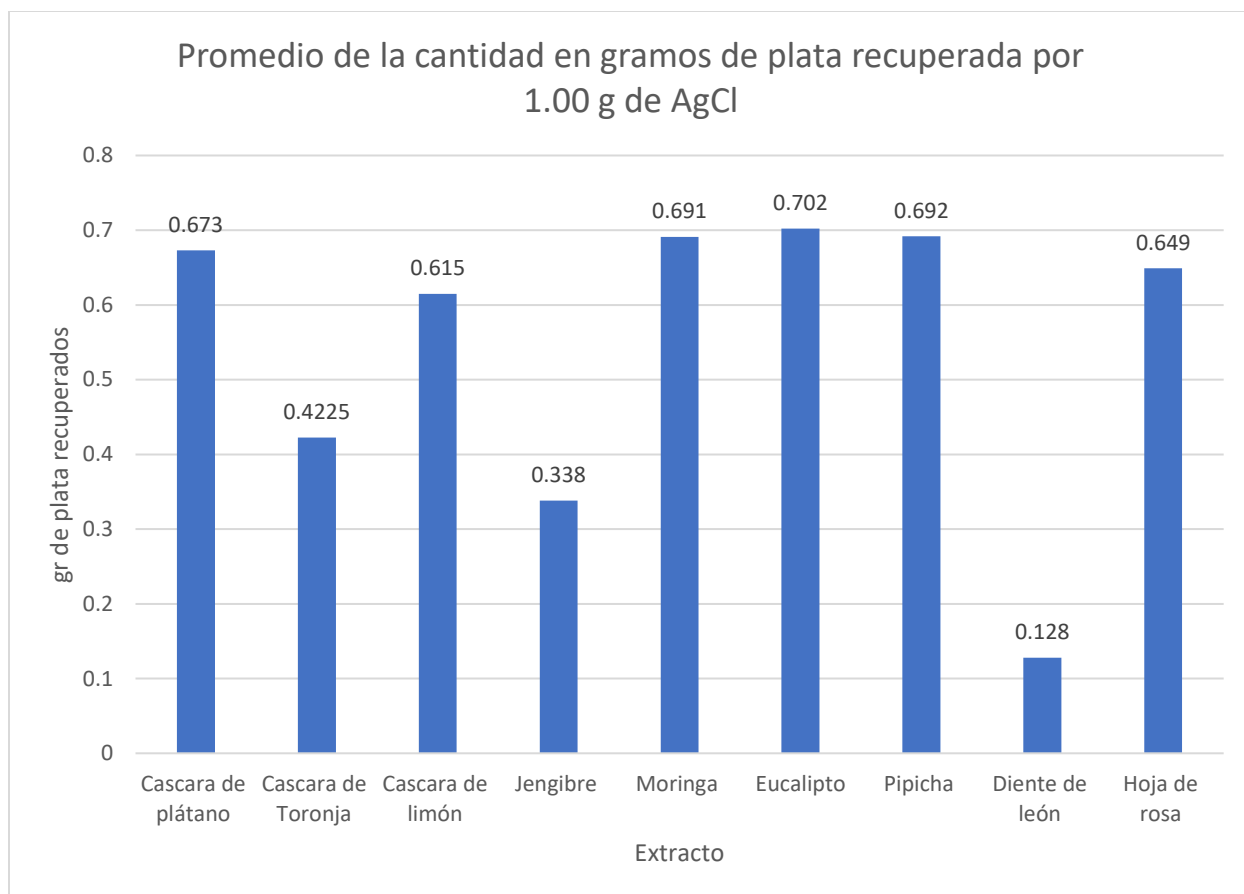
Figura 3.11 Plata metálica obtenida con cada uno de los extractos acuosos.

Este procedimiento se realizó 3 veces, con la finalidad de obtener un promedio de la cantidad de plata obtenida por un gramo de cloruro de plata utilizado.

En la Tabla 3.8, se aparece la cantidad en gramos de la plata recuperada de con cada uno de los extractos acuosos y en forma de imagen en el gráfico 3.4.

Tabla 3.8. Plata recuperada con cada uno de los extractos vegetales acuosos.

Extractos vegetales acuosos	Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.0 g de AgCl	Rendimiento de plata en % por 1.0 g de AgCl
<i>Cascara de plátano</i>	0.673	89.42
<i>Cascara de toronja</i>	0.4225	56.13
<i>Cascara de limón</i>	0.615	81.71
<i>Jengibre</i>	0.338	44.91
<i>Moringa</i>	0.691	91.81
<i>Eucalipto</i>	0.702	93.27
<i>Pipicha</i>	0.692	91.94
<i>Diente de león</i>	0.128	17.00
<i>Hoja de rosa</i>	0.649	86.23



Grafica 3.4. Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.00 g de AgCl

Como se observa en la gráfica 3.4 fue con el extracto vegetal acuoso de las hojas de *eucalipto* con el que obtuvo una mayor cantidad de plata metálica 0.702 gramos, de buen color y buena apariencia, con un rendimiento de 93.27 % dando evidencia de su buen comportamiento como agente antioxidante, así como con los extractos de los vegetales de *cascara de plátano*, *pipicha* y *moringa* con rendimientos de 89.46 %, 91.94 %, 91.81 % respectivamente. Con el extracto acuoso de la *hoja rosa* se determinó un rendimiento de 86.23 %, El extracto de *cascara de toronja* mostraron un rendimiento menor de 56.13 % y el del *jengibre* de 44.91 %, y para el extracto del *diente de león* un rendimiento muy pequeño de 17 %. Es evidente que el poder reductor de los extractos vegetales acuosos no es el mismo.

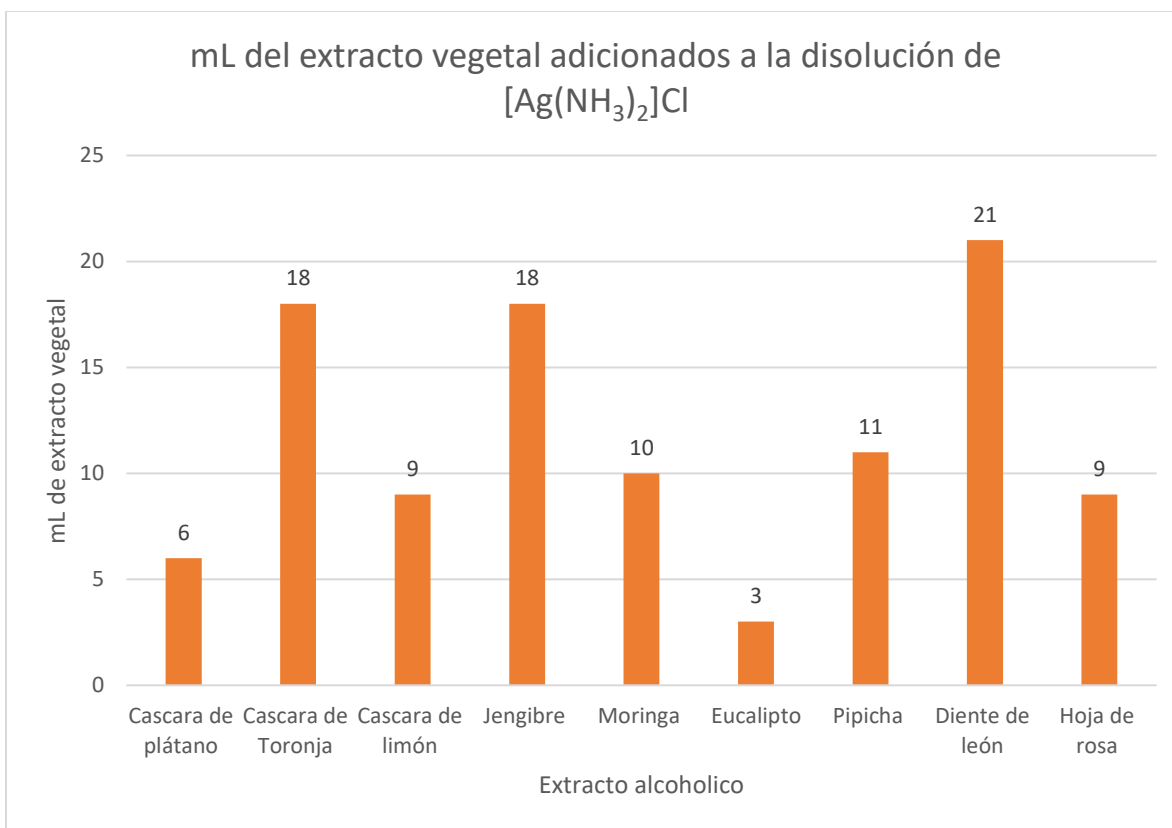
3.4.2. Recuperación de la plata con los extractos alcohólicos.

Para el caso de la recuperación de la plata con los extractos vegetales preparados con etanol como solvente, se utilizaron 50 mL de la disolución cloruro de diaminplata $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$, los extractos etanólicos se adicionaron gota a gota con agitación constante a temperatura ambiente hasta observar la aparición de pequeñas partículas de plata flotando en la disolución. La cantidad adicionada necesaria de cada extracto etanólico fue diferente, dependiendo del extracto en cuestión ya que como se comentó anteriormente cada vegetal empleado tiene diferente composición química con respecto a los metabolitos presentes que son los responsables de su poder reductor. En la tabla 3.9 se encuentran las cantidades en mililitros utilizados de cada uno de los extractos etanólicos.

Tabla 3.9 Extractos vegetales alcohólico y la cantidad adicionada en mL del extracto vegetal

Extracto vegetal alcohólico	mL del extracto vegetal adicionados a la disolución de $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$	Color de la disolución después de la adición del extracto vegetal
<i>Cascara de plátano</i>	6.0	Gris
<i>Cascara de toronja</i>	18.0	Naranja lechoso
<i>Cascara de limón</i>	9.0	Blanco lechoso
<i>Jengibre</i>	18.0	Amarillo ámbar
<i>Moringa</i>	10.0	Verde
<i>Eucalipto</i>	3.0	Café
<i>Pipicha</i>	11.0	Amarillo ámbar
<i>Diente de león</i>	21.0	Amarillo lechoso
<i>Hoja de rosa</i>	9.0	Gris

La gráfica 3.5 muestra la cantidad de adicionados de cada extracto etanólico a la disolución del compuesto cloruro de diaminplata, hasta la aparición de pequeñas partículas de plata metálica flotando en la disolución.



Gráfica 3.5. Cantidad en mL de extracto vegetal alcohólico adicionados a la disolución de $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$.

Al interaccionar los extractos alcohólicos con el compuesto cloruro de diaminplata se observó casi de manera inmediata la presencia de un polvo plateado en la parte superior de la disolución y poco a poco en algunos casos se formó una capa de plata brillante como una especie de una nata flotando en la disolución, poniendo en evidencia el poder reductor de los extractos vegetales en disolución alcohólica y de la reducción de la plata iónica Ag^+ a plata metálica Ag^0 . Este proceso fue más rápido que el ocurrido con los extractos acuosos ya que probablemente en el etanol se disolvieron mayor cantidad y de otro tipo de los metabolitos presentes en las plantas empleadas.

En la figura 3.12 se aprecian fotografías de la capa de plata que se formó al reducirse la plata iónica por la interacción de los extractos alcohólicos y el compuesto cloruro de diaminplata .



Figura 3. 12. Capa de plata formada al reducirse la plata iónica por la interacción de los extractos alcohólicos y el compuesto cloruro de diaminplata .

Se aprecia en la figura 3.12, con algunos extractos etanólicos la capa de plata es más gruesa como es el caso de la adición de los extractos de la *cascara de limón*, *hojas de eucalipto*, *cascara de plátano* y *pipicha*. En el caso de la adición de los extractos de *jengibre*, *diente de león*, *hoja de rosa* y *cascara de toronja* la capa de plata formada se apreció de muy poco grosor.

La capa de plata se fue precipitando poco a poco al fondo del recipiente. La apariencia y cantidad de la plata recuperada varían dependiendo del extracto utilizado debido a su composición química y al disolvente utilizado en este caso es el etanol.

La plata formada de igual manera que en el caso anterior con los extractos en disolución acuosa se recuperó por filtración, lavada varias veces con agua destilada y posteriormente llevada a sequedad en una estufa, finalmente se pesó para saber la cantidad de plata recuperada. La Figura 3.13 muestra la fotografía de la plata recuperada con el extracto etanólico de las *hojas de Eucalipto*.



Figura 3.13. imágenes de la plata recuperada con el extracto alcohólico de las hojas de Eucalipto.

La Figura 3.14, se muestra la apariencia de la plata con cada uno de los extractos vegetales preparados con etanol como solvente.

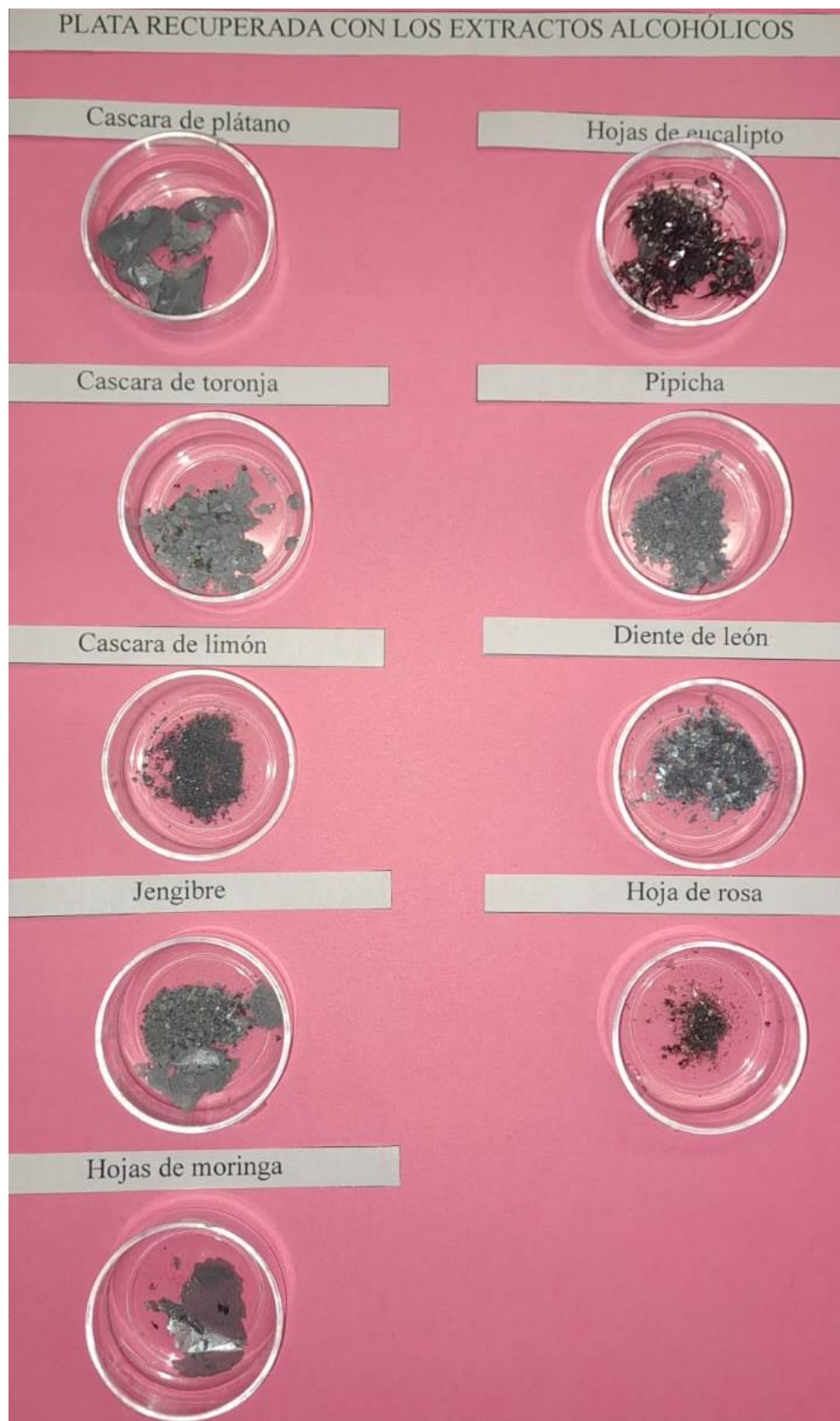


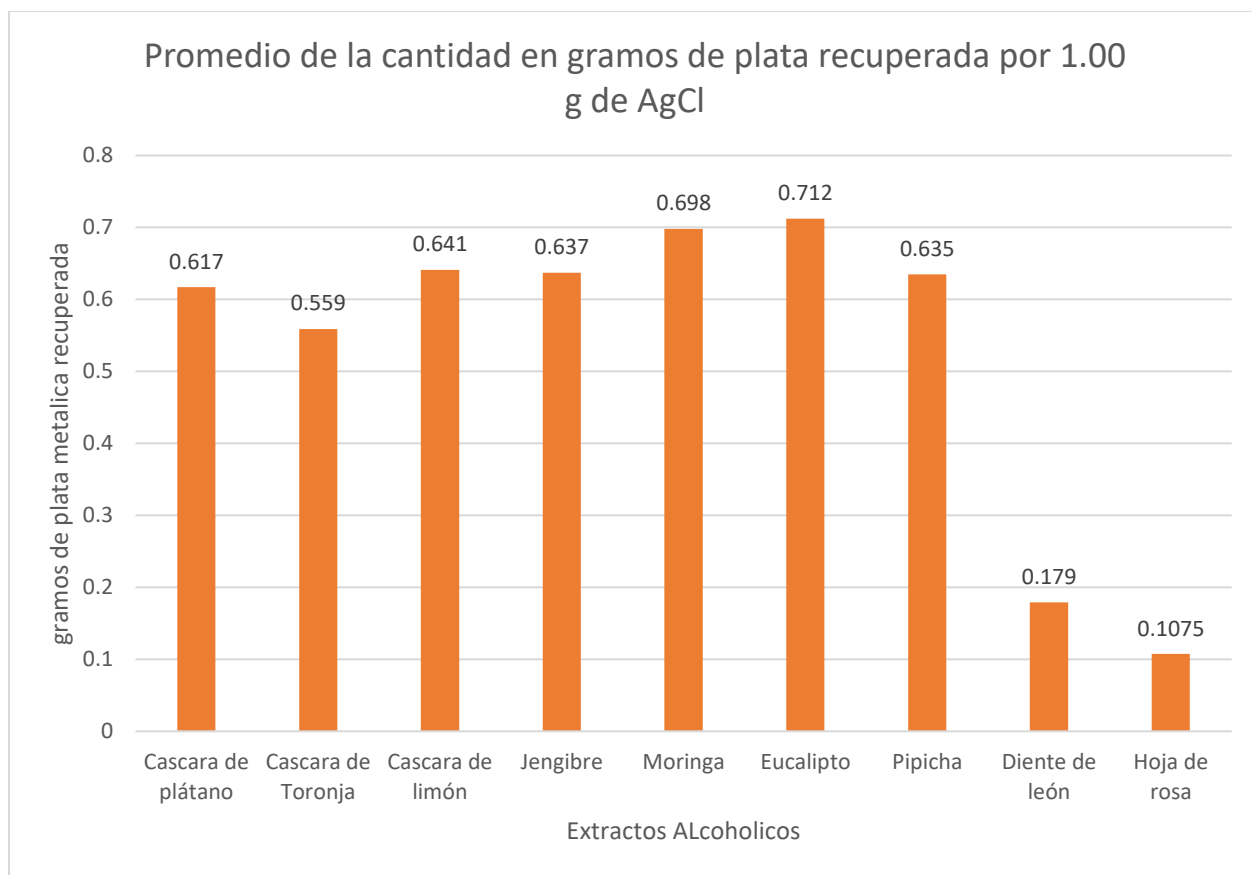
Figura 3.14. Plata metálica obtenida con cada uno de los extractos alcohólicos.

En la tabla 3.10 se observa la cantidad de plata recuperada con los extractos preparados con etanol de la reacción con el compuesto cloruro de diaminplata que se preparó a partir de 1.0 g de AgCl.

Tabla 3.10. Plata recuperada de con cada uno de los extractos etanólicos.

Extractos alcohólicos	Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.0 g de AgCl	Rendimiento de plata en % por 1.0 g de AgCl
<i>Cascara de plátano</i>	0.617	81.98
<i>Cascara de toronja</i>	0.559	74.2
<i>Cascara de limón</i>	0.641	85.17
<i>Jengibre</i>	0.637	84.63
<i>Moringa</i>	0.698	92.74
<i>Eucalipto</i>	0.712	94.60
<i>Pipicha</i>	0.635	84.37
<i>Diente de león</i>	0.179	23.78
<i>Hoja de rosa</i>	0.107	14.28

A continuación, se muestra en la gráfica 3.6 contiene los datos obtenidos es la tabla 3.10 donde se aprecia mejor la comparación de la plata recupera en 1.0 g de AgCl con cada extracto en disolvente alcohólico.



Gráfica 3.6 Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.0 g de AgCl

Como se observa en la gráfica 3.6 para el extracto de *diente de león* en medio alcohólico se obtuvieron valores en gramos bajos de plata metálica, con un rendimiento de 23.78% de la misma forma que se observó con su extracto acuoso, por lo que se puede inferir el bajo efecto como agentes reductores de la plata.

Para el caso del extracto de *hoja de rosa* con etanol el rendimiento todavía fue más bajo con un 14.28% de rendimiento, caso contrario a lo que ocurrió con el extracto acuoso que presentó un rendimiento 83.23%, esto se puede deber a que algunos polifenoles presentes en la estructura química de la hoja de rosa son solubles en agua y otros no lo son, así como poseen polifenoles que son solubles en etanol, esto es debido a que los polifenoles contenidos en este vegetal se asemejan en su polaridad a la de los diferentes disolventes empleados.

El extracto etanólico y acuoso de la *cascara de plátano* presentó un comportamiento similar en ambos casos con un porcentaje de rendimiento de 89.42 % en agua y 81.93 % en etanol, por los

resultados con estos extractos se puede interpretar que la hoja de plátano posee en su composición química polifenoles con buenas propiedades como antioxidantes.

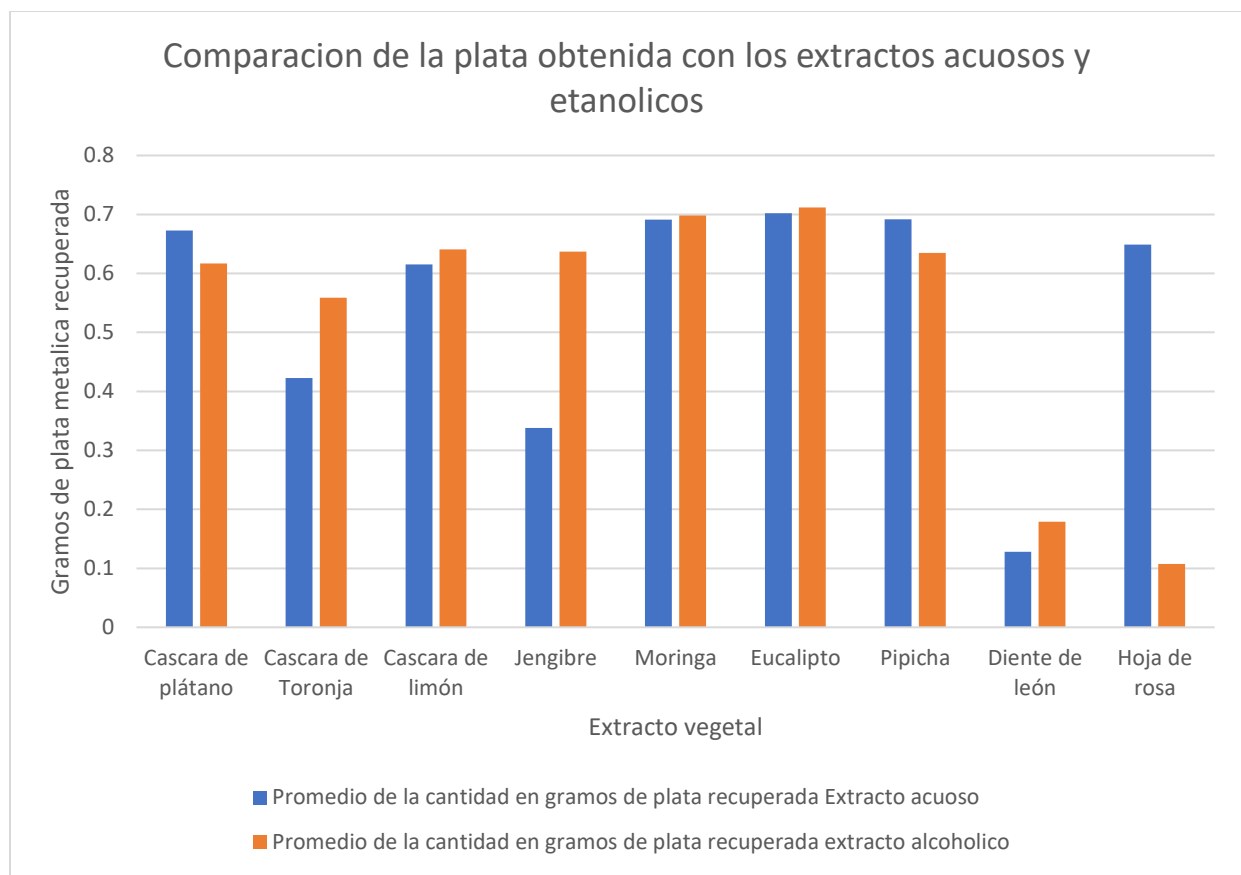
Para los extractos de la *cascara de toronja* y la *cascara de limón* se observó un incremento en el rendimiento con los extractos preparados con etanol siendo para la *cascara de toronja* 74.27% en etanol y 56.13% en agua y los resultados con la *cascara de limón* en etanol de 85.17% y en agua 81.71%.

Con los extractos con los que se observó mejor rendimiento fue con los extractos de *eucalipto*, *moringa* y la *pipicha* con un rendimiento de 94.60 %, 92. 74 % y 84.37% respectivamente.

Como conclusión del análisis de los resultados obtenidos con el empleo de los extractos acuosos y alcoholicos en la recuperación de la plata se puede inferir que depende mucho de los extractos utilizados y de sus propiedades reductoras, así como el disolvente ocupado. Las comparaciones de los resultados de la cantidad recuperada de la plata con ambos solventes se muestran en la Tabla 3.11, y en la Gráfica 3.7 se aprecian los resultados en forma gráfica.

Tabla 3.11 Cantidad en gramos de plata obtenidos con los extractos vegetales acuosos y alcohólicos

Extracto vegetal	Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.0 g de AgCl extracto acuoso	Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.0 g de AgCl extracto alcohólico
<i>Cascara de plátano</i>	0.673	0.617
<i>Cascara de toronja</i>	0.4225	0.559
<i>Cascara de limón</i>	0.615	0.641
<i>Jengibre</i>	0.338	0.637
<i>Moringa</i>	0.691	0.698
<i>Eucalipto</i>	0.702	0.712
<i>Pipicha</i>	0.692	0.635
<i>Diente de león</i>	0.128	0.179
<i>Hoja de rosa</i>	0.649	0.1075



Gráfica 3.7 Promedio de la cantidad en gramos de plata recuperada por 1.0 g de AgCl con los extractos acuosos y etanólicos.

En la gráfica 3.7 se puede apreciar la comparación de la cantidad de plata obtenida en gramos utilizando cada uno de los diferentes extractos vegetales en medio acuoso y alcohólico, como se aprecia existen variaciones en la cantidad de plata obtenida con algunos de los extractos, a continuación, se describen cada uno de los extractos empleados la recuperación de la plata con los diferentes disolventes:

Para el *diente de león* se puede apreciar en la gráfica que en ambos medios nos dieron valores similares, estos valores fueron los más bajos obtenidos en la gráfica, esto puede deberse a que este extracto no contenga muy buenas propiedades antioxidantes, o también que los polifenoles presentes en este vegetal no sean afines en su polaridad a la de los disolventes adecuados ya que este vegetal muestra una concentración media de estos.

Para el caso de la *hoja de rosa* se puede observar que existe una variación muy grande de plata obtenida con los diferentes disolventes, esto puede deberse a que el agua tiene una polaridad semejante a la de los polifenoles que se encuentran presentes en el extracto y los disuelve mucho mejor dando así un mejor resultado, mientras que el extracto en etanol no obtuvo muy buenos resultados porque probablemente su polaridad difiera más con el etanol que con la del agua, dándonos una cantidad menor a la obtenida con agua, esto puede ser porque el etanol no disuelve mejor los polifenoles contenidos en este vegetal.

El extracto de *cascara de plátano* al igual que el anterior, se obtuvo más plata con el extracto acuoso que con el etanólico sin embargo no hay una diferencia considerable como lo fue el caso anterior con la hoja de rosa, pero de la misma forma se espera que el extracto en agua tiene mejores resultados ya que es más a fin en su polaridad con el agua y se disuelven mejor los polifenoles que el alcohólico.

En el extracto de *pipicha* de igual manera se obtuvo un mejor resultado usando el agua como disolvente que usando el etanol, esto puede deberse a las mismas razones que se dieron en los casos anteriores donde se explica que el agua es más similar en su polaridad con los polifenoles y que por esa razón se obtuvo mayor cantidad de plata.

En la *cascara de toronja*, la *cascara de limón*, la *moringa*, el *eucalipto* y el *jengibre* el resultado usando etanol como disolvente se obtuvo una mayor cantidad de plata, mientras que utilizando los extractos acuosos disminuyo la cantidad de plata con los vegetales mencionados respectivamente. Por lo que se puede inferir que el tipo de disolvente influye en la cantidad de plata que se obtiene empleando los diferentes vegetales ya que algunos polifenoles pueden ser más similares con respecto a su polaridad con el agua que con el etanol y viceversa, por lo que impacta en la cantidad de plata metálica obtenida.

Para el caso de los vegetales elegidos en este trabajo podemos concluir que el etanol se comportó mejor como disolvente de los polifenoles presentes en ellos ya que la cantidad de plata recuperada fue mayor en la mayoría de los extractos vegetales excepto para el caso del extracto la *pipicha* y la *hoja de rosa* que su rendimiento fue mejor con los extractos acuosos.

CONCLUSIONES

- El análisis químico realizado a los extractos de los vegetales elegidos mostró la presencia de polifenoles en su estructura química, sustancias responsables de su comportamiento antioxidante.
- En la recuperación de la plata contenida en las placas radiográficas se utilizaron los extractos vegetales acuosos y en etanol, los resultados demostraron su capacidad antioxidante en ambos casos, precipitando la plata en forma metálica.
- Se logró obtener plata limpia y brillante, con un rendimiento aceptable, que depende de cada uno de los extractos utilizados y de los componentes de cada uno de ellos.
- El rendimiento en ambos casos se considera aceptable al compararlo con el rendimiento calculado teóricamente.
- El uso de extractos vegetales acuosos y etanólicos es una opción eficiente y de bajo costo, así como amigable con el medio.
- Este método ofrece grandes posibilidades ya que en México se cuenta la gran diversidad de plantas con variedad de metabolitos con propiedades reductoras.
- Se plantea seguir los estudios con otros tipos de extractos vegetales y cada vez realizar mejoras al método experimental con la finalidad de obtener mejores resultados.

REFERENCIAS

- Allinger, J., Cava, M., Norma, L. (1984). Química Orgánica. Ed. Reverté. México.
- Ardoino, S.M, Boeris, M.A., Toso, R.E. (2013). Caracterización fitoquímica de *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (algarrobo) y *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (alpataco), plantas con acción farmacológica* Revista Ciencias Veterinarias, Vol. 15, N° 1, 2013.
- Barba, G. (2015). forbes. Obtenido de forbes: <https://www.forbes.com.mx/plata-el-metal-mas-importante-de-nuestro-tiempo/>
- Bard, A. J. y Faulkner, L. R. (2001). Electrochemical methods: Fundamental and applications (2nd ed.). John Wiley and Sons.
- Basolo, F. y Johnson, R. (1980). Química de los compuestos de coordinación. Pp.128-134. Ed. Reverté S.A.
- BioTecnología, (2020). Vol. 24 No. 2
- Brown, T.L., Lemay H. E., Bursten B. E. (1998) Química La ciencia central. Séptima edición. Prentice Hall. 1998.
- Butkovic V, Klasinc L & Bors W (2004) Kinetic study of flavonoid reactions with stable radicals. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 2816-2820.
- Castro, L, D., Bye Boettler, R. A., & Mera Ovando, L. M. (2011). Diagnóstico del pápaloquelite en México *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. var. *macrocephalum* (DC.) Cronq. (Primera). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Cattani ÁPO. (2011). Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de jengibre variedad hawaiano, San Lorenzo provincia de Esmeraldas.
- Chang, R., College Willians. (2002). Química. Séptima edición. Mc.Graw. Hill.
- CITA EN EL TEXTO:(Pipicha por Kilo, s.f.)+
- Cobos, D. S., Elena, M., Juárez, M., Casas, G., Cortés, G. M., Guzmán, E. A., & Cruz, B. V. (2019). Anti-inflammatory and antinociceptive properties of the extracts from the leaves
- Cómo consumir la moringa (beneficios y propiedades). (s.f.). Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/vida/salud-y-familia/7-beneficios-de-la-moringa-como-y-cuanto-consumirla/>

- Conde, E. C., García, V. R. D. (1996). Composición polifenólica de madera, corteza y hojas de Eucalyptus . Invest. Agr; Sist. Recor. For. Vol. 5(2).
- Corral, M. (2020). Jengibre: beneficios, propiedades y valores de la 'super raíz' [Imagen]. El Español. https://www.elespanol.com/ciencia/nutricion/20200908/jengibre-beneficios-propiedades-valores-super-raiz/504200108_0.html
- Cruz-Fernández M. (2007). Variedades de toronja para suelos arcillosos limosos de la Huasteca Potosina. México. 10:22. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmLui/bitstream/handle/123456789/737/176.pdf?sequence=1>.
- De La Rosa-Hernández, M. R. H., Wong-Paz Jorge E., Muñiz-Márquez, D. B. M. M., Carrillo-Inungaray, M. L. C. I., Sánchez-González, J. M. S. G. (2016). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (Citrus paradisi) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 47. <https://www.redalyc.org/pdf/579/57956610003.pdf>
- Douglas, A., Skoog, A., M. Donald, M. W. (2002). Introducción a la química analítica. Ed. Reverté, S.A.
- Emaga T, Andrianaivo R, Whatelet B, Techango J, Paquot M. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. Food Chemistry. 103(2), 590–600.
- ¿El limón es fruta o verdura? » Huerto en casa [Imagen]. (s.f.). Huerto en casa. <https://huerto-en-casa.com/el-limon-es-fruta-o-verdura/>
- Espinoza ,Gutiérrez-Miceli Federico, Ruíz-Valdiviezo Víctor, Montes-Molina Joaquín, Santos Ana. (2020). El papel de los compuestos polifenólicos en la síntesis verde de nanopartículas metálicas.
- F.J. Cabrero. (2004). Imagen radiológica: principios físicos e instrumentación. 1ª Ed. Elsevier Masson, p. 83-90.
- García Martínez, EM.; Fernández Segovia, I.; Fuentes López, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. <http://hdl.handle.net/10251/52056>
- García, A. Á. y Carril, E. P. U. (2011). Metabolismo secundario de plantas. Reduca (biología), 2(3). <https://es.dreamstime.com/imagen-de-archivo-f%C3%B3rmula-estructural-de-la-epicatequina-image22717851>.

- González, R. J., Delabat, R y Muñoz, C. (1996). Tecnología Radiológica. **Ed.** Thomson-*Paraninfo*, Madrid.
- González-Montelongo R, Lobo G, González M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry*. 119(3): 1030–39.
- Guzmán Morales, A. P. (2009). Actividad antioxidante y antimicrobiana del aceite esencial y extractos (crudo, acuoso y etanólico) de Pipicha (*Porophyllum tagetoides*). Universidad Veracruzana.
- Halliwell B. (1989). “Free Radicals in Biology and Medicine,” 2nd Edition, Oxford Science Publications, Clarendon.
- Hernández L, Vit P. (2009). El plátano: Un cultivo tradicional con importancia nutricional. *Revista Del Colegio de Farmacéuticos Del Estado Mérida*.
- Hicks, J. J., Torres-Ramos, Y. D, Sierra-Vargas MP. (2006). Estrés oxidante. Concepto y clasificación. *Rev Endocrinol Nutr*.
- Hoceme Degaïchia, Noussaiba Moualhi, Meriem Benhamadi, Atika Benrima.(2022). Cribado fitoquímico y efecto antibacteriano de extractos fenólicos de dos *Cupressus mediterráneos*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2473/5104>
- Huang, J., Li, Q., Sun, D., Lu, Y., Su, Y., Yang, X., Wang, H., Wang, Y., Shao, W., He, N.H., Chen, J. (2007). “Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf”. *Nanotechnology*., Vol. 18, pp. 105104/1 – 10510.
- Fabregas, J., Francesc, E. C, P. R., Oliver, Recuperación de la plata de las radiografías. Diversos métodos analíticos y galvánicos que permiten recuperar la plata de las radiografías médica para evitar la contaminación del medio ambiente. *Técnica industrial*., 245, 32-37. (2002). <https://www.tecnicaindustrial.es/recuperacion-de-la-plata-de-las-radiografias/>
- Jiménez, M., Guzmán, A. P., Azuara, E., García, O., Mendoza, M. R., & Beristain, C. I. (2012). Volatile Compounds and Antioxidative Activity of *Porophyllum tagetoides* Extracts. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(1), 57–63. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0270-0>.

- K. Mittal, Y. Chisti, U. C. Banerjee. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, **31**(2), 346–356. (2013). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>.
- Kawaii S, Yasuhiko T, Eriko K, Kazunori O, Masamichi Y, K. Meisaku, et al. (2000). Quantitative study of flavonoids in leaves of Citrus plants J. Agric. FoodChem., 48: 3865-3871.
- Klasen- Burns H. J. (2000). A historical review of the use of silver in the treatment of burns. II. Renewed interest for silver. *Elsevier Science.*, 26, 131–138.
- Knapp F, Nicholas H. (1969). Sterols and triterpenes of banana peel. *Phytochemistry*. 8(1), 207–14.
- Kumar, K. P. S. y col (2012). Tradiional and Medicinal Uses of Banana, 1(3), 51–63.
- Leone, A., A. Spada, A. Battezzati, A. Schiraldi, J. Aristil y S. bertoli. (2015) Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of Moringa oleifera leaves: An Overview. *Internacional Journal of Molecular Sciences* 16: 12791-12835.
- Londoño J, Sierra J, Álvarez R, Restrepo A.M, Passaro C. (2012). Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia. In: Garcés LF, Pássaro C (eds.) Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización. Colombia: Editorial Artes y Letras. p. 7-48.
- Małgorzata Olszowy. (2019). What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants?, *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 144, Pages 135-143, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942819303833>).
- Melara, J. (2021). Descubre todo lo que puedes hacer con la cáscara de plátano. *Cocina Fácil*. <https://www.cocinafacil.com.mx/tips-de-cocina/usos-cascara-de-platano>
- Mercado Escudero Galación. (1982). La plata en México. Tesis profesional.
- More S, Sathe S, Sonawane A, Jadhav A, Kadam V. (2013). Citrus paradisi: an overview. 3(10):8070-8077.
- Narcisa CRB. (2018). Efecto in vitro antimicrobiano de aceite esencial y extracto etanólico de jengibre. Tesis de grado. Ambato: UNIANDES.
- Olson, M., J., Fahey. (2011) Moringa oleífera: Un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(4): 1071- 1082.

- Phillips J. S, Strozak S. et al. (2000). Química conceptos y aplicaciones. Mc Graw- Hill. México.
- Pipicha por Kilo [Imagen]. (s.f.). Frescos de Excelencia. <https://frescosdeexcelencia.com.mx/products/pipicha?variant=33220534468741>
- Han R.M., Zhang J. P, Skibsted L.H. (2012). Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. *Molecules.*, **17**: 2140-2160. doi:10.3390/molecules17022140.
- Rodríguez V. L. Z. (2017). Identificación de la concentración mínima inhibitoria de los aceites esenciales de hierba luisa y jengibre en hongos adheridos a guanábana para prolongar su vida útil. Tesis de grados. Quevedo: UTEQ.
- Shayne McGuire. (2013). The Silver Bull Market Investing in the Other Gold. 1ª Edición, Ed. Wiley.
- Simić A., Manojlović D., Segan D., Todorović M. (2007). Electrochemical behavior and antioxidant and prooxidant activity of natural phenolics. *Molecules.* 12: 2327-2340.
- Skoog A.D., West, M. D., Holler, F. J., Crouch, S. R. (2010). Fundamentos de química analítica. 8ª. Ed. CENGAGE. Learning.
- Someya S, Yoshiki Y, Okubo K. (2002). Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*, 79(3), 351–54.
- Sousa R W, Da Rocha C, Cardoso C L, Silva S D H & Zanoni B M V (2004) Determination of the relative contribution of phenolic antioxidants in orange juice by voltammetric methods. *Journal of Food Composition and Analysis.* 17: 619- 633.
- Tumane PM, Meshram VG, Wasnik D. (2014). Comparative study of antibacterial activity of peel extracts of *Citrus aurantium* L. (bitter orange) and *Citrus medica* L. (lemon) against clinical isolates from wound infection. *Int J Pharm Bio Sci*; 5(1): 382 – 387.
- Urretabiscaya Mariana García. (2016) Tesis de grado. Diente de León. Una maleza alternativa con multiples beneficios para la salud. Tesis de grado. Universidad de FASTA. Facultad de Ciencias Médicas.
- V. Makarov, S. S. Makarova, A. J. (2014). Biosynthesis of Stable Iron Oxide Nanoparticles in Aqueous Extracts of *Hordeum vulgare* and *Rumex acetosa* Plants. *Langmuir.*, **30**: 20, 5982–5988. <https://doi.org/10.1021/la5011924>.

- Vallejo M. F. R. (2018) Aplicación de un recubrimiento activo de harina de banano y aceite esencial de jengibre en queso fresco. Ambato: UTA.
- Viza RWM. (2019). Efecto inhibitorio in vitro del extracto de jengibre. Tesis de grado. Puno - Peru: UNAP.
- Wade, L. (2006). Quimica organica (5a. Ed.). Mexico: prentice-hall hispanoamericana.