

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO ANALÍTICO PARA LA CUANTIFICACIÓN
DE MAGNESIO EN MERMELADA DE *Plinia cauliflora* (JABUTICABA), POR
EL MÉTODO DE VALORACIÓN COMPLEJOMÉTRICA

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN

PRESENTADO POR
SANDRA LISBETH GONZÁLEZ VALIENTE
ANDREA TATIANA GUEVARA ALFARO

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADA EN QUÍMICA Y FARMACIA

NOVIEMBRE 2024

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL (AD-HONOREM)

MAESTRA KATIA LISSETTE MARTÍNEZ DE PALACIOS

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESORA

LICENCIADA DALILA GUADALUPE ANAYA RODRÍGUEZ

ASESOR

LICENCIADO RAMÓN ALBERTO MURCIA SAAVEDRA

TUTOR

MAESTRO LUIS DAVID ALONZO HERNÁNDEZ

DEDICATORIAS

A mi hijo Christopher Linares por ser mi motivación.

A mi pajera y compañero de vida Nelson Linares Larios por su apoyo y estar siempre para mí.

A mi madre Sandra Valiente por apoyarme a pesar de todo.

A mi hermana Alejandra González por ayudarme siempre que lo necesite.

A mí misma por seguir adelante siempre.

Sandra Lisbeth González Valiente

INDICE GENERAL

RESUMEN

CAPITULO I

1.0 INTRODUCCIÓN	11
------------------	----

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS	14
---------------	----

CAPITULO III

3.0 MARCO TEÓRICO	16
-------------------	----

3.1 Mermeladas	16
-----------------------	----

3.1.1 Valoración nutricional	17
------------------------------	----

3.2	18
------------	----

3.2.1 Propiedades nutricionales	18
---------------------------------	----

3.2.2 Usos	18
------------	----

3.2.3 Características	18
-----------------------	----

3.3	19
------------	----

3.3.1 Funciones del magnesio.	19
-------------------------------	----

3.3.2 Ingesta recomendada de magnesio	20
---------------------------------------	----

3.3.3 Principales fuentes de magnesio.	20
--	----

3.3.4 Magnesio y enfermedad	21
-----------------------------	----

3.3.5 Toxicidad del magnesio	22
------------------------------	----

3.3.6 Propiedades físico químicas del magnesio	22
--	----

3.4	24
------------	----

3.4.1 Tipos de reacciones en volumetría	24
---	----

3.4.2 Valoración complejométrica	24
----------------------------------	----

3.4.3	Tipos de errores en el análisis complejométrico	26
3.4.4	Generalidades del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)	27
3.4.5	Constante de estabilidad condicional de los complejos metal- EDTA	29
3.4.6	Indicador	31
CAPITULO IV		
4.0	PRODUCTO FINAL	35
CAPITULO V		
5.0	CONCLUSIONES	42
CAPITULO VI		
6.0	RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		

INDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág. N°
1	Mermeladas frutales	16
2	Árbol de Jabuticaba	17
3	Alimentos ricos en Magnesio	21
4	pH mínimo necesario para titulaciones	26
5	Estructura química del ácido etilendiaminotetraacético	28
6	Estructura química de Negro de Eriocromo T	31
7	Armado correcto de equipo para valoración	39

INDICE DE TABLA

Tabla N°		Pág. N°
1	Requerimientos Diarios de Magnesio	20
2	Categorías de síntomas debido a de deficiencia de Magnesio	21
3	Constantes de estabilidad de los complejos formados con EDTA* a 20°C y fuerza iónica 0.1 mol/L	29
4	Valores de α_4 para el EDTA a diferentes valores de pH	30
5	Constantes de formación o estabilidad de los complejos del indicador (negro de eriocromo T) con los metales a temperatura ambiente y a diferentes pH	33

RESUMEN

Plinia cauliflora (*Jaboticaba*) es un árbol nativo de Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay, de la familia *Myrtaceae*, al igual que el guayabo, guabirá, la pitanga y el arrayán. También conocida como jaboticaba, palabra "jaboticabas" se dice que ha derivado guapurú, guaoeru, hivapuru e ybapuru, la del término Tupppí, jabotim, para la tortuga, y significa "cómo grasa de tortuga", probablemente refiriéndose a la pulpa del fruto.

Entre sus propiedades se encuentra el alto contenido de minerales, entre los cuales está el magnesio, que es el de mayor interés en esta investigación. El magnesio es un mineral indispensable para la nutrición humana, interviene en el buen funcionamiento del sistema nervioso, la relajación muscular e impide la cristalización de calcio.

El presente trabajo abordó la investigación realizada para la elaboración de una práctica de laboratorio denominada Cuantificación de magnesio en mermelada de *Plinia cauliflora* (*Jaboticaba*). Donde se establecieron los métodos y procedimiento a seguir para la cuantificación de magnesio en la muestra de jalea casera de Jaboticaba.

Como producto final se tomó en consideración la toma, preparación y conservación de muestras, la preparación de los reactivos y estándares a utilizar y el proceso de análisis. Se detalló la lista de reactivos e instrumentos a utilizar para el desarrollo de dicha práctica.

El proceso se planteó como un análisis de cuantificación por el método de valoración complejo métrica directa con EDTA 0.01 M, utilizando Negro de Eriocromo T como indicador, en una solución Mx de pH 10, desarrollado como una marcha analítica sin llevar a la práctica, pero que puede tomarse como base para el desarrollo de la misma, desde septiembre de 2023 a julio de 2024, en San Salvador, El Salvador.

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN

El consumo de mermeladas puede formar parte en el diario vivir de algunas personas, gracias a sus sabores frutales, mezclados con los azúcares, la fruta del árbol *Plinia cauliflora*, conocida como Jabuticaba, se puede utilizar para la elaboración de conservas, gracias a su sabor característicos, esta fruta puede llegar a tener un valor de magnesio de 15 mg por 100 gr de fruta fresca; siendo este un mineral de suma importancia para la nutrición humana ya que es necesario para más de 300 reacciones bioquímicas en el cuerpo humano.

Algunos de los beneficios que aporta el consumo de productos que contienen magnesio son: el fortalecimiento de los huesos y músculos, mejora el estado de fatiga, reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, combate el estreñimiento, entre otros.

En la investigación bibliográfica realizada no se encontraron análisis previos del contenido de magnesio en mermeladas, y este es de suma importancia ya que por su sabor dulce característico puede ser consumido principalmente por niños en todo el territorio salvadoreño.

Se plantea un análisis complejométrico ya que es viable y práctico, este puede ser realizado en laboratorios universitarios o en laboratorios de análisis de alimentos de diversas entidades.

La valoración es una técnica analítica que permite la determinación cuantitativa de una sustancia específica disuelta en una muestra mediante la adición de un reactivo de concentración conocida. Se basa en una reacción química completa entre la sustancia (analito) y un reactivo (valorante).

El método planteado en el siguiente trabajo de investigación es la complejometría, la cual se fundamenta en reacciones que dan lugar a la formación de un complejo estable (compuesto de coordinación) entre un átomo central (generalmente un metal) y una sustancia que posee pares de electrones no compartidos denominada ligando. La reacción general puede escribirse:



donde M es el metal, D es el ligando y MD es el complejo formado

Dicha valoración complejométrica puede ser directa e indirecta, siendo en este caso la valoración directa la que se plantea, este tipo de valoración es la que se realiza mediante la adición de una solución estándar de titulante de concentración conocida, a la solución de la muestra la cual contiene el indicador, se puede realizar en un medio básico o ácido adecuado.

Se añade un indicador del ión metálico a la disolución a valorar tamponada a un pH adecuado (frecuentemente a pH de 10 con amoníaco-cloruro de amonio) valorándose con EDTA hasta un cambio de color. Entre los cationes que se pueden valorar de forma directa están Mg^{+2} , Ca^{+2} , formándose el complejo:



En el presente trabajo se presentará un procedimiento para la determinación de magnesio en mermelada de Jabuticaba utilizando valoración complejométrica, ya que es la utilizada con efectividad para la cuantificación de minerales como el magnesio. Se realizó una investigación bibliográfica, para la elaboración del procedimiento, en diferentes fuentes, para poder plantear un procedimiento claro y efectivo para la determinación de magnesio en mermelada. La presente investigación se realizó de septiembre de 2023 a julio de 2024.

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar un procedimiento analítico para la cuantificación de magnesio en mermelada de *Plinia cauliflora* (Jaboticaba), por el método de valoración complejométrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el método de valoración complejométrica para la cuantificación de magnesio.
- Establecer el tratamiento y método de muestreo de las muestras de mermelada de Jaboticaba para separar, identificar y cuantificar magnesio.
- Diseñar una práctica de laboratorio que pueda ser utilizada para la determinación de magnesio en mermelada de Jaboticaba.

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 Mermeladas

La mermelada es una mezcla entre pectina, azúcar y ácido.

Marie Curie fabricaba mermeladas. Los libros de cuentas de su casa, escribe Susan Quinn en *Marie Curie: A Life*, estaban llenos de anotaciones estacionales sobre la fruta para hacer mermelada, y el verano de 1898, durante el cual descubrió el polonio, también preparó un lote de grosellas. Utilizó dos kilos de fruta y dos kilos de azúcar e hizo 14 botes de mermelada.¹



Figura N°1. Mermeladas frutales¹

La palabra clave es estacional. Desde la antigüedad, los hogares preocupados por el futuro se han esforzado mucho por conservar la fruta del verano. Y el secreto inicial de esa conservación era el edulcorante.

Antes de que el azúcar de caña llegara de la India a través de Oriente Próximo, griegos y romanos utilizaban la miel, un conservante casi eterno caracterizado por su bajo contenido en agua, su acidez y una útil dosis de peróxido de hidrógeno antibacteriano, todo lo cual (siempre que la miel permanezca a buen recaudo embotellada) evita que se estropee indefinidamente. Apicio, en *De Re Coquinaria*, la colección de recetas romanas más antigua que se conoce, menciona higos, manzanas, ciruelas, peras, cerezas y membrillos conservados en miel (se trataba de una técnica que también funcionó bien, según se dice, para conservar el cadáver de Alejandro Magno).¹

Hoy en día, mermelada es una mezcla untada y grumosa hecha con zumo y trozos de fruta enteros o picados, mientras que la jalea (del francés *gelée*) se hace con zumo de fruta colado y es (idealmente) suave y translúcida.¹

Algunas frutas son naturalmente ricas en pectinas, como las manzanas, las moras, las grosellas espinosas de Marie Curie y los membrillos de las mermeladas originales. Otras, como las fresas, no tienen mucha y pueden requerir una dosis añadida de pectina envasada comercialmente (generalmente elaborada a partir de cáscaras de cítricos) para ayudar en el proceso de gelificación.¹

3.1.1 Valoración nutricional

La riqueza en azúcares de la mermelada puede variar entre el 45 y el 65%. Los ingredientes característicos de estos alimentos son la fruta y los azúcares, y se añaden aditivos gelificantes, acidulantes y conservadores para garantizar la consistencia, el buen aspecto y la conservación. También pueden llevar añadidos colorantes.²

Conviene moderar su consumo, al igual que el de cualquier otro alimento azucarado, en el contexto de la dieta equilibrada. Estos alimentos pueden ser especialmente interesantes para quienes precisan dietas hipercalóricas, bien por motivos de salud o bien porque el esfuerzo físico que realizan así lo requiere. En las que no se añade azúcar o sacarosa, y sí edulcorantes no calóricos, son útiles para quienes tienen que controlar los azúcares de su alimentación.²

3.2 *Plinia cauliflora* (jabuticaba)



Figura N°2. Árbol de Jabuticaba³

Es un árbol nativo de Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay, de la familia Myrtaceae, al igual que el guayabo, guabirá, la pitanga y el arrayán. También conocida como jaboticaba, guapurú, guaperu, hivapuru e ybapuru. La palabra “jaboticabas” se dice que ha derivado del término Tupí, jabotim, para la tortuga, y significa “como grasa de tortuga”, probablemente refiriéndose a la pulpa del fruto.³

3.2.1 Propiedades nutricionales:

- 31 kcal por cada 100 gr fruta fresca.
- Alto contenido de minerales:
 - Potasio 371 mg en 100 gr de fruta fresca.
 - Magnesio 15 mg en 100 gr de fruta fresca.
 - Hierro 0,33 mg en 100 gr de fruta fresca.
 - Calcio 50 mg en 100 gr de fruta fresca.
 - Fósforo 14 mg en 100 gr de fruta fresca.
- Vitaminas:
 - Vitamina C: 23 mg en 100 gr de fruta fresca
- Carbohidratos: 4,83 gr en 100 gr de fruta fresca
- Posee actividad antioxidante.³

3.2.2 Usos:

- Frutas frescas, jugos, helados, dulces, mermeladas, vinagres.
- Actividad biológica antimicrobiana, antidiabéticas y beneficios en el control de obesidad.
- La cáscara o piel tiene potencial para la obtención de pigmentos.³

3.2.3 Características:

- Pulpa suave, dulce y muy jugosa, similares a las uvas. La fruta madura rápidamente, entre los 20 a 40 días posteriores a la floración. Tienen un diámetro de 2 a 3,5 cm cuando maduran, con pulpa blanca/transparente.³

3.3 Magnesio

El magnesio es un mineral indispensable para la nutrición humana, interviene en el buen funcionamiento del sistema nervioso, la relajación muscular, impide la cristalización del oxalato de calcio.⁴

El magnesio es un catión bivalente, Mg^{+2} , que se encuentra, aunque en ínfimas cantidades, formando parte de la estructura orgánica de los seres vivos, tanto animales como vegetales. Por ello, es uno de los 22 elementos químicos llamados “bioelementos”, y por encontrarse en concentraciones del orden de 0.1% al 1% del peso corporal se les llama también “oligoelementos”.⁴

El ión magnesio, Mg^{+2} , es el cuarto catión más abundante en el organismo donde desempeña un papel importante en muchos sistemas enzimáticos, especialmente en las reacciones donde interviene el ATP (adenosintrifosfato), ya que estabiliza las cargas altamente negativas de los trifosfatos en este tipo de reacciones. El cuerpo humano contiene entre 21 y 28 gramos de magnesio.

La mayor parte del magnesio corporal está en los huesos (1 gramo de magnesio por cada 8 gramos de hueso), pero no es intercambiable con el del líquido extracelular ya que se encuentra combinado con calcio coloidal y fósforo; otra proporción muy importante se encuentra en los músculos y lo restante en el tejido blando y en los líquidos corporales.^{4,5}

La concentración intracelular de Mg^{+2} , es de 15 mEq/L, donde es el segundo catión más abundante, luego del potasio. En el plasma su concentración es de 1.5 – 2.2 mEq/L, de los cuales el 55% se encuentra en forma libre, el 25% está unido a proteínas y un 20% se encuentra formando complejos de fosfatos y citratos.^{4,5}

3.3.1 Funciones del magnesio.

El magnesio es necesario para más de 325 reacciones bioquímicas en el cuerpo, entre las cuales están la fosfatasa ácida y alcalina, peptidasas, descarboxilasas, piro fosfatasas y otras. Además, interviene en el metabolismo de los carbohidratos, activando enzimas del proceso glucolítico, para oxidar la glucosa (fosforilación oxidativa).^{4,5}

Ayuda a mantener el funcionamiento normal de músculos y nervios, brinda soporte a un sistema inmunitario saludable, mantiene constantes los latidos del corazón y ayuda a que los huesos permanezcan fuertes. También ayuda a ajustar los niveles de glucosa en la sangre. Ayuda en la producción de energía y proteína.^{4,5}

Una de sus funciones principales es la regulación en la membrana celular de la bomba de Sodio / Potasio, que mantiene la célula con su carga eléctrica fisiológica en reposo, regulando también su activación y su sustrato de energía. ^{4,5}

Como consecuencia de sus numerosas actividades bioquímicas celulares, el magnesio juega un rol central en el control de la actividad neural, transmisión neuromuscular, tono vasomotor, tensión arterial y flujo sanguíneo periférico. ^{4,5}

El magnesio es un constituyente normal del hueso, por lo que regula la osificación y el equilibrio fosfocálcico. Es esencial para que el calcio se fije dónde debe y no se deposite en forma de cálculos. Regula el nivel de calcio por acción indirecta sobre la paratiroides. Disminuye la solubilidad del fosfato cálcico y aumenta la solubilidad del carbonato cálcico. ^{4,5}

3.3.2 Ingesta recomendada de magnesio.

La ingesta dietética de referencia para el magnesio, según categorías y edades, son:

Tabla N°1. Requerimientos diarios de magnesio ^{4,5,6}

Edad y/o etapa de la vida	Niños / Niñas	Hombres (mg/día)	Mujeres (mg/día)
0-6 meses	30,0	-	-
7-12 meses	75,0	-	-
1-3 años	80,0	-	-
4-8 años	130,0	-	-
9-13 años	240,0	-	-
14 - 18 años	-	410,0	360,0
19 - 30 años	-	400,0	310,0
mayores de 31 años	-	400,0 a 420,0	310,0 a 320,0
Embarazo	-	-	350,0 a 360,0
Lactancia	-	-	310,0 a 320,0

3.3.3 Principales fuentes de magnesio.

La mayor parte del magnesio en la dieta proviene de vegetales de hoja verde oscura. Otros alimentos que son buena fuente de magnesio son: ^{4,5}

- Frutas (como bananos, albaricoques o damascos secos y aguacates)

- Nueces (como almendras y anacardos)
- Arvejas (guisantes) y frijoles (leguminosas), semillas
- Productos de soya (como harina de soya y tofu)
- Granos enteros (como arroz integral y mijo)
- Leche.^{4,5}



Figura N°3. Alimentos ricos en Magnesio⁵

3.3.4 Magnesio y enfermedad

El rango normal del nivel de magnesio en la sangre es de 1.5 a 2.2 mg/dL. Los efectos secundarios por una alta ingesta de magnesio no son muy comunes, el organismo generalmente elimina las cantidades en exceso. El exceso de magnesio se produce casi siempre cuando una persona está:

- Tomando demasiado el mineral en forma de suplemento.
- Tomando ciertos laxantes.⁴

La falta de magnesio se puede presentar en personas que consumen alcohol en exceso o en aquellas que absorben menos magnesio incluyendo personas con enfermedades gastrointestinales o cirugías que causen malabsorción, los adultos mayores, personas con diabetes tipo 2.⁴

Los síntomas de una deficiencia de Magnesio incluyen:

- Demasiada excitabilidad.
- Debilidad muscular.

- Somnolencia.⁴

Los síntomas debido a la falta de magnesio tienen tres categorías y se describen en la siguiente tabla:⁴

Tabla N°2. Categorías de síntomas debido a de deficiencia de Magnesio⁴

Categorías	Síntomas iniciales	Pérdida de apetito, náusea, vómitos, fatiga y debilidad
	Síntomas de deficiencia moderada	Entumecimiento, hormigueo, convulsiones, cambios de personalidad, contracciones musculares y calambres
	Síntomas de deficiencia grave	Bajo nivel de calcio (hipocalcemia) y bajo nivel de potasio en la sangre (hipopotasemia).

La deficiencia de Magnesio en el organismo se conoce como Hipomagnesemia, y esta se produce cuando la concentración sérica de éste desciende a menos de 1 mEq/litro. El déficit de magnesio ocurre generalmente cuando existe déficit de calcio y de potasio.⁶

3.3.5 Toxicidad del magnesio

Efectos de la exposición al magnesio en polvo tiene baja toxicidad y no considerado como peligroso para la salud. Por inhalación el polvo de magnesio puede irritar las membranas mucosas o el tracto respiratorio superior.⁷

3.3.6 Propiedades físico químicas del magnesio

Elemento químico, metálico, de símbolo Mg, colocado en el grupo IIa del sistema periódico, de número atómico 12, peso atómico 24.312. El magnesio es blanco plateado y muy ligero. Su densidad relativa es de 1.74 y su densidad de 1740 kg/m³ (0.063 lb/in³) o 108.6 lb/ft³). El magnesio

se conoce desde hace mucho tiempo como el metal estructural más ligero en la industria, debido a su bajo peso y capacidad para formar aleaciones mecánicamente resistentes.⁷

Los iones magnesio disueltos en el agua forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado magnesio o calcio.

Esto se puede evitar con los ablandadores de agua.⁷

Propiedades físicas:

- Masa atómica (g/mol) 24.305
- Densidad (g/mL) 1.74
- Punto de ebullición (°C) 1107
- Punto de fusión (°C) 650

3.4 Análisis volumétrico

Se puede definir como valoración volumétrica como la determinación de la cantidad de una sustancia específica (analito) contenida en una muestra mediante la adición controlada de un reactivo (valorante) con una concentración conocida, o como el proceso en el que se agrega un reactivo patrón a una disolución de analito hasta que se considera completa la reacción entre el analito y el reactivo.⁸

En el análisis volumétrico, la cantidad de sustancia que se busca se determina en forma indirecta midiendo el volumen de una disolución de concentración conocida, que se necesita para que reaccione con el constituyente que se analiza o con otra sustancia químicamente equivalente.⁸

El proceso de adición de un volumen medido de la disolución de concentración conocida para que reaccione con el constituyente buscado se denomina *valoración*.⁸

Los requisitos para una valoración volumétrica son los siguientes:⁹

- Debe tener una solución titulante con una concentración conocida de reactivo, debe reaccionar totalmente con el analito siguiendo una estequiometría reproducible y a una velocidad de reacción adecuada, y debe ser estable en el tiempo para el análisis.⁹
- Debe contar con una técnica para medir el volumen de solución titulante con la exactitud y precisión necesarias.⁹

- Una técnica para medir el peso de la muestra o el volumen con la precisión y exactitud deseadas.⁹
- Debe tener un tratamiento previo para eliminar las interferencias si la reacción entre el reactivo y el analito no es suficientemente específica como para eliminar los efectos de los componentes de la matriz.⁹
- Una técnica para medir en qué momento la reacción entre el titulante y el analito consume totalmente a este último.⁹

3.4.1 Tipos de reacciones en volumetría

Los tipos de reacciones en que se basan los métodos volumétricos son:^{8,10}

- Reacciones ácido-base: Es el método de detección más utilizado en el cual se aplican indicadores químicos, que deben mostrar su cambio de color dentro de un intervalo de respuesta de pH que abarque el punto de equivalencia.^{11,12}
- Reacciones de oxidación-reducción (REDOX): Estos métodos pueden aplicarse para la determinación de la mayoría de los elementos químicos y también a gran número de sustancias orgánicas.^{8,10}
- Reacciones de precipitación: La valoración por precipitación se basa en reacciones que producen compuestos iónicos de limitada solubilidad. En estas valoraciones debido a que la velocidad de formación de muchos precipitados es lenta, el número de agentes precipitantes que se pueden emplear es limitado. El reactivo precipitante que más se utiliza es el nitrato de plata, el cual se emplea para la determinación de haluros, mercaptanos y diversos aniones inorgánicos.^{8,10}
- Reacciones complejométricas: En estas se incluyen aquellas valoraciones que se basan en reacciones en las que se forma un compuesto de coordinación, los cuales tienen un átomo o un ión central, que suele ser metálico, rodeado de un grupo de iones o moléculas (ligandos). Todos los compuestos de coordinación tienen la propiedad de conservar su identidad en mayor o menor medida, incluso en disolución.^{8,10}

3.4.2 Valoración complejométrica

Las valoraciones complejométricas se basan en compuestos con capacidad de formar complejos con iones metálicos, el ácido etilendiaminotetraacético, generalmente se abrevia como EDTA, es

el valorante más empleado en este tipo de valoraciones, debido a que forma complejos muy estables con la mayoría de los cationes y a la estequiometría de los complejos formados.^{5,7,8}

En las valoraciones con EDTA el objetivo es calcular la concentración del ión metálico en función de la cantidad de valorante añadido. El EDTA es muy útil, ya que forma complejos estables con estequiometría 1:1 con todos los metales, excepto con los metales alcalinotérreos como el sodio y el potasio.^{5,7,8}

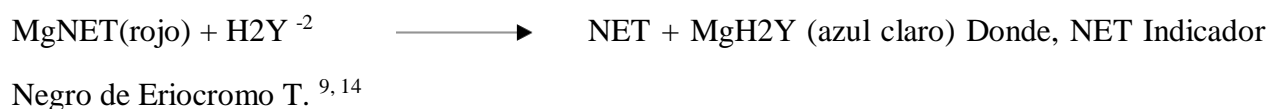
La complejometría, en combinación con el enmascaramiento, permite efectuar determinaciones muy selectivas y exactas de los diferentes minerales^{5,7,8}

Las valoraciones complejométricas las podemos clasificarlas en:

- Valoraciones complejométricas Directas.

Este tipo de valoración es la que se realiza mediante la adición de una solución estándar de titulante de concentración conocida, a la solución de la muestra la cual contiene el indicador, se puede realizar en un medio básico o ácido adecuado. La disolución se tampona a un pH adecuado para que la constante de formación condicional metal-EDTA sea alta y el color del indicador libre sea suficientemente distinto del complejo metal-indicador.^{5,7,8}

Por ejemplo: Se añade un indicador del ión metálico a la disolución a valorar tamponada a un pH adecuado (frecuentemente a pH de 10 con amoniaco-cloruro de amonio) valorándose con EDTA hasta un cambio de color. Entre los cationes que se pueden valorar de forma directa están Mg^{+2} , Ca^{+2} , formándose el complejo:



- Valoraciones complejométricas Indirectas.

En esta titulación se debe permitir que se complete la reacción entre el analito y un exceso de reactivo para que el producto de dicha reacción sea titulado posteriormente, hasta un punto final. Este tipo de titulación se utiliza cuando:^{5,7,8}

- El analito es inestable.
- El analito es volátil.
- El analito reacciona lentamente con la solución estándar en exceso
- No se cuenta con un indicador adecuado para la detección del punto final^{5,7,8}

La cantidad de sustancia titulada se puede determinar por la diferencia entre los volúmenes de la solución volumétrica originalmente agregada, corregida por una titulación en blanco y el volumen consumido del titulante en la titulación de retroceso.^{5,7,8}

- Valoraciones complejométricas por Sustitución.

Este tipo de valoración se utiliza cuando una reacción directa es lenta o no se tenga un indicador adecuado para determinar el ión metálico que se desea.¹⁰

Si una disolución de un ión metálico que forma con el EDTA es un complejo más estable que el de magnesio o zinc, se trata con una disolución del último, teniendo lugar una sustitución y los iones magnesio o zinc pueden valorarse después con solución EDTA patrón.⁷

Por ejemplo: El Zn^{2+} liberado, que es de forma indirecta equivalente a la cantidad de Fe^{3+} , se valora con EDTA y NET u otro como indicador. Una variación de este método consiste en utilizar otros complejos distintos a los formados por EDTA, de los que se libera el catión, el cual después se valora con EDTA.⁷

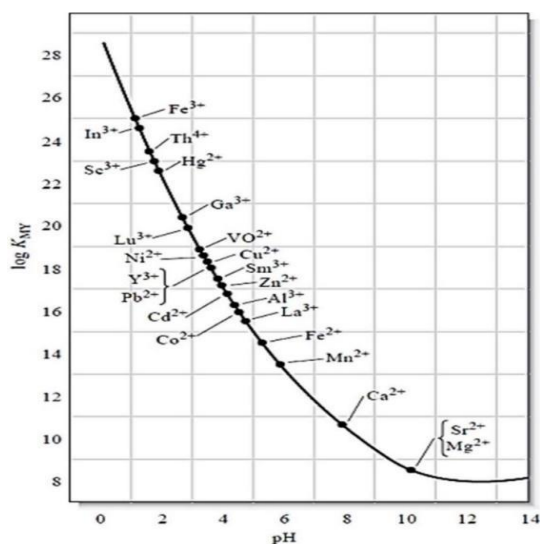


Figura N°4. pH mínimo necesario para titulaciones.⁷

3.4.3 Tipos de errores en el análisis complejométrico

Durante el desarrollo de cualquier tipo de análisis, hay que tomar en cuenta que existen dos tipos de errores los cuales son:^{9,7}

- Determinados: es el que puede corregirse o evitarse.
- Indeterminados: es aquel que su origen no puede ser determinado.^{9,7}

Entre los errores determinados están:

- Los errores personales: debidos a la falta de habilidad del analista para distinguir o juzgar observaciones con certeza. Ejemplo: la mala distinción de los colores es una importante fuente de error de análisis volumétrico, identificar este tipo de error puede resultar muy difícil, así como evitarlo o calcular su magnitud.^{9,7}
- Los errores causados por el equipo utilizado: incluyen el uso de aparatos de medida sin calibrar (pesas, buretas, matraces volumétricos) y contaminación de las disoluciones por ataque químico de los recipientes que los contienen.^{9,7}
- Los errores debidos a los reactivos: derivan de que los reactivos pueden contener impurezas que interfieren en el método de análisis.^{9,7}
- Los errores operacionales: tienen su origen en la inexperiencia o falta de cuidado del analista.^{9,14}
- Los errores de método: estos errores son muy importantes porque su magnitud y signo son constantes cuando se verifican análisis repetidos en condiciones análogas. Pueden ponerse de manifiesto modificando las condiciones de trabajo o realizando el análisis por otro método completamente diferente al primero.^{9,7}
- Los errores indeterminados: son llamados también aleatorios, muchos factores contribuyen al error aleatorio, pero ninguno puede identificarse o medirse con certeza ya que individualmente son tan pequeños que no pueden detectarse. Sin embargo, el efecto acumulativo de cada uno ocasiona que los datos de una serie de mediciones repetidas fluctúen al azar alrededor de la media.^{9,7}

3.4.4 Generalidades del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

El ácido etilendiaminotetraacético, también conocido por EDTA, edetato disódico,

etilendiaminotetraacéticodisódico, edatamil disódico, tetracemato disódico, versenato disódico.⁹

La sal disódica del EDTA; estos compuestos se conocen comercialmente con los nombres de Titrplex I, II, III respectivamente, también se utilizan los nombres de Complexonas, Vercenos o Secuéstrenos.⁹

El más empleado de los anteriores es la sal disódica del EDTA, por la facilidad de disolución en agua, y como se dispone comercialmente de esta sal en forma de $Na_2H_2H_2Y \cdot 2H_2O$ sirve como materia prima para la preparación de soluciones de EDTA estándares que son las que se usan en volumetría. El ácido libre (H₄Y), se utiliza como patrón primario tras desecarlo varias horas a 130-145 °C.⁹

El EDTA, es un ligando hexadentado que pertenece a la familia de los ácidos poliaminocarboxílicos y contiene seis posibles posiciones de enlace con el ión metálico: cuatro grupos carboxilo y dos grupos amino.⁹

Las cuatro primeras constantes de disociación del EDTA ($K_1, K_2, K_3, y K_4$) corresponden a los grupos carboxílicos, mientras que K₅ y K₆ corresponden a la disociación de los protones de los grupos amonio.^{2,7}

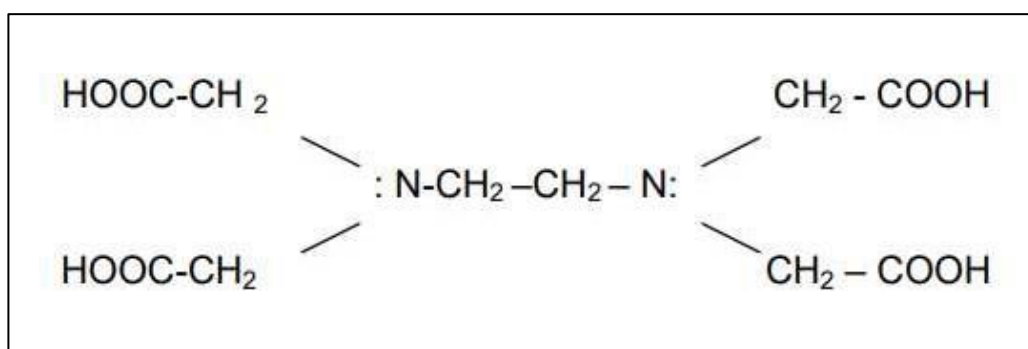


Figura N°5. Estructura química del ácido etilendiaminotetraacético⁹

El ácido etilendiaminotetraacético EDTA contiene cuatro hidrógenos ácidos; por esa razón se representa como H₄Y, las fórmulas químicas de las múltiples especies del EDTA se abrevian como: H₆Y⁺², H₅Y⁺, H₄Y, H₄Y⁻, H₃Y⁻², H₂Y⁻², H Y⁻³ y Y⁻⁴⁹

Entre las ventajas que presenta el EDTA como titulante están:

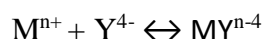
- El EDTA se utiliza para titulaciones de iones metálicos.⁹
- Tiene seis grupos a través de los cuales forma enlaces covalentes coordinado por ser un ligando

hexadentado. Es decir, la molécula de EDTA tiene seis sitios para enlazarse a diversos iones metálicos: 2 sitios sobre el nitrógeno y cuatro sitios en el ácido carboxílico que pueden ocupar cuatro, cinco o seis posiciones de coordinación en torno de un ión metálico central.⁹

- Forma quelatos de mucha estabilidad y estequiometría 1:1 independientemente de la carga del metal. Como el ión etilendiaminotetracético se coordina en varias posiciones en torno de un ión metálico central solo se forman complejos en la razón metal-ligando uno a uno. Así no se presentan los problemas con los cuales se tropieza en las reacciones por pasos entre iones metálicos y ligandos monodentados.⁹

3.4.5 Constante de estabilidad condicional de los complejos metal- EDTA

La expresión de la constante de estabilidad o de formación de un complejo de EDTA con unión metálico se escribe teniendo en cuenta la reacción:



Aquí M^{n+} representa un ión metálico (que puede estar hidratado).

$$K_{MY} = \frac{c(MY^{n-4})}{c(M^{n+}) \cdot c(Y^{4-})}$$

En la tabla 3 aparecen las constantes de formación o estabilidad de los complejos más conocidos del EDTA con iones metálicos.¹⁰

Catión	K_{MY}	Log K_{MY}	Catión	K_{MY}	Log K_{MY}
Ag^+	$2,1 \times 10^7$	7.32	Cu^{2+}	6.3×10^{18}	18.80
Mg^{2+}	4.9×10^8	8.69	Zn^{2+}	3.2×10^{16}	16.50
Ca^{2+}	5.0×10^{10}	10.70	Cd^{2+}	2.9×10^{16}	16.46
Sr^{2+}	4.3×10^8	8.63	Hg^{2+}	6.3×10^{21}	21.80
Ba^{2+}	5.8×10^7	7.76	Pb^{2+}	1.1×10^{18}	18.04
Mn^{2+}	6.2×10^{13}	13.79	Al^{3+}	1.3×10^{18}	16.13

Fe ²⁺	2.1x10 ¹⁴	14.33	Fe ³⁺	1.3x10 ²⁵	25.1
Co ²⁺	2.0x10 ¹⁶	16.31	V ³⁺	7.9x10 ²⁵	25.9
Ni ²⁺	4.2x10 ¹⁸	18.62	Th ⁴⁺	1.6x10 ²³	23.2

Tabla N° 3. Constantes de estabilidad de los complejos formados con EDTA a 20°C y fuerza iónica 0.1 mol/L.¹⁰

En la expresión de la constante de estabilidad la forma que se considera del EDTA es la especie Y⁴⁻; sin embargo, el EDTA que no está unido al ión metálico es la especie Y⁴⁻ solo si el pH es mayor o igual que 10. Mientras menor sea el pH mayor será la parte de EDTA no combinado que estará presente en varias formas protonadas. Para tener en cuenta la influencia del pH sobre la estabilidad del complejo se considera la constante de estabilidad condicional. Se sustituye c(Y⁴⁻) por α_{4CT} en la expresión de la constante de estabilidad:¹⁰

$$K'_{MY} = \alpha_4 \times K_{MY} \frac{c(MY^{(n-4)+})}{c(M^{n+}) \times c_T}$$

donde K'_{MY} es la constante de estabilidad condicional y α₄ representa la fracción de EDTA no acomplexado que existe como Y⁴⁻.

$$\alpha_4 = \frac{c(Y^{4-})}{c_T}$$

c_T es la suma de las concentraciones de todas las especies de EDTA en el equilibrio.¹⁰

$$C_T = c(Y^{4-}) + c(HY^{3-}) + c(H_2Y^{2-}) + c(H_3Y^{-}) + c(H_4Y)$$

Esta constante también se llama constante condicional o efectiva y describe las condiciones del equilibrio sólo al pH para el cual se aplica α_4 . Esto indica que conociendo el valor de α_4 y la constante de estabilidad del complejo, se puede calcular la constante de estabilidad condicional.

α_4 es independiente del ión metálico, pues sólo está relacionado con el ligando. Para un determinado ligando α_4 depende exclusivamente del pH de la solución.

En la tabla 4 se presentan los valores de α_4 para el EDTA en soluciones de diferentes valores de pH.¹⁰

Tabla N°4. Valores de α_4 para el EDTA a diferentes valores de pH.¹⁰

pH	α_4	pH	α_4
2.0	3.7×10^{-14}	8.0	5.4×10^{-3}
3.0	2.5×10^{-11}	9.0	5.2×10^{-2}
4.0	3.6×10^{-9}	10.0	3.5×10^{-1}
5.0	3.5×10^{-7}	11.0	8.5×10^{-1}
6.0	2.2×10^{-5}	12.0	9.8×10^{-1}
7.0	4.8×10^{-4}		

Las constantes condicionales posibilitan el cálculo de las concentraciones del ión metálico y del complejo en el equilibrio, en cualquier punto de una curva de valoración. En la expresión de esta constante se sustituye la concentración de equilibrio del anión completamente dissociado Y^{4-} por C_T la cual es más fácilmente determinada de la estequiometría de la reacción.¹⁰

Además del efecto del pH sobre la estabilidad del complejo es importante considerar la posibilidad de que el ión metálico intervenga en una reacción secundaria. Se debe considerar si el ión puede formar otros complejos o precipitar en forma de óxido básico o hidróxido al pH en el que se valora.¹⁰

Por ejemplo, si se va a determinar Cu (II) con EDTA.Na₂ en medio amoniacal, el amoníaco competirá con el EDTA.Na₂ por el cobre, ya que se forman complejos entre el Cu (II) y el amoníaco. Este efecto debe considerarse también al calcular la constante de estabilidad condicional.¹⁰

3.4.6 Indicador

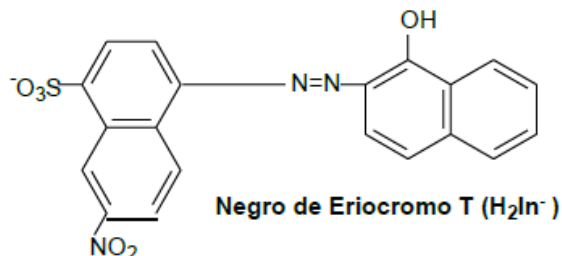
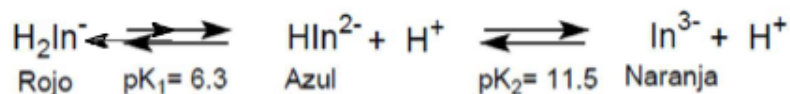


Figura N°6. Estructura química de Negro de Eriocromo T (H₂In⁻).⁹

En la estructura del indicador negro de eriocromo T el grupo sulfónico (-SO₃⁻) fuertemente ácido que se encuentra en posición 4, respecto al azogruppo, ha cedido su protón en el intervalo de pH que interesa, en este caso de 7 a 11, de manera que sólo quedan dos hidrógenos ácidos que hay que tener en cuenta, que son los que corresponden a los dos grupos hidroxilos.

La fórmula abreviada que usualmente se emplea para este indicador es H₂In⁻. La ionización de este colorante conduce a valores de pK₁ = 6.3 y pK₂ = 11.5. Así, el negro de eriocromo T es rojo a valores de pH menores que 6.3; azul a valores entre 7 y 11 y amarillo naranja por encima de 11.5. Es decir, el color del indicador depende de la concentración hidrogeniónica y presenta el siguiente equilibrio ácido-base:¹⁰

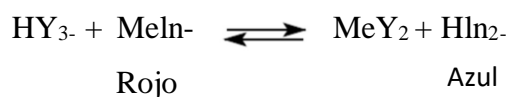


El mecanismo que se aprovecha para la detección del punto final de valoración con el empleo de indicadores metalocrómicos, como el negro de eriocromo T, es el siguiente: Supongamos que se valora un ión metálico Me²⁺ con solución de sal disódica de EDTA. Antes de comenzar la valoración, se añade una pequeña cantidad del indicador a la solución que contiene los iones Me²⁺, y parte de estos últimos formarán un complejo rojo con el indicador según:¹⁰



Al comenzar la valoración, el EDTA añadido va formando un complejo con el ión metálico libre Me²⁺ (no acomplexado con el indicador). Al agotarse el ión metálico libre Me²⁺, un ligero exceso

de EDTA produce la ruptura del complejo MeIn- y desplaza al indicador, el cual queda en su forma libre azul e indica el punto final de valoración. La reacción de desplazamiento se puede escribir:¹⁰



El negro de eriocromo T forma complejos rojos con más de dos docenas de cationes, pero solo unos pocos poseen estabilidades apropiadas para la detección del punto final. Obviamente para que el negro de eriocromo T pueda ser usado, la constante condicional del complejo catión-indicador (MeIn-) deberá ser inferior a la décima parte de la constante condicional del complejo catión-EDTA (MeY-2) para que el indicador sea desplazado lo más cercanamente posible al punto estequiométrico.¹⁰

El negro de eriocromo T se emplea usualmente para determinar Zn^{2+} , Ca^{2+} y Mg^{2+} a pH entre 7 y 11. Sin embargo, los complejos que forma con Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{3+} y Al^{3+} son tan estables que lo bloquean como indicador imposibilitando la detección precisa del punto estequiométrico.

Es por esta razón, que cuando se determina la dureza total del agua con EDTA. Na_2 empleando negro de eriocromo T como indicador, se deben eliminar la interferencia de los últimos iones mencionados, con adición de CN^- u otro enmascarante.

Las constantes de estabilidad de los complejos formados entre el negro de eriocromo T y algunos cationes metálicos se muestran en la tabla 5.¹⁰

Tabla N°5. Constantes de formación o estabilidad de los complejos del indicador (negro de eriocromo T) con los metales a temperatura ambiente y a diferentes pH¹⁰

		pH					
		7	8	9	10	11	12
Log K ₁	Para Ca	0.85	1.85	2.85	3.84	4.74	5.27
Log K ₁	Para Mg	2.45	3.45	4.45	5.44	6.34	6.87
Log K ₁	Para Zn	8.4	9.4	10.40	11.40	12.3	-
Log K ₂	Para Zn	11.00	13.00	15.00	17.00	18.8	-

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL

4.1 Título de la práctica:

Cuantificación de magnesio en mermelada de *Plinia cauliflora* (Jabuticaba).

4.2 Objetivos

- Establecer el método de muestreo y tratamiento de las muestras de mermelada de Jabuticaba para separar, identificar y cuantificar magnesio.
- Desarrollar los cálculos correspondientes para la cuantificación de magnesio en mermelada natural de Jabuticaba.

4.3 Introducción:

El presente procedimiento describe los pasos a seguir para la identificación y cuantificación de magnesio en mermelada de Jabuticaba utilizando un método volumétrico. El análisis volumétrico posee una enorme ventaja con respecto al análisis gravimétrico, su rapidez. La aceleración de las determinaciones se consigue gracias a que el análisis volumétrico, en lugar de pesar el producto de las reacciones, se mide el volumen de reacción de reactivos utilizados, cuya concentración de sustancias siempre se conoce exactamente.

En esta práctica, seguiremos un procedimiento para la determinación de Mg mediante valoración complejométrica directa con EDTA a pH 10 (controlado por un tampón de cloruro amónico/amoniaco) y con negro de eriocromo T como indicador.

Para el desarrollo de la práctica utilizaremos como muestra jalea de Jabuticaba, libre de aditivos y conservantes, realizaremos el proceso de muestreo y tratamiento a la muestra para poder determinar cuantitativamente el magnesio presente en la jalea en estudio.

4.4 Fundamento:

- Valoración

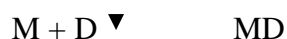
Es una técnica analítica que permite la determinación cuantitativa de una sustancia específica disuelta en una muestra mediante la adición de un reactivo de concentración conocida. Se basa en una reacción química completa entre la sustancia (analito) y un reactivo (valorante).

El valorante se añade hasta que se completa la reacción. Para que sea adecuada para la determinación, el final de la reacción de valoración debe ser fácilmente observable cuando se supervise (indique) mediante técnicas adecuadas, por ejemplo, potenciometría (medición del potencial con un sensor) o a través de un cambio de color.

La medición del volumen de valorante dispensado permite calcular el contenido de analito basándose en la estequiometría de la reacción química. Para ser precisa, una reacción de valoración debe ser rápida, completa, inequívoca y observable.

- Valoraciones por formación de complejos:

Conocida también como complejometría, se fundamenta en reacciones que dan lugar a la formación de un complejo estable (compuesto de coordinación) entre un átomo central (generalmente un metal) y una sustancia que posee pares de electrones no compartidos denominada ligando. La reacción general puede escribirse:



donde M es el metal, D es el ligando y MD es el complejo formado.

- Valoraciones complejométricas Directas.

Este tipo de valoración es la que se realiza mediante la adición de una solución estándar de titulante de concentración conocida, a la solución de la muestra la cual contiene el indicador, se puede realizar en un medio básico o ácido adecuado.

Se añade un indicador del ión metálico a la disolución a valorar tamponada a un pH adecuado (frecuentemente a pH de 10 con amoniaco-cloruro de amonio) valorándose con EDTA hasta un cambio de color. Entre los cationes que se pueden valorar de forma directa están Mg^{+2} , Ca^{+2} , formándose el complejo:



El punto final de la valoración directa puede detectarse un indicador que responde directamente al analito, en este caso el Negro de ericromo T, que virará de su color rojo a azul en su punto final.

La concentración de Mg^{+2} se determina mediante valoración directa con EDTA tras tamponar la muestra a pH 10 en medio amoniacal. El magnesio, que forma con el EDTA los complejos menos estables de todos los cationes multivalentes, no se valora hasta no haber añadido reactivo suficiente para que se formen los complejos con todos los demás cationes de la muestra. Por ello, un indicador de iones magnesio, como el negro de eriocromo T, puede servir como indicador en la valoración.

4.5 Información general de la muestra

Mermelada de *Plinia cauliflora* (Jabuticaba)

De un frasco de mermelada tomar 10 g. del centro del material, trasladarlo a una bolsa limpia apropiada para un equipo mezclador, diluir con 100 mL de agua destilada y mezclar durante 1 o 2 minutos o hasta observar dilución completa.

Tomar las porciones de análisis en tal forma que se tome una muestra representativa de toda la sustancia, evitando tomar demasiadas semillas o partículas que se hayan separado por flotación.

La muestra se debe etiquetar de una forma clara por medio de una etiqueta que contenga la siguiente información:

- Producto
- Fecha
- Hora en que se toma la muestra

Si el análisis no es realizado durante las próximas 8 horas conservar la muestra en una bolsa sellada y en refrigeración a una temperatura entre 2-8 °C.

4.6 Reactivos. (Listado)

- Ácido etilen-diamino-tetraacético (EDTA)
- Cloruro amónico
- Amoniac concentrado
- Negro de eriocromo T
- Trietanolamina

4.7 Materiales y equipos. (Listado)

- Bureta con pie
- Pinzas y nueces
- Matraz aforado 250 ml
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Pipetas de 2 ml y 10 ml
- Probeta 100 ml
- Balanza analítica
- pH-metro

4.8 Procedimiento de práctica de determinación.

4.8.1 Preparación de la solución de EDTA 0.01 M

- Pesar en un vaso de precipitado de 150 mL cerca de 1 g de sal disódica del EDTA dihidratado y 0.025g de cloruro de magnesio hexahidratado.
- Disolver en agua destilada y se transfiere la solución a un matraz aforado de 250 mL completando el volumen del aforo con agua destilada.
- Mezclar bien la solución y pasar a un frasco etiquetado.

4.8.2 Estandarización de la solución preparada de EDTA 0.01 M

- Preparar una solución estándar de carbonato de calcio como sigue:
Disolver 0.1g de carbonato de calcio, secado previamente a 100°C en 20 mL de agua destilada y agregar gota a gota HCl 1:1 hasta que ya no aparezca efervescencia y la solución sea clara. Pasar a un matraz aforado de 100 mL y diluir hasta la marca del aforo. Cada mL de esta solución equivale a 1.00 mg de carbonato de calcio.
- Agregar la solución en un frasco de boca ancha y rotular como solución STD de calcio.
- Con una pipeta volumétrica agregar 25 mL de la solución STD de calcio en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y diluir hasta 50 mL con agua destilada.
- Añadir 2 mL de solución amortiguadora amoniacal y una pizca del indicador Eriocromo negro T (ENT).
- Valorar con la solución de EDTA hasta que desaparezca totalmente el color rojizo y la solución quede de color azul. Cómo volumen de valoración se toma la lectura existente.

- Repetir la valoración con otras dos alícuotas de solución STD de calcio.
- Calcular la molaridad de la solución de EDTA mediante la siguiente fórmula:

4.8.3 Preparación de la disolución amortiguadora pH 10

Preparar 25 ml de disolución amortiguadora pH=10. Para ello disolver 3.4 g de cloruro amónico en 15 ml de agua destilada. A continuación, en la campana extractora, añadir 3 ml de amoniaco concentrado y aforar en el Erlenmeyer hasta el volumen final de 25 ml. Compruebe el pH con un pH-metro. El Erlenmeyer con el tampón debe permanecer cerrado en la campana extractora debido al fuerte olor del amoníaco.

4.8.4 Preparación de solución de Negro de eriocromo T

Preparar 100 g de solución mezclando de 0.5 a 1.0 g de negro de eriocromo T en 100 g de trietanol amina en un vaso de precipitado de 250 mL, verter la solución en un frasco limpio para ser almacenado herméticamente. Rotular correctamente.

4.8.5 Determinación de Magnesio en la muestra

Preparar la bureta de 100 mL, colocándola en el soporte y sujeta por la pinza como se muestra en la figura:

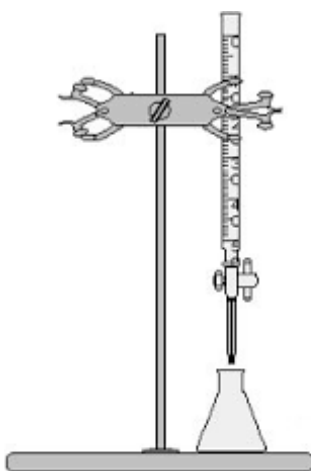


Figura No.7: Armado correcto de equipo para valoración
Fuente: Elaboración propia

- Aforar la bureta con la solución estandarizada de EDTA abriendo la llave de la bureta para asegurar que no queden burbujas de aire que puedan interferir en la medición.

- Con una probeta medir 10 ml de la muestra de jalea preparada en el punto 4.8.1 y pasar a un matraz Erlenmeyer de 250 mL rotulado como “Mx 1”.
 - Adicionar 5 ml del tampón pH 10 y unas gotas de negro de eriocromo T, agitar la solución suavemente, previamente tapada para evitar la evaporación del buffer amoniacal.
 - Titular rápidamente “Mx 1” con solución de EDTA 0.1 M, que tiene la bureta, procurando agitar suavemente cada vez que caigan gotas del titulante sobre el Erlenmeyer, hasta que aparezca un color azul por toda la solución. La agitación debe ser suave y la titulación rápida para evitar caída del pH (el viraje es de rojo vino a azul)
 - Repetir los pasos anteriores en dos muestras más correspondientes a “Mx 2” y “Mx 3”.
 - Anotar el volumen gastado de solución de EDTA con cada una de las muestras.
 - Calcular la concentración de Mg^{2+} utilizando la siguiente fórmula:
- Determinar el promedio de las tres muestras realizadas.

4.8.6 Descarte de desechos

- Verter todos los desechos del proceso en un frasco plástico con capacidad para 5 L.
- Rotular adecuadamente como desechos orgánicos
- Almacenar el frasco rotulado en el espacio de descarte, para su control y desecho por parte del encargado del laboratorio.

CAPÍTULO V

5.0 CONCLUSIONES

1. Por medio de investigación bibliográfica, se concluye que el método de valoración complejométrica puede ser empleado para la determinación de magnesio en mermelada de Jaboticaba.
2. Con base en la investigación realizada se logró plantear el correcto método de análisis para la muestra desde el muestreo, preparación de reactivos a utilizar hasta la identificación del elemento Mg.
3. El método de análisis complejométrico es una opción viable para la cuantificación de diferentes tipos de metales con fines de aprendizaje, alternativos y de aplicación a la industria alimentaria.

CAPÍTULO VI

6.0 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la realización práctica del método analítico propuesto, para ser incluido en próximas prácticas de laboratorios y así determinar la viabilidad del procedimiento, pudiéndose comparar resultados con otro tipo de métodos ya validados para analizar magnesio en mermeladas.
2. Así como en este trabajo de investigación se plantea una propuesta para el análisis de magnesio en mermelada de jabuticaba, se puede implementar un método similar de análisis de magnesio en otro tipo de mermelada o alimento.
3. Es recomendable el planteamiento de marchas analíticas para la determinación de otros minerales que se encuentran en la mermelada de Jabuticaba con el fin de conocer su valor nutricional y aporte en la dieta diaria de los salvadoreños que la consumen.
4. Se recomienda a la Universidad de El Salvador la inclusión de la práctica propuesta junto al informe escrito para futuros diplomados a realizarse en temas de análisis de alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. National Geographic, revista Nat Geo, Mermelada Química y Frescura envasadas en un tarro [internet], *Este artículo se publicó originalmente en inglés en nationalgeographic.com.*[citado el 20 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/mermelada-quimica-como-hace>
2. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, Información sobre mermelada Mermeladas [Internet], España, [citado el 5 de abril de 2024]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/mermelada_tcm30-102349.pdf
3. Instituto misionero de biodiversidad, investigación del árbol de jabuticaba [Internet], Puerto Iguazú, Argentina, 20 de junio de 2022, [citado el 23 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://imibio.misiones.gob.ar/en/ampliar/biodiversidad-y-alimentacion/jabuticaba-plinia-cauliflora> Fuente pdf mg: National Institutes of Health
Extraído de: <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Magnesium-DatosEnEspaol.pdf>
4. Meagan B. Calcio en la dieta. [Internet]. Medlineplus.gov. Revista MedlinePlus Editado por Enciclopedia Nacional de Medicina de EE. UU., Estado Unidos, septiembre 2021, [marzo de 2024]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002412.htm>
5. Baires R., Moran A., Vanegas K. Investigación del grado de demanda comercial y calidad Físico-Química del Cloruro de Magnesio Hexahidratado, utilizado para fines terapéuticos [Internet]. [San Salvador, El Salvador]: Universidad de El Salvador; 2004. Pág. 18-26. [citado el 12 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5530/1/16100549.pdf>
6. Díaz Mejía J., Santana Grande J. Cuantificación de Hierro, Zinc, Calcio y Vitamina “A” en leche de soya en polvo, de tres marcas comercializadas en los alrededores del Centro Urbano “José Simeón Cañas”. [Internet]. Edu.sv. [San Salvador, El Salvador], Universidad de El Salvador, junio 2009, [citado 5 de abril de 2024]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2584/1/16100882.pdf>
7. LENNTECH. Magnesio – (Mg). Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente [Internet]. Lenntech.es. [citado el 15 marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/mg.htm#:~:text=Elemento%20qu%C3%ADmico%2C%20met%C3%A1lico%2C%20de%20s%C3%ADmbolo,108.6%20lb%2Fft3>

8. Pilar M. Análisis volumétrico de interés farmacéutico: Valoradores automáticos. [Internet]. Idus.us.es. Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia, Sevilla, España, Julio 2017. Pág. 5-3, [citado el 22 de marzo 2023]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65309/An%C3%A1lisis%20volum%C3%A9trico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
9. López M. Métodos de Análisis Complejométricos para la Cuantificación de Minerales en Fertilizantes. [Internet]. Edu.sv [San Salvador, El Salvador], Universidad de El Salvador, agosto 2006, pág. 24-36, [citado el 30 marzo 2024]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5072/1/10131461.pdf>
10. Duran Velasco D., Hernández Castillo F. Propuesta del Método Titrimétrico por Oxido Reducción con Permanganato de Potasio para determinar Calcio en tabletas y en leches enteras fluidas pasteurizadas. [Internet]. Edu.sv [San Salvador, El Salvador], Universidad de El Salvador, octubre de 2013. [citado el 13 marzo 2024]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5142/1/Trabajo%20de%20graduacion.pdf>
11. Bracamonte D., Luna D., Jiménez J. Graficación de Curvas de Valoraciones Complejométricas y Diagrama de Distribución de Especies del EDTA, Usando el Enfoque de la Programación Estructurada, [Internet]. Edu.co. Pág. 50-57, [citado el 20 marzo de 2024]. Disponible en: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/684/687>.
12. Dubon Urbina A., Guadrón A. Determinación cuantitativa de elementos presentes en sales inorgánicas por métodos complejométricos No Oficiales. [Internet]. Edu.sv. [San Salvador, El Salvador], Universidad de El Salvador, septiembre 2009. [cita el 25 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2597/1/16101216.pdf>