



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
MULTICOMPONENTE AMIGABLE CON EL AMBIENTE
POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS”**

OPCIÓN CURRICULAR

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTA

MARÍA FERNANDA PADILLA SALAZAR

ASESORA: ADRIANA NARANJO MARTÍNEZ



CIUDAD DE MÉXICO

FEBRERO, 2020



Folio
T-DEySA-109-19

Asunto
Autorización de tema

CDMX, 14 de noviembre de 2019

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Ruiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Pasante
MARÍA FERNANDA PADILLA SALAZAR
PRESENTE

Boleta
2014650295

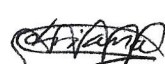
Programa Académico
I.Q.I.

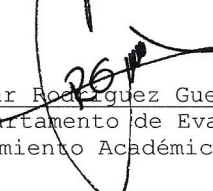
Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica a través de este Departamento autoriza a la. **Q.B.P. Adriana Naranjo Martínez** sea asesora en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Curricular**, con el título y contenido siguiente:


"Implementación de un sistema multicomponente amigable con el ambiente por espectrofotometría UV-VIS"

- Resumen.
- Introducción.
- I: Generalidades de la espectrofotometría UV-VIS.
- II: Metodología.
- III: Interpretación y análisis de resultados.
- Conclusiones.
- Referencias.
- Anexos.


Ing. Katya Deloya Lagunas
Presidenta de la Academia de
Química Analítica


Q.B.P. Adriana Naranjo Martínez
Directora


Ing. César Rodríguez Guerrero
Jefe del Departamento de Evaluación y
Seguimiento Académico.


M. en C. Isaura García Maldonado
Subdirectora Académica

c.c.p.- Depto. de Evaluación y Seguimiento Académico.
c.c.p.- Depto. de Gestión Escolar.
CRG/mlcp

Edificio 7, 1er piso, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Col. Zacatenco,
Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México,
Conmutador 01 (55) 57296000 ext. 55103 Y 55104 www.esiqie.ipn.mx; www.ipn.mx





T-DEySA-109-19

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"
175 Aniversario de la Escuela Superior de Comercio y Administración
125 Aniversario de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía
80 Aniversario del CECyT 6 "Miguel Othón de Mendizábal"
75 Aniversario de la Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía

Asunto

Autorización de Impresión

CDMX, a 21 de enero de 2020

Pasante
MARÍA FERNANDA PADILLA SALAZAR
PRESENTE

Boleta
2014650295

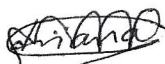
Programa Académico
I.Q.I.

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:

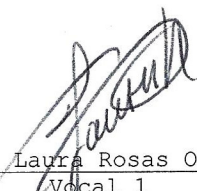
"Implementación de un sistema multicomponente amigable con el ambiente por espectrofotometría UV-VIS"

encontramos que el citado trabajo escrito de **Curricular**, reúne los requisitos para **autorizar el examen profesional y proceder a su impresión** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.


Atentamente
JURADO


Q.B.P. Adriana Naranjo Martínez
Presidenta


Ing. Jesús Torres Calderón
Secretario


Ing. Laura Rosas Ortiz
Vocal 1


Ing. Katia Deloya Lagunas
Vocal 2


Ing. Gabriela García Asiaín
Vocal 3

c.c.p.- Depto. de Evaluación y Seguimiento Académico.
c.c.p.- Depto. de Gestión Escolar
CRG/mlcp

Edificio 7, 1er piso, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Col. Zacatenco,
Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México,
Conmutador 01 (55) 57296000 ext. 46140 y 55072 www.esiqie.ipn.mx; www.ipn.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Escuela Superior de Ingeniería
Química e Industrias Extractivas
Subdirección Académica
Departamento de Evaluación y
Seguimiento Académico
Dirección

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"
175 Aniversario de la Escuela Superior de Comercio y Administración
125 Aniversario de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía
80 Aniversario del CECyT 6 "Miguel Othón de Mendizábal"
75 Aniversario de la Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía

Folio

T-DEySA-109-19

Asunto

Cesión de derechos

CDMX, 21 de enero de 2020

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

El/La que suscribe: **María Fernanda Padilla Salazar** estudiante del Programa de: **Ingeniería Química Industrial** con número de Boleta: **2014650295**, manifiesta que es autor/a intelectual del presente trabajo escrito, por la opción: **Curricular**, bajo la dirección del profesor/a **Q.B.P. Adriana Naranjo Martínez** ceden los derechos del trabajo: **"Implementación de un sistema multicomponente amigable con el ambiente por espectrofotometría UV-VIS"** al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico **fenanda.padilla0305@gmail.com** Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A t e n t a m e n t e

María Fernanda Padilla Salazar

Nombre y Firma del/la
estudiante

Nombre y Firma
Del/la director(a)

Edificio 7, 1er piso, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Col. Zacatenco,
Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México,
Commutador 01 (55) 57296000 ext. 46140 y 55072 www.esiqie.ipn.mx; www.ipn.mx



2020
AÑO DE
LEONA VICARIO
BENEMÉRITA MADRE DE LA PATRIA

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Rita Salazar Pérez, por ser la mejor mamá, la mejor amiga, por todo el apoyo, el amor, tiempo, paciencia, comprensión y todo lo que a lo largo de mi vida me has brindado.

A mi padre, Fernando Padilla Sánchez, por el apoyo, esfuerzo y trabajo dedicado a darnos siempre lo mejor.

Gracias a ambos por darme la dicha de existir y ser los pilares más importantes de mi vida. Por ustedes soy lo que soy y este logro no es sólo mío, ¡ES NUESTRO!... ¡Los amo!

A mis hermanos, Fernando Julián, Israel y Christopher, por estar siempre presentes, por su apoyo y las cosas buenas aportadas a mi vida.

A mi segunda familia, tía Emma, tío Efrén, Jovani y Jonathan, por la motivación, apoyo y amor que siempre me han brindado.

A Cintya y Efrén, por ser los mejores amigos y confidentes que el IPN me dejó. A Ana, Jacqueline, Génesis, Jesús L., Óscar, Michelle y todos los amigos y compañeros que hicieron livianas las horas de estudio y han estado siempre para animarme, ayudarme y apoyarme no sólo en el salón de clases, también en mis “crisis existenciales”.

Al Instituto Politécnico Nacional por abrirme las puertas desde el Nivel Medio Superior y formar a la profesionista en la que hoy me estoy convirtiendo.

A la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas y a todos los profesores que durante mi paso por la misma me regalaron un poco de su tiempo, conocimientos e historias de vida. Especialmente a las profesoras M. en C. María Elena Jiménez Vieyra y Q.B.P. Adriana Naranjo Martínez, por su apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

Con admiración y respeto... ¡Gracias!

María Fernanda

ÍNDICE

RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	II
OBJETIVOS	IV
I. GENERALIDADES DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA UV –VIS	
1.1 FUNDAMENTOS DE LAS MEDICIONES POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV- VIS	2
1.1.1 El fenómeno de absorción – emisión	4
1.1.2 Alcances de la técnica	4
1.1.3 Factores que afectan a las mediciones espectrofotométricas	6
1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VIS ...	9
1.3 INSTRUMENTACIÓN	10
1.3.1 Descripción de los componentes	11
1.4 ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO	15
1.4.1 Ley de Beer y sus limitaciones	15
1.4.2 Análisis cuantitativo: mezclas binarias	16
1.5 SUSTANCIAS QUE SE PUEDEN EMPLEAR PARA EL ANÁLISIS DE MEZCLAS BINARIAS	18
1.6 INDICADORES	19
II. METODOLOGÍA	
2.1 EQUIPOS, SOFTWARE, MATERIAL Y REACTIVOS EMPLEADOS	26
2.1.1. Equipos	26
2.1.2 Software	27
2.1.3 Material	27
2.1.4 Reactivos empleados	28
2.2 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES	29
2.2.1 Preparación de soluciones madre de los indicadores	29
2.2.2 Preparación de la muestra de cada indicador	29
2.2.3 Preparación de mezclas de indicadores	31

2.3 TOMA DE DATOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS	33
2.3.1 Obtención de los espectros	38
2.3.2 Selección de la mezcla binaria	38
III. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
IV. CONCLUSIONES	61
ANEXOS	
1	64
2	65
3	66
Glosario	67
BIBLIOGRAFÍA	70
Referencias de figuras	72
Referencias de tablas	75

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Espectro Electromagnético.	2
2. Fenómeno de Absorción – Emisión.	4
3. Transiciones electrónicas.	5
4. Desplazamiento batocrómico, causado por un disolvente polar.	7
5. Desplazamiento hipsocrómico, causado por un disolvente no polar.	7
6. Efectos causados por concentración y/o espesor de celda: a) hipercrómico, b) hipocrómico.	8
7. Componentes del espectrofotómetro UV – VIS.	10
8. Fuentes del Espectrofotómetro UV – VIS.	11
9. Partes de un monocromador.	12
10. Celda o cubeta.	13
11. Detector de fotodiodo.	14
12. Componentes de un tubo fotomultiplicador.	14
13. Espectro de absorción de una mezcla binaria.	18
14. Estructura molecular del azul de metileno.	19
15. Estructura molecular del indicador calmagita.	20
16. Estructura molecular del indicador naranja de metilo.	21
17. Estructura molecular del indicador naranja de xilenol.	22
18. Estructura molecular del indicador rojo de metilo.	23
19. Estructura molecular del indicador verde de bromocresol.	24
20. Espectrofotómetro UV – VIS Lambda 2S.	26
21. Balanza analítica OHAUS modelo Discovery DV214C	26
22. Ícono del Software WinLab de Perkin Elmer de México	27
23. Preparación de soluciones madre.	29
24. Preparación de muestras de indicadores.	29
25. Indicadores preparados con agua destilada como disolvente.	30
26. Indicadores preparados con alcohol etílico como disolvente.	30
27. Preparación de mezclas de indicadores.	31
28. Mezclas de indicadores preparados con agua destilada como disolvente.	32
29. Toma de datos espectrofotométricos.	33

30. Parámetros de operación.	34
31. Método Scan.	34
32. Parámetros para el análisis.	35
33. Parámetros del instrumento.	36
34. Identificación de muestras.	36
35. Inicio del análisis.	37
36. Espectro de absorción.	38
37. Selección de la mezcla.	38
38. Espectro de absorción de la mezcla M1: Azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada	40
39. Espectro de absorción de la mezcla M2: Azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada	41
40. Espectro de absorción de la mezcla M3: Azul de metileno (A) y rojo de metilo (D) en agua destilada	42
41. Espectro de absorción de la mezcla M4: Naranja de xilenol (B) y naranja de metilo (C) en agua destilada.	43
42. Espectro de absorción de la mezcla M5: Naranja de xilenol (B) y rojo de metilo (D) en agua destilada	44
43. Espectro de absorción de la mezcla M6: Naranja de metilo (C) y rojo de metilo (D) en agua destilada	45
44. Espectro de absorción de la mezcla M7: Calmagita (E) y naranja de xilenol (F) en alcohol etílico.	46
45. Espectro de absorción de la mezcla M8: Calmagita (E) y verde de bromocresol (G) en alcohol etílico.	47
46. Espectro de absorción de la mezcla M9: naranja de xilenol (F) y verde de bromocresol (G) en alcohol etílico.	48
47. Espectro de absorción de la mezcla M1: azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada, obtenido el día 30 de octubre del año 2018.	49
48. Espectro de absorción de la mezcla M2: azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada, obtenido el día 30 de octubre del año 2018.	50
49. Espectro de absorción de la mezcla M1: azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada, obtenido el día 05 de noviembre del año 2018.	51

50. Espectro de absorción de la mezcla M2: azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada, obtenido el día 05 de noviembre del año 2018.	52
51. Espectro de absorción de la mezcla M1: azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada, obtenido el día 07 de noviembre del año 2018.	53
52. Espectro de absorción de la mezcla M2: azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada, obtenido el día 07 de noviembre del año 2018.	54
53. Determinación gráfica de las absorbancias y $\lambda_{\text{máx}}$	56
54. Azul de metileno, naranja de metilo y mezcla en solución.	59

ÍNDICE DE TABLAS

1. Colores de las diferentes longitudes de onda de la región visible.	3
2. Identificación de los indicadores.	28
3. Mezclas de indicadores utilizando agua destilada como disolvente.	31
4. Mezclas de indicadores utilizando alcohol etílico como disolvente.	32
5. Parámetros de operación.	35
6. Cuadro comparativo de las longitudes de onda máximas de los componentes de la mezcla 1.....	55
7. Cuadro comparativo de las longitudes de onda máximas de los componentes de la mezcla 2.....	55
8. Datos experimentales.	57
9. Tabla de resultados.	58
10. Lista de precios de los indicadores por el proveedor Sigma Aldrich.	64
11. Cuadro comparativo del precio de 25 g de los indicadores.	65
12. Cuadro comparativo del precio de 1 g de los indicadores.	66

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue implementar un sistema multicomponente menos contaminante para el ambiente en el Laboratorio de Espectroscopía Molecular y Atómica de la ESQIE. Actualmente, el sistema permanganato de potasio/dicromato de potasio en ácido sulfúrico es el utilizado para fines didácticos debido a sus características, sin embargo es un sistema altamente contaminante por los reactivos y por el disolvente utilizado. Por tal motivo se busca sustituir dicho sistema por uno más amigable con el ambiente, constituido por indicadores. Las pruebas se llevaron a cabo utilizando los indicadores rojo de metilo, azul de metileno, naranja de xilenol, naranja de metilo, calmagita, verde de bromocresol y sus posibles mezclas para de esta manera seleccionar la más adecuada para su implementación. Los indicadores se prepararon con concentración de 10^{-5} M debido a que con esa concentración es posible aplicar la Ley de Lambert – Beer para la espectroscopía, además de que con esto se logra también disminuir la concentración de los residuos. El intervalo de longitud de onda de experimentación fue de 380 a 760 nm, correspondiente a la región visible donde absorben las sustancias coloridas. En base a los resultados obtenidos se concluyó que los indicadores más adecuados son el azul de metileno y el naranja de metilo debido a que ambos presentan estabilidad a la temperatura y a la luz, los colores de éstos son diferentes y sus longitudes de onda no se traslapan, además de que no hay reacción entre ellos, por tal motivo se llevó a cabo la combinación de estos indicadores para hacer la mezcla binaria cumpliendo con las características del análisis de multicomponentes en la técnica de Espectrofotometría UV – VIS.

En el primer capítulo se presentan las generalidades de los indicadores que se probaron así como de la técnica Espectrofotometría UV – VIS utilizada para el desarrollo del trabajo, su principal fundamento, sus limitaciones, ventajas y desventajas. En el segundo capítulo se detalla la metodología aplicada para obtener los espectros de absorción de las mezclas analizadas, incluyendo la preparación de soluciones utilizadas y las condiciones de operación del espectrofotómetro UV – VIS que se usó. En el tercer capítulo se muestran los espectrogramas, cálculos y resultados obtenidos así como el análisis y discusión de los mismos. Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan las conclusiones relevantes del trabajo desarrollado, para saber si se cumplió con los objetivos.

INTRODUCCIÓN

La Química Analítica se encarga de caracterizar la materia químicamente, tanto de manera cualitativa como cuantitativa, esto se refiere a determinar de qué sustancias químicas está compuesta y en qué cantidades. Debido a que los productos químicos forman parte de nuestro entorno, las aplicaciones de la Química Analítica son muy extensas e importantes, ya que van desde el muestreo y análisis ambientales e industriales, hasta las ciencias biológicas y la química clínica.

Para poder analizar una muestra, esta pasa por ciertos tratamientos dependiendo de sus características y el método analítico a emplear, el cual se selecciona tomando en cuenta ciertos factores entre los que se encuentran la exactitud y precisión que se requiera.

Las posibles técnicas a utilizar en un proceso analítico son el análisis gravimétrico donde el analito, sustancia a analizar, se separa por precipitación y seguidamente se realiza una medición del precipitado; análisis volumétrico que consiste en un proceso denominado titulación donde se lleva a cabo la reacción química del analito con un volumen medido de reactivo de concentración conocida; análisis instrumental, constituido por técnicas instrumentales basadas en la medición de una propiedad física de la muestra.

Entre las técnicas instrumentales se encuentran las técnicas espectrofotométricas que utilizan la luz para medir concentraciones químicas, de las cuales la Espectrofotometría UV – VIS es la que nos incumbe en el presente trabajo. Dicha técnica se basa en la absorción de radiación ultravioleta y visible para la determinación química cualitativa y/o cuantitativa de las muestras a analizar. Es aplicada en el control de calidad de industrias como son la producción de pinturas, farmacéutica, alimenticia, entre otras también relevantes. Es por esto la importancia de su enseñanza como parte de la línea curricular “Análisis Instrumental” impartida en la ESQIE, sin embargo no debemos olvidar también la parte del cuidado del ambiente que en la actualidad es una de las cuestiones más importantes y preocupantes a nivel tanto industrial como educativo, de ahí los objetivos del presente trabajo que van encaminados principalmente a implementar un sistema multicomponente menos contaminante para el ambiente para su uso didáctico en la impartición de la práctica “Determinación de mezclas de dos componentes por Espectrofotometría UV – VIS.”

Pertenece a la programación didáctica de la asignatura “Espectroscopia Molecular y Atómica”, ya que el sistema multicomponente empleado para impartir la práctica antes mencionada, era el constituido por permanganato de potasio y dicromato de potasio utilizando ácido sulfúrico como disolvente debido a que cumple con las características necesarias para su análisis, sin embargo tanto los reactivos como el disolvente son altamente contaminantes. Este es el motivo por el que se busca sustituir dicho sistema por uno más amigable con el ambiente constituido por indicadores, que son sustancias empleadas en el análisis volumétrico para señalar el final de la reacción química que se lleva a cabo en este tipo de análisis y que son menos contaminantes, además de que se utilizan concentraciones muy pequeñas que van de 10^{-5} a 10^{-7} M.

En el presente trabajo se muestra el procedimiento de selección de la mezcla de indicadores más adecuada para su implementación en el laboratorio.

OBJETIVOS

Objetivo general

Implementar un sistema multicomponente menos contaminante para el ambiente por Espectrofotometría UV – VIS.

Objetivos específicos

- a) Sustituir los reactivos empleados en la práctica “Determinación de mezclas de dos componentes por Espectrofotometría UV – VIS.” Impartida en el Laboratorio de Espectroscopía Molecular y Atómica, por sustancias menos contaminantes.
- b) Realizar el análisis de mezclas de indicadores por Espectrofotometría UV – VIS probando diferentes concentraciones y longitudes de onda.
- c) Elegir la mezcla de indicadores más adecuada para su implementación en base a las características de su espectro, estabilidad a la temperatura y la luz, costos y grado de ecotoxicidad.



I. GENERALIDADES DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA UV - VIS



1.1 FUNDAMENTOS DE LAS MEDICIONES POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VIS

Por definición: “El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas”. [Green facts, 2019]

De acuerdo a la longitud de onda, el espectro electromagnético se divide en distintas regiones: Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta (UV), Visible (Vis), Infrarrojo (IR), Microondas y Ondas de Radio (Figura 1). La región ultravioleta abarca desde los 10 hasta los 380 nm, mientras que la visible comprende una parte muy pequeña del espectro electromagnético que va de los 380 a unos 780 nm.

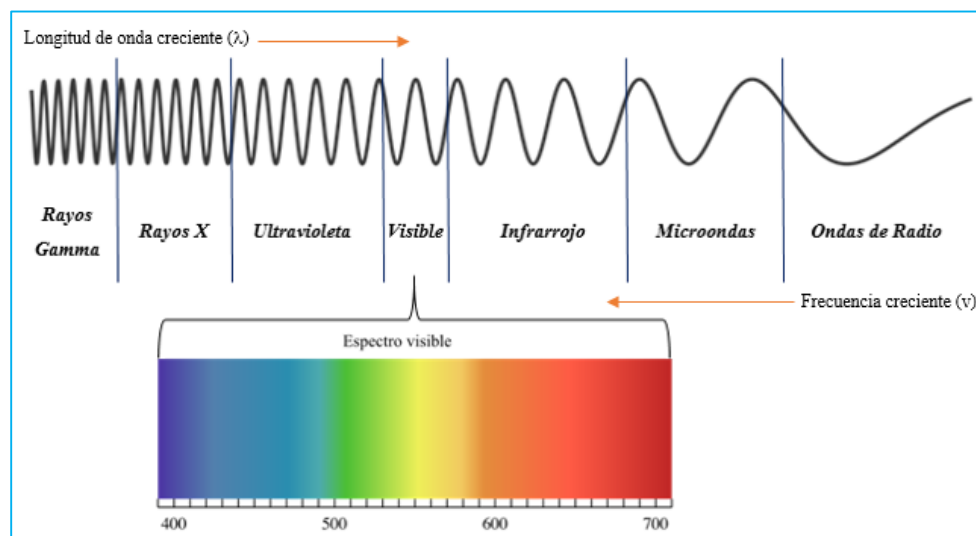


Figura 1. Espectro Electromagnético.

El ojo humano puede percibir los objetos con color debido a que éstos transmiten o reflejan únicamente una parte de la luz en la región visible. Cuando la luz blanca atraviesa un objeto, éste únicamente absorbe ciertas longitudes de onda y transmite las no absorbidas (Tabla 1). Las longitudes de onda no absorbidas se perciben como un color denominado complemento de los colores absorbidos.

Tabla 1. Colores de las diferentes longitudes de onda de la región visible. [Christian., 2009]

Longitud de onda absorbida (nm)	Color absorbido	Color transmitido (complemento/observado)
380 – 450	Violeta	Amarillo verdoso
450 – 495	Azul	Amarillo
495 – 570	Verde	Violeta
570 – 590	Amarillo	Azul
590 – 620	Anaranjado	Verde azulado
620 – 750	Rojo	Azul verdoso

La radiación electromagnética posee cierta cantidad de energía y de acuerdo con la ecuación de Planck, la energía es directamente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda, es decir, cuanto más corta sea la longitud de onda, la frecuencia y la energía son mayores.

Ecuación de Planck:

$$E = h\nu$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\therefore E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde:

E = Energía [=] ergios

h = Constante de Planck = 6.62×10^{-34} joules – segundo (Js)

ν = Frecuencia [=] s^{-1}

λ = Longitud de onda [=] cm

c = velocidad de la luz = $3 \times 10^8 \frac{cm}{s}$

1.1.1 El fenómeno de absorción – emisión

Cuando una molécula absorbe radiación electromagnética, esta aumenta su energía y se dice que pasó de un estado basal, fundamental o de mínima energía, a un estado excitado. Todos los átomos de una muestra a temperatura ambiente se encuentran en estado fundamental, su excitación se puede conseguir con el calor de una llama, un plasma, una chispa o arco eléctrico y su tiempo de vida es breve. El regreso de un átomo de su estado excitado a su estado basal, va siempre acompañado de la emisión de la radiación electromagnética previamente absorbida. Dicho fenómeno es el conocido como fenómeno de absorción – emisión.

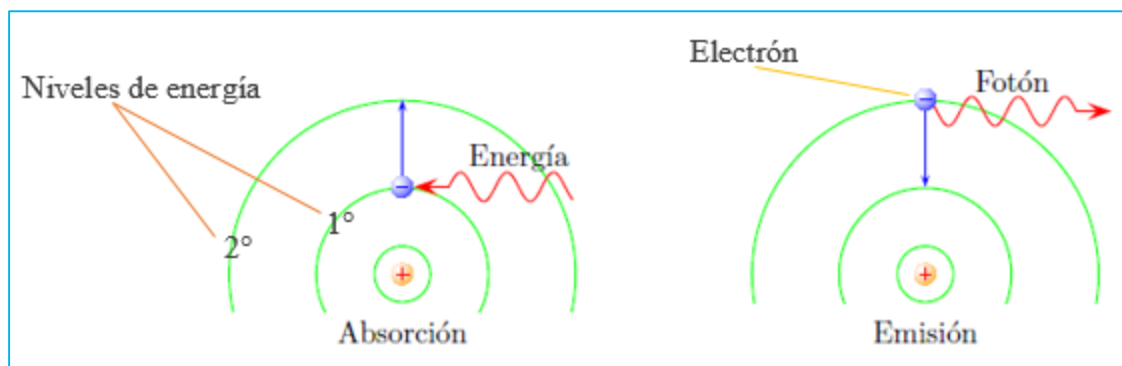


Figura 2. Fenómeno de Absorción – Emisión. [Departamento de Física y Química del IES Almeraya, S.F.]

1.1.2 Alcances de la técnica

Cuando se forma un enlace químico, los enlaces originados entre los átomos pueden ser de dos tipos: “ σ ” (enlace sencillo) o “ π ” (enlaces dobles o triples). Los electrones que no participan en la formación de enlaces se denominan electrones “n” (no enlazantes).

Al absorber radiación ultravioleta o visible, los electrones n, σ o π aumentan su energía y pasan de un estado basal a un estado excitado o de mayor energía (Figura 3).

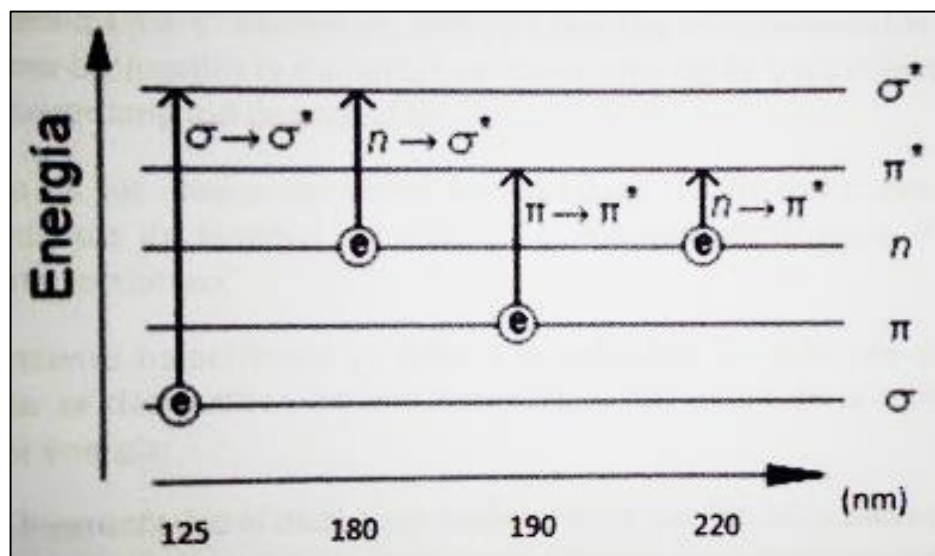


Figura 3. Transiciones electrónicas. [Hernández, 2017]

En una molécula pueden existir cromóforos y auxocromos. Un cromóforo es cualquier grupo funcional responsable de la absorción y que generalmente contiene enlaces π , mientras que un auxocromo, no es un cromóforo por sí mismo pero al unirse a uno puede alterar la longitud de onda o la absorptividad molar.

Aunque todos los compuestos orgánicos tienen la capacidad de absorber energía electromagnética, la absorción de energía relacionada con los electrones que forman enlaces sencillos está limitada a la región ultravioleta con longitud de onda menor a 185 nm, ya que su energía de excitación es demasiado alta. Dicha región presenta dificultades significativas en la experimentación, por lo que la mayoría de las investigaciones espectrofotométricas se han realizado en la región con longitud de onda mayor a 185 nm.

Por lo anterior se deduce que para que una molécula pueda analizarse por Espectrofotometría UV – VIS es necesario que contenga enlaces dobles y/o triples, ya que de acuerdo con la Figura 3, a longitudes de onda mayores a 185 nm se encuentran únicamente las transiciones electrónicas correspondientes a los electrones n y π , por lo que es indispensable la presencia de cromóforos.

1.1.3 Factores que afectan a las mediciones espectrofotométricas

Las mediciones espectrofotométricas, pueden ser afectadas por factores instrumentales, químicos, físicos y personales.

Factores instrumentales

Al realizar las mediciones es posible que el equipo utilizado presente radiaciones parásitas, es decir, radiaciones que no corresponden a la emitida por la fuente adecuada y que pueden ser originadas por la reflexión de componentes ópticos del equipo o bien por la misma muestra a analizar. Dichas radiaciones presentan diferentes longitudes de onda y en caso de que lleguen al detector, pueden ocasionar desviaciones en la medición.

Factores físicos y químicos

Cuando se realizan mediciones espectrofotométricas, la muestra puede presentar impurezas que posiblemente ocasionen desviaciones en las mediciones, en estos casos se recomienda que el blanco esté constituido por la matriz de la muestra y el disolvente a utilizar.

Por otro lado, el disolvente también influye en la medición, ya que puede ocasionar desplazamientos de longitud de onda en la máxima absorbancia dependiendo de su polaridad.

Cuando el disolvente es polar, se ocasiona un desplazamiento conocido como batocrómico en el que debido a que los electrones de la estructura de la muestra se deslocalizan, se requiere de menor energía para su excitación y por lo tanto la longitud de onda en la máxima absorbancia se desplaza hacia longitudes de onda mayores.

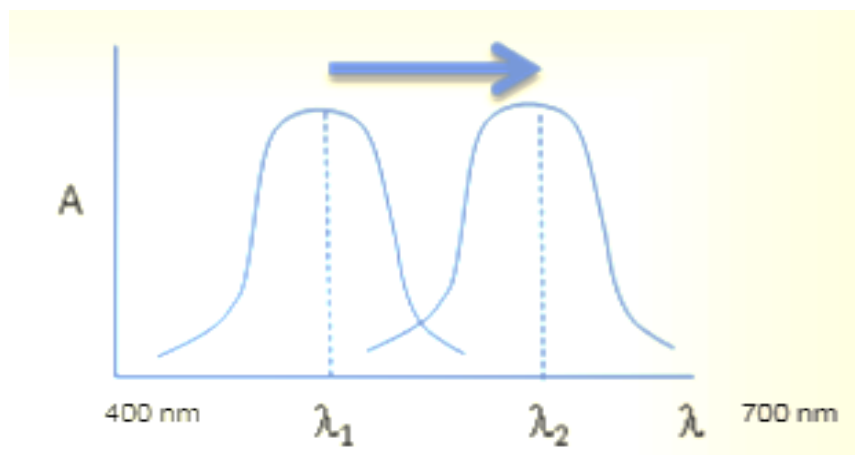


Figura 4. Desplazamiento batocrómico, causado por un disolvente polar. [Universidad Central de Venezuela, 2015]

Al utilizar un disolvente no polar ocurre lo contrario, ya que los electrones no se deslocalizan, se requiere de mayor energía y se origina que no exista desplazamiento o que este sea hacia longitudes de onda menores.

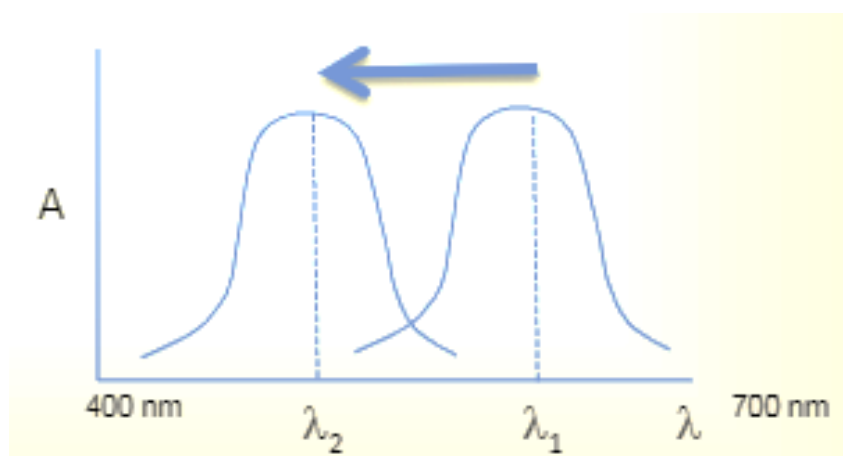


Figura 5. Desplazamiento hipsocrómico, causado por un disolvente no polar. [Universidad Central de Venezuela, 2015]

Otro factor a considerar es la temperatura, ya que de existir termosensibilidad es posible que se produzcan desplazamientos batocrómicos. Debido a esto es importante mantener las mismas condiciones de temperatura durante todo el análisis espectrofotométrico.

Por otro lado la concentración de la solución y/o espesor de la celda, son factores que deben ser documentados, ya que causan el aumento de la lectura de la absorbancia (efecto hipercrómico) o bien la disminuyen (efecto hipocrómico).

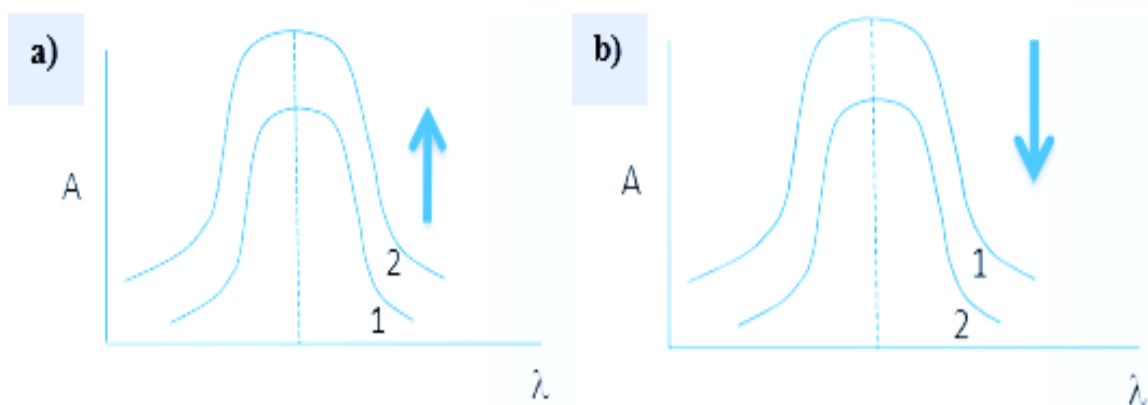


Figura 6. Efectos causados por concentración y/o espesor de celda:
a) hipercrómico, b) hipocrómico. [Universidad Central de Venezuela, 2015]

Por último, el pH es también un factor químico que puede interferir en la obtención de un espectro y su interpretación, ya que es determinante en la formación de ciertos complejos o compuestos coloridos, por lo que su documentación es importante al realizar un análisis debido a que puede ocasionar cambios leves o drásticos en un espectro con respecto al original.

Factores personales

Las buenas prácticas del analista también son un factor importante a tomar en cuenta en los análisis espectrofotométricos, ya que este debe cuidar tanto el manejo del equipo como de las celdas a utilizar las cuales se deben tomar por los lados esmerilados, deben ser limpiadas con agua destilada y sólo se deben secar por el exterior con papel suave. Además al realizar un análisis, las celdas deben ser enjuagadas con alcohol étílico y con una pequeña cantidad de la muestra a analizar para evitar la existencia de interferencias, y al ser introducidas al equipo se debe cuidar que no haya burbujas, pelusas, ni precipitado en la sustancia contenida en ellas.

1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VIS

La Espectrofotometría UV – VIS presenta algunas ventajas y desventajas respecto a otras técnicas instrumentales existentes, algunas de ellas se presentan a continuación:

Ventajas

- a) Posee un amplio campo de aplicación debido a que son muchas las especies coloridas y activas en el rango visible, además de las que son capaces de formar especies coloridas al someterse a un tratamiento previo.
- b) Selectividad adecuada que permite emplear métodos de análisis alternativos en el caso de existir interferencias
- c) Si se procede de forma correcta se puede considerar que se tendrán resultados analíticos con un mínimo de incertidumbre, ya que en esta técnica espectrofotométrica los errores relativos obtenidos normalmente son del 1 al 3%.
- d) A pesar de que existen instrumentos altamente sofisticados, es posible obtener resultados aceptables para análisis rutinarios con espectrofotómetros de los más sencillos a costos muy accesibles.

Desventajas

- a) Su aplicación al análisis cualitativo es limitada debido a que el número de máximos y mínimos de absorción es relativamente bajo, además de que muchas veces pueden producirse pérdidas en el detalle espectral dependiendo de la modalidad de registro gráfico de los datos espectrales. Por lo anterior, frecuentemente es imposible una identificación inequívoca de las especies absorbentes.

1.3 INSTRUMENTACIÓN

La medición de la absorción de luz presentada por moléculas en la región ultravioleta y visible se realiza utilizando un equipo llamado Espectrofotómetro UV – VIS, el cual está constituido por:



Figura 7. Componentes del espectrofotómetro UV – VIS.

1.3.1 Descripción de los componentes

Fuente de energía radiante

Para la medida de absorción molecular se requiere de una fuente de radiación electromagnética continua cuya potencia sea constante en un intervalo considerable de longitudes de onda. En el caso del Espectrofotómetro UV – VIS, la radiación es proporcionada por dos diferentes fuentes (Figura 8): una de Deuterio para la región ultravioleta y una de Wolframio, también conocido como Tungsteno, para la región visible.

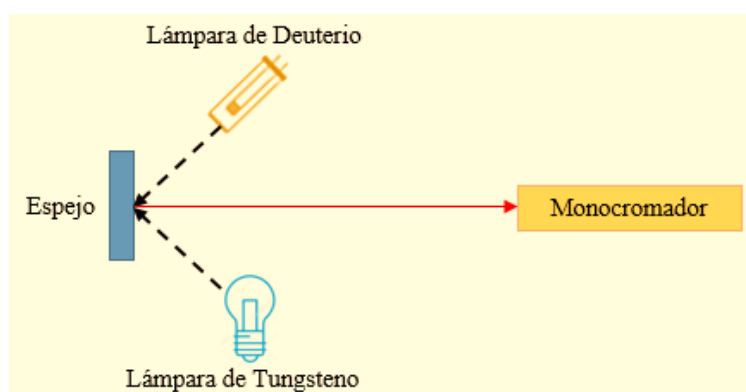


Figura 8. Fuentes del Espectrofotómetro UV – VIS.

Monocromador

Es un dispositivo óptico diseñado para separar y seleccionar las longitudes de onda que componen un espectro, a esto se le conoce como barrido espectral.

Las partes que componen a un monocromador (Figura 9) son: rendija de entrada, dispositivo de difracción, que puede ser un prisma o una red de dispersión, y rendija de salida, también conocida como slit.

Los equipos pueden contar con slit fijo o variable y cuanto más pequeño sea, más definidos serán los picos en el espectro. Por tal motivo se recomienda utilizar slit mayores en los análisis cuantitativos y menores en los análisis cualitativos, ya que estos requieren espectros con mayor detalle.

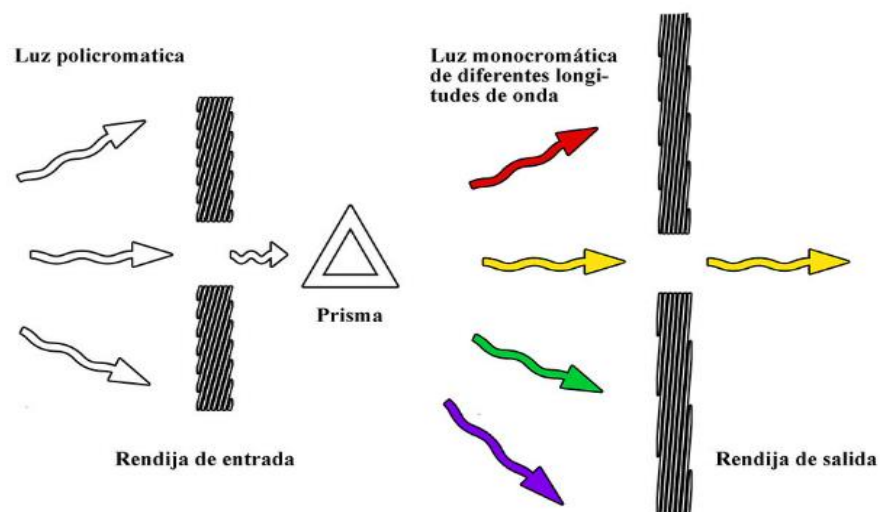


Figura 9. Partes de un monocromador. [Bretó, 2011]

Zona de muestra

Es el compartimento donde se alojan las celdas o cubetas (Figura 10) que contienen la muestra y al disolvente. En esta zona la radiación transmitida por el monocromador incide en la celda que contiene la muestra, la cual absorbe cierta cantidad de energía dejando pasar a través de ella la no absorbida para llegar al detector.

Las celdas deben construirse con un material que deje pasar la radiación de la región espectral de interés. Los materiales de construcción más comunes son vidrio, cuarzo, sílice o varios plásticos, siendo las de cuarzo las más utilizadas.

- Cubetas de plástico: Son las cubetas más baratas, construidas normalmente de acrílico. No son resistentes a todos los disolventes y son inadecuadas para mediciones en la región por debajo de 300 nm debido a que en esta región absorben fuertemente.
- Cubetas de vidrio: Son ligeramente más caras que las de plástico pero más duraderas. No son adecuadas para medir en la región por debajo de 320 nm debido a que absorben en esta área.

- c) Cubetas de cuarzo: Son razonablemente transparentes por debajo de 210 nm.
- d) Cubetas de sílice: Las mejores cubetas son de sílice fundida sintética de alta pureza, ya que son razonablemente transparentes por debajo de 190 nm.

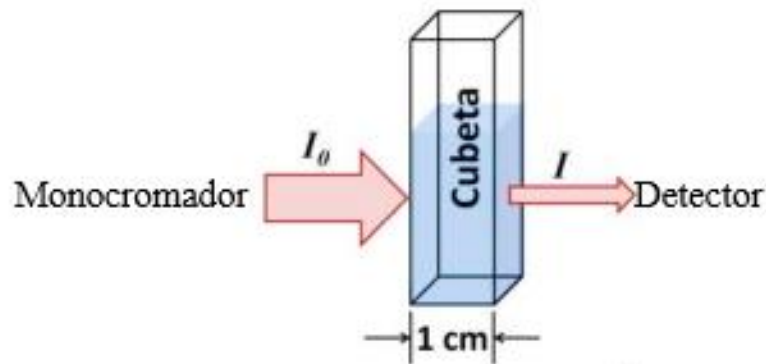


Figura 10. Celda o cubeta. [Cano, 2013]

Detector de luz

Es un dispositivo que convierte la energía radiante en una señal eléctrica. Las principales características que debe poseer son: sensibilidad elevada, relación señal/ruido elevada, respuesta constante en un intervalo considerable de longitud de onda, corto tiempo de respuesta y que sin iluminación, su señal de salida sea igual a 0.

Normalmente, los tipos de detectores que puede tener un Espectrofotómetro UV – VIS son los fotodiodos y el tubo fotomultiplicador.

- a) Fotodiodo (Figura 11): En este tipo de detector se disminuye la carga de un condensador mediante la incidencia de luz sobre un material semiconductor conectado a él. La luz que incide sobre el material semiconductor permite que los electrones fluyan a través de él disminuyendo así la carga del condensador al que está conectado. La carga necesaria para recargar el condensador, a intervalos regulares, es proporcional a la intensidad de la luz. Los límites de detección son, aproximadamente, 170–1100 nm para detectores de silicio.

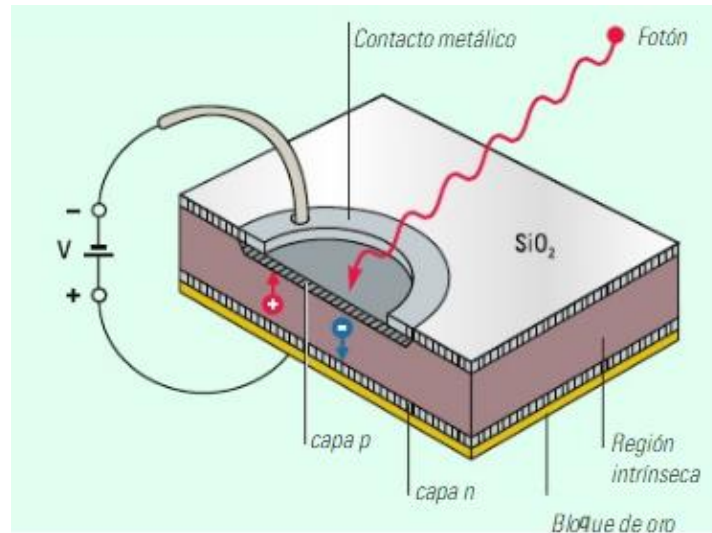


Figura 11. Detector de fotodiodo. [Owen, 2000]

- b) Tubo fotomultiplicador (PMT): Es un tipo de detector muy sensible a la radiación ultravioleta y visible con tiempos de respuesta muy cortos. Está constituido por un cátodo y un ánodo además de otros electrodos denominados dinodos. La superficie del cátodo está recubierta por un material fotoemisor que tiende a emitir electrones al recibir radiaciones electromagnéticas, dichos electrones son multiplicados en varias etapas a su paso por los dinodos hasta que son recogidos en el ánodo y la corriente resultante se amplifica electrónicamente para su medición.

En la Figura 12 se muestra un esquema de los componentes de un tubo fotomultiplicador.

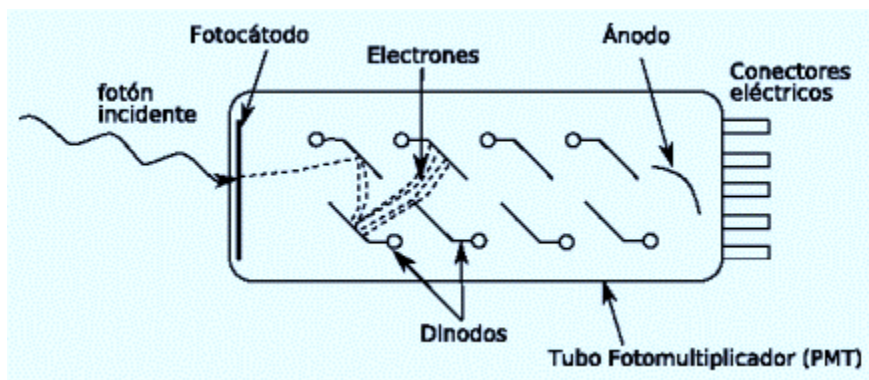


Figura 12. Componentes de un tubo fotomultiplicador. [“Cuento de eventos y estadística de fotones”, S.F.]

Procesador

Es en donde la señal eléctrica proporcionada por el detector es procesada para poder realizar operaciones matemáticas y gráficas (espectros), que permitan interpretar tanto cuantitativa como cualitativamente los resultados obtenidos.

1.4 ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO

La Espectrofotometría UV – VIS es utilizada para realizar análisis cualitativos y cuantitativos, ya que con su aplicación pueden identificarse sustancias orgánicas e inorgánicas coloridas, como complejos metálicos, así como la concentración de las mismas.

1.4.1 Ley de Beer y sus limitaciones

En el análisis cuantitativo la relación de la absorbancia con la concentración es la denominada Ley de Beer, que enuncia que para una radiación monocromática, la absorbancia “A” es directamente proporcional al paso óptico “b” y la concentración “c” del analito:

$$A = abc$$

$$A = \mathcal{E}bc$$

Donde:

A=Absorbancia [=] adimensional

a = Absortividad [=] $\frac{L}{g\ cm}$

\mathcal{E} = Absortividad molar [=] $\frac{L}{mol\ cm}$

b = Paso óptico [=] cm.

C = Concentración [=] $\frac{g}{L}$ o $\frac{mol}{L}$ dependiendo el caso.

Nota: Las unidades de la absortividad (a o \mathcal{E}) dependerán de las unidades b y c.

Limitaciones de la Ley de Beer

En algunas ocasiones la aplicación de la Ley de Beer presenta desviaciones relacionadas con su propio fundamento y representan limitaciones propias de la misma. Otras veces surgen por desviaciones instrumentales y químicas.

La ley de Beer es considerada una “ley límite”, ya que únicamente puede describir correctamente el comportamiento de absorción de sustancias que contienen concentraciones de analito relativamente bajas (≤ 0.01 M). Esto se debe a que a concentraciones más altas, la cercanía entre moléculas es mayor y esto provoca alteraciones a su capacidad para absorber radiación a una determinada longitud de onda, lo que afecta también a la linealidad entre la absorbancia y la concentración. Dicho efecto puede solucionarse mediante la dilución de la muestra.

Algunas de las limitaciones instrumentales y químicas ya se han mencionado en el apartado 1.1.3, sin embargo es importante también señalar que la existencia de reacciones químicas entre el analito y el disolvente causando la formación de nuevas especies absorbentes, es otro factor que afecta a la aplicación de la Ley de Beer.

1.4.2 Análisis cuantitativo: mezclas binarias

La Ley de Beer puede también aplicarse a mezclas de dos o más especies absorbentes siempre y cuando éstas no reaccionen entre sí. La absorbancia total de una mezcla a una longitud de onda dada es igual a la sumatoria de las absorbancias individuales de cada componente y se expresa como sigue:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

$$A = \epsilon_1 * b * C_1 + \epsilon_2 * b * C_2 + \dots + \epsilon_n * b * C_n$$

Donde los subíndices se refieren a los componentes 1, 2 ... n, de la mezcla.

Cuando la mezcla a analizar es de dos componentes se presentan dos incógnitas; la concentración del componente 1 y la del componente 2 en la mezcla. Para poder determinarlas es necesario medir las absorbancias de ambos componentes y de la mezcla a la longitud de onda máxima de cada uno de los componentes y calcular las absorptividades molares de cada componente a cada longitud de onda mediante la aplicación de la Ley de Beer. El cálculo de las concentraciones se realiza resolviendo el siguiente sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas:

$$A_M^{\lambda_1} = C_{1M} b \varepsilon_1^{\lambda_1} + C_{2M} b \varepsilon_2^{\lambda_1}$$

$$A_M^{\lambda_2} = C_{1M} b \varepsilon_1^{\lambda_2} + C_{2M} b \varepsilon_2^{\lambda_2}$$

Donde:

A_M = Absorbancia de la mezcla a las longitudes de onda 1 y 2 (λ_1 y λ_2 respectivamente) [=] adimensional.

ε = Absortividad molar [=] $\frac{L}{mol \cdot cm}$

C = Concentración [=] $\frac{mol}{L}$

b = Paso óptico [=] cm.

Subíndices:

1 = Componente 1 de la mezcla.

2 = Componente 2 de la mezcla.

M = Mezcla.

En la Figura 13 se muestra el espectro de absorción de una mezcla binaria así como sus acotaciones.

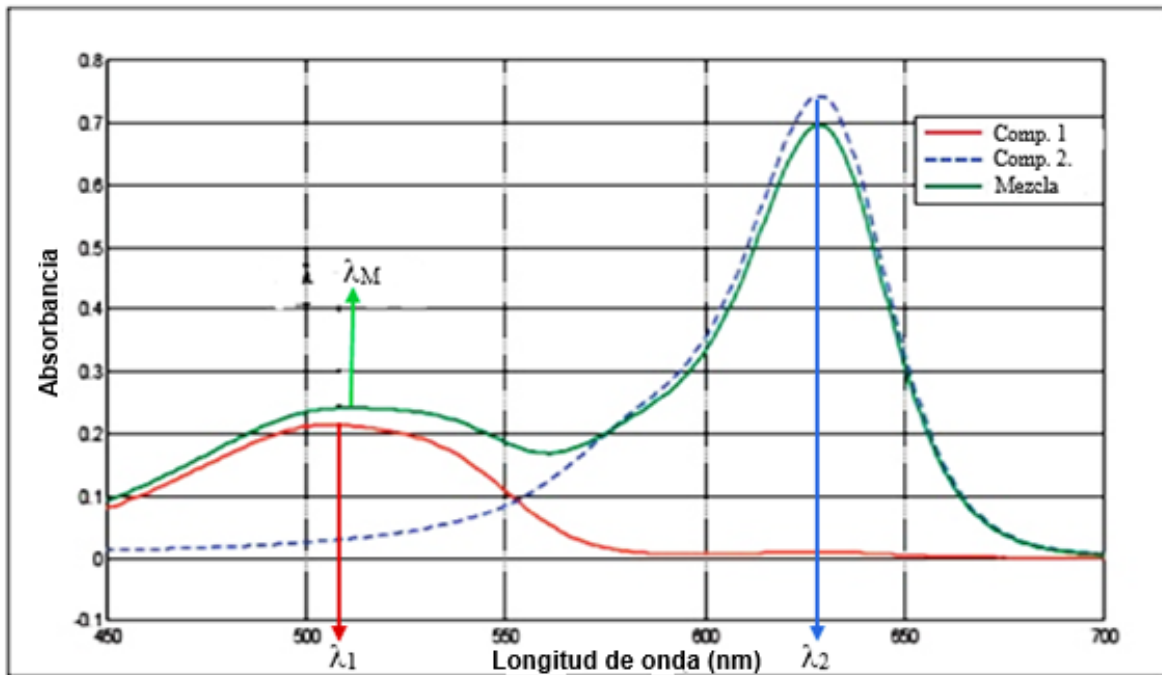


Figura 13. Espectro de absorción de una mezcla binaria. [Hormaza, 2015]

1.5 SUSTANCIAS QUE SE PUEDEN EMPLEAR PARA EL ANÁLISIS DE MEZCLAS BINARIAS

El análisis de mezclas multicomponentes puede aplicarse únicamente para sustancias que cumplan con las siguientes características:

- Que sus espectros posean bandas bien definidas dentro del intervalo de longitud de onda.
- Que sus bandas no sean cercanas.
- Que las sustancias que componen la mezcla no reaccionen entre sí ni con el disolvente.
- Que sus características químicas no varíen con el ambiente y la luz.

Algunos sistemas que cumplen con dichas características son mezclas de colorantes artificiales, vitaminas, la mezcla permanganato de potasio/dicromato de potasio e incluso algunas mezclas de indicadores.

1.6 INDICADORES

Un indicador es una sustancia que como su nombre señala, es utilizada para indicar el punto final de una reacción química en el análisis volumétrico debido a que presenta un cambio de coloración dentro de cierto intervalo de pH. A continuación se presentan algunos ejemplos:

Azul de metileno

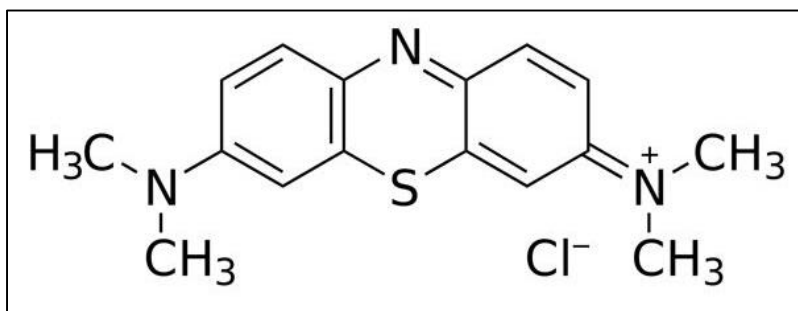


Figura 14. Estructura molecular del azul de metileno. [Distribución y especialidades químicas, S.F.]

Fórmula molecular: $C_{16}H_{18}N_3ClS$

PM: 319.85 g/mol

a) Nombres alternativos: Cloruro de metiltiolina; Cloruro de tetrametiltiolina.

b) Características físicas y químicas:

Aspecto: Sólido – polvo.

Color: Verde a azul oscuro con brillo bronceado.

Olor: Inodoro.

pH: 3

Punto de fusión: 100 °C

Punto de ebullición: Se descompone.

Solubilidad: Muy soluble en agua y cloroformo. Moderadamente soluble en alcohol.

Calmagita

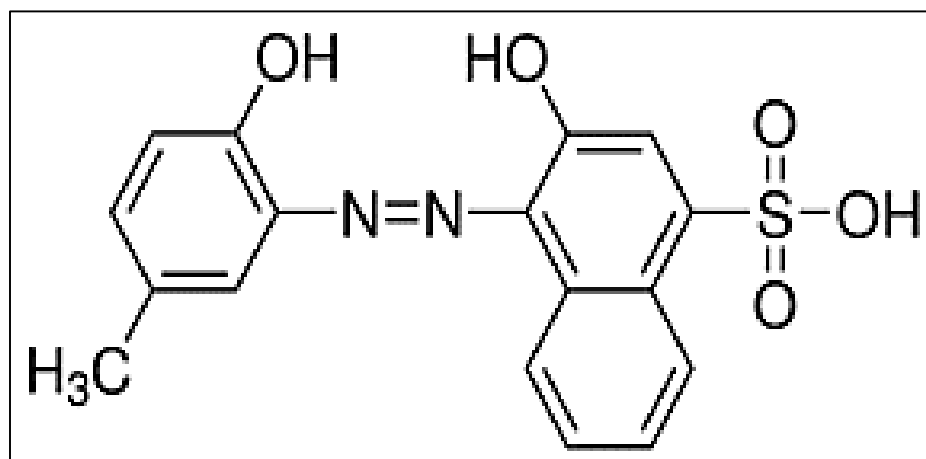


Figura 15. Estructura molecular del indicador calmagita. [Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, S.F.]

Fórmula molecular: $C_{17}H_{14}N_2O_5S$

PM: 358.37 g/mol

- Nombres alternativos: Polvo indicador calmagita; Ácido 3-hidroxi-4 – [(2-hidroxi-5-metilfenil) azo] -1-naftalensulfónico.
- Características físicas y químicas:
 - Aspecto: Sólido – Polvo.
 - Color: Púrpura.
 - Olor: Inodoro.
 - pH: 7
 - Punto de fusión: 0 °C
 - Punto de ebullición: 100 °C
 - Solubilidad: No disponible.

Naranja de metilo

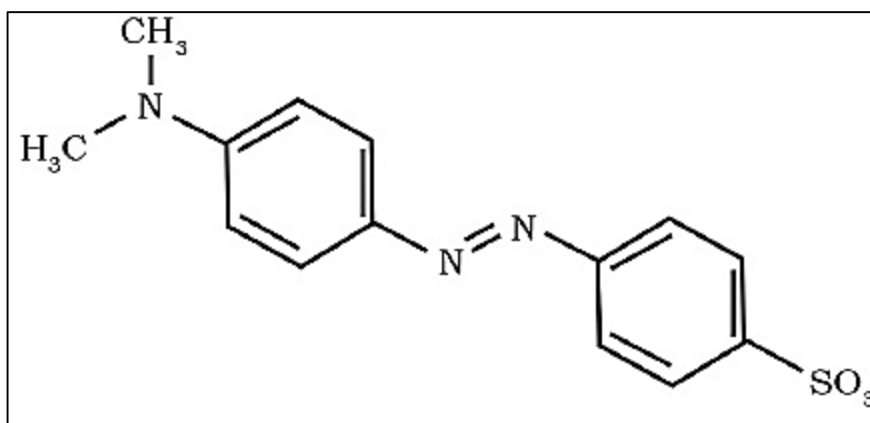


Figura 16. Estructura molecular del indicador naranja de metilo. [Ramírez, 2015]

Fórmula molecular: $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$

PM: 327.3 g/mol

- Nombres alternativos: Sal de sodio del ácido 4- (dimetilamino) -azobenceno -4'-sulfónico.
- Características físicas y químicas:
 - Aspecto: Sólido – Polvo.
 - Color: Naranja – Amarillo.
 - Olor: Inodoro.
 - pH: 7
 - Punto de fusión: $>300\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Punto de ebullición: Se descompone.
 - Solubilidad: Soluble en agua y pirimidina. Insoluble en éter dietílico. Prácticamente insoluble en alcohol.

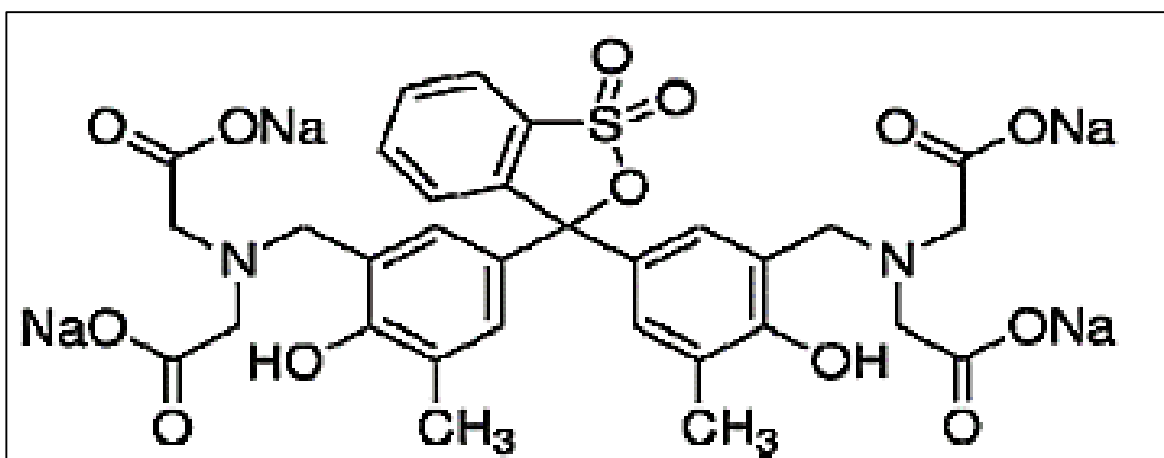
Naranja de xilenol

Figura 17. Estructura molecular del indicador naranja de xilenol. [Guerrero, 2013]

Fórmula molecular: $C_{31}H_{28}N_2Na_4O_{13}S$

PM: 760.6 g/mol

a) Nombres alternativos: Naranja de xileno.

b) Características físicas y químicas:

Aspecto: Sólido – Polvo.

Color: Anaranjado.

Olor: Inodoro.

pH: 8.1

Punto de fusión: 210 °C

Punto de ebullición: No disponible.

Solubilidad: Soluble en agua y alcohol.

Rojo de metilo

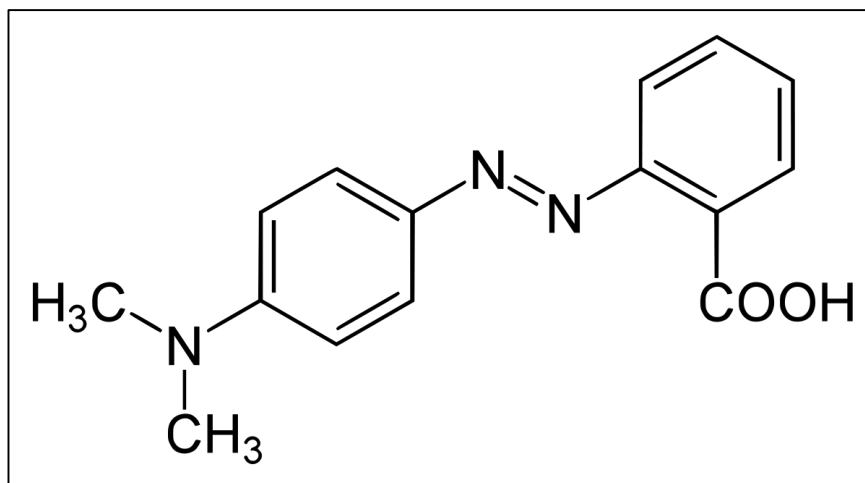


Figura 18. Estructura molecular del indicador rojo de metilo. [Universidad Nacional Heredia, 2016]

Fórmula molecular: C₁₅H₁₅N₃O₂

PM: 269.31 g/mol

a) Nombres alternativos: Ácido-2,4-dimetilaminoazobenzoico.

b) Características físicas y químicas:

Aspecto: Sólido – Polvo.

Color: Rojo.

Olor: Inodoro.

pH: No disponible.

Punto de fusión: 175 °C

Punto de ebullición: 82 °C

Solubilidad: Moderadamente soluble en agua; soluble en alcohol.

Verde de bromocresol

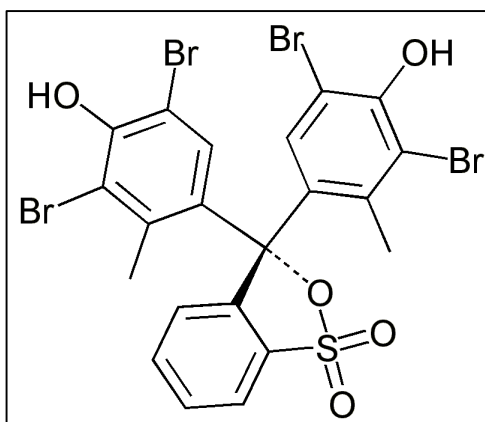


Figura 19. Estructura molecular del indicador verde de bromocresol. [Universidad Nacional Heredia, 2016]

Fórmula molecular: $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$

PM: 698.01 g/mol

a) Nombres alternativos: 3', 3'', 5', 5''-Tetrabromo-cresolsulfontaleína.

b) Características físicas y químicas:

Aspecto: Sólido – Polvo.

Color: Ligeramente amarillo.

Olor: Inodoro.

pH: 4.6

Punto de fusión: 218 °C

Punto de ebullición: No disponible.

Solubilidad: Ligeramente soluble en agua. Soluble en acetato de etilo y alcohol etílico.

Moderadamente soluble en benceno.



II. METODOLOGÍA



2.1 EQUIPOS, SOFTWARE, MATERIAL Y REACTIVOS EMPLEADOS

2.1.1 Equipos

El equipo utilizado fue un Espectrofotómetro UV –VIS Perkin Elmer modelo Lambda 2S (Figura 20).



Figura 20. Espectrofotómetro UV – VIS Lambda 2S. [Artisan Technology Group, S. F.]

Además se utilizó también una balanza analítica OHAUS modelo Discovery DV214C (Figura 21).



Figura 21. Balanza analítica OHAUS modelo Discovery DV214C. [OHAUS - Distribuidor oficial, 2019]

2.1.2 Software

Se utiliza el Software WinLab de Perkin Elmer de México, ya que su función es el manejo de datos en la región UV – VIS y permite analizar muestras coloridas.



Figura 22. Ícono del Software WinLab de Perkin Elmer de México.

2.1.3 Material

- a) Siete matraces volumétricos de 100 ml con tapón.
- b) Doce matraces volumétricos de 10 ml con tapón.
- c) Una espátula.
- d) Dos pipetas graduadas de 5 ml.
- e) Dos pipetas graduadas de 1 ml.
- f) Siete frascos de 100 ml.
- g) Dos celdas de cuarzo de 1 centímetro de espesor.

2.1.4 Reactivos empleados

Los reactivos empleados durante la experimentación fueron los indicadores:

- a) Azul de metileno.
- b) Calmagita.
- c) Naranja de metilo.
- d) Naranja de xilenol.
- e) Rojo de metilo.
- f) Verde de bromocresol.

Además de agua destilada y alcohol etílico.

Para mayor facilidad las soluciones de indicadores se identificarán como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Identificación de los indicadores.

ID	Solución
A	Azul de Metileno
B	Naranja de Xilenol
C	Naranja de Metilo
D	Rojo de Metilo
E	Calmagita
F	Naranja de Xilenol
G	Verde de Bromocresol

Nota: Los disolventes empleados fueron agua destilada para los indicadores A, B, C y D, y alcohol etílico para los indicadores E, F y G.

2.2 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

2.2.1 Preparación de soluciones madre de los indicadores

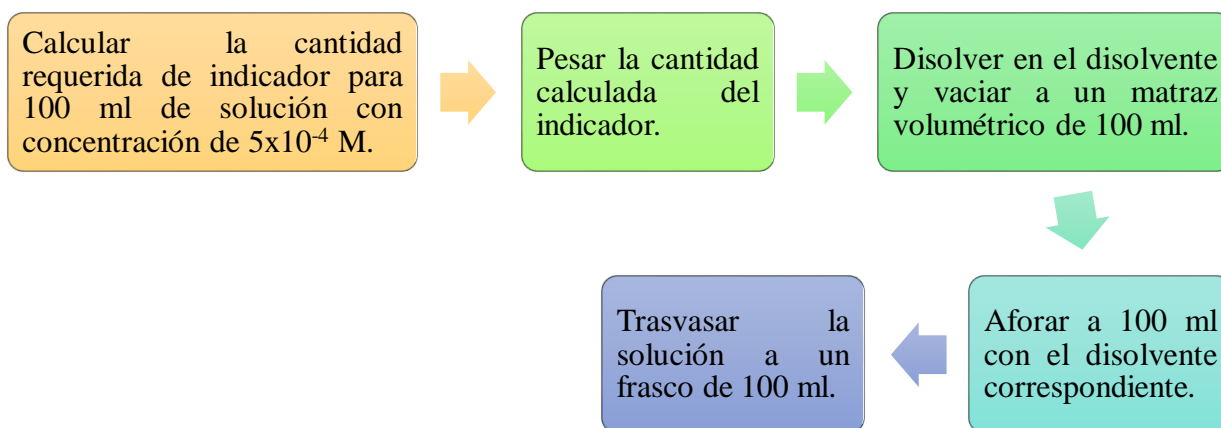


Figura 23. Preparación de soluciones madre.

2.2.2 Preparación de la muestra de cada indicador

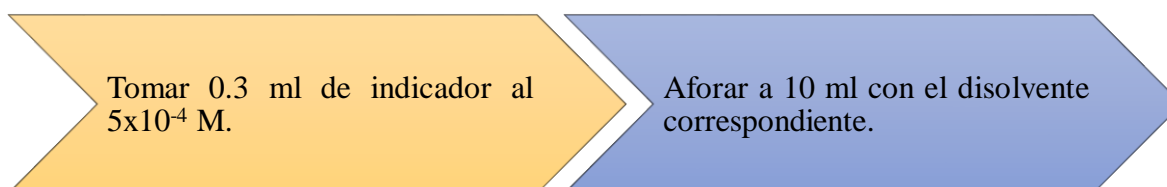


Figura 24. Preparación de muestras de indicadores.

Nota: Los procedimientos mostrados en las Figuras 23 y 24 se realiza para cada uno de los indicadores empleados, las soluciones preparadas pueden observarse en las Figuras 25 y 26.



Figura 25. Indicadores preparados con agua destilada como disolvente.

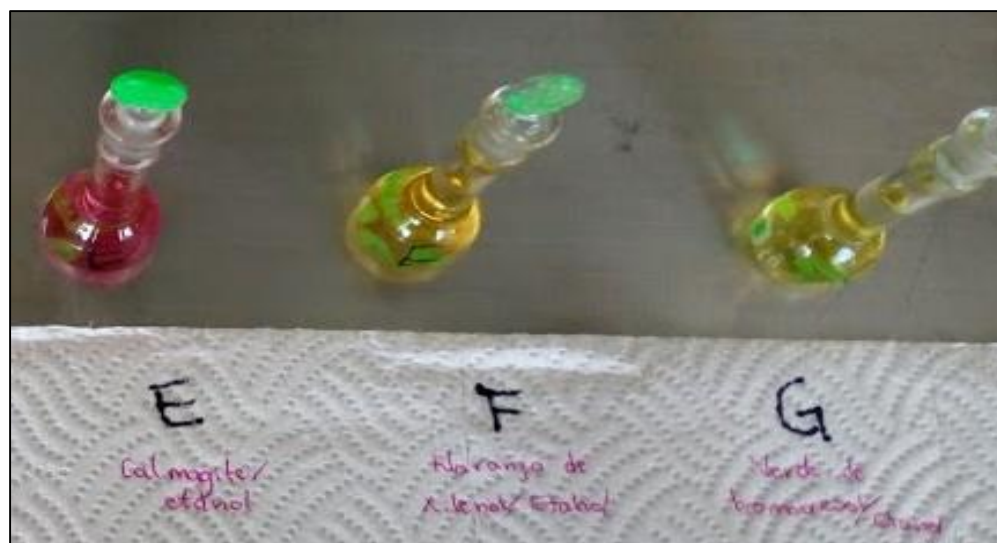


Figura 26. Indicadores preparados con alcohol etílico como disolvente.

2.2.3 Preparación de mezclas de indicadores

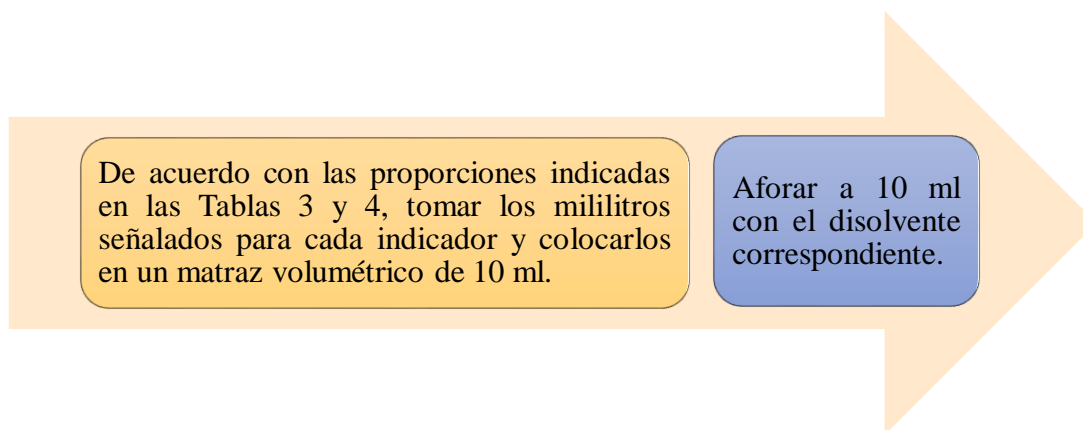


Figura 27. Preparación de mezclas de indicadores.

Tabla 3. Mezclas de indicadores utilizando agua destilada como disolvente.

Blanco: Agua destilada.		
Mezcla	Indicadores	Proporción, ml
M1	A + B	3A + 3B
M2	A + C	3A + 3C
M3	A + D	3A + 3D
M4	B + C	3B + 3C
M5	B + D	3B + 3D
M6	C + D	3C + 3D



Figura 28. Mezclas de indicadores preparados con agua destilada como disolvente.

Tabla 4. Mezclas de indicadores utilizando alcohol etílico como disolvente.

Blanco: Alcohol etílico.		
Mezcla	Indicadores	Proporción, ml
M7	E + F	3E + 3F
M8	E + G	3E + 3G
M9	F + G	3F + 3G

2.3 TOMA DE DATOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS

A continuación se muestra el procedimiento sintetizado para la toma de datos espectrofotométricos. (Figura 29)

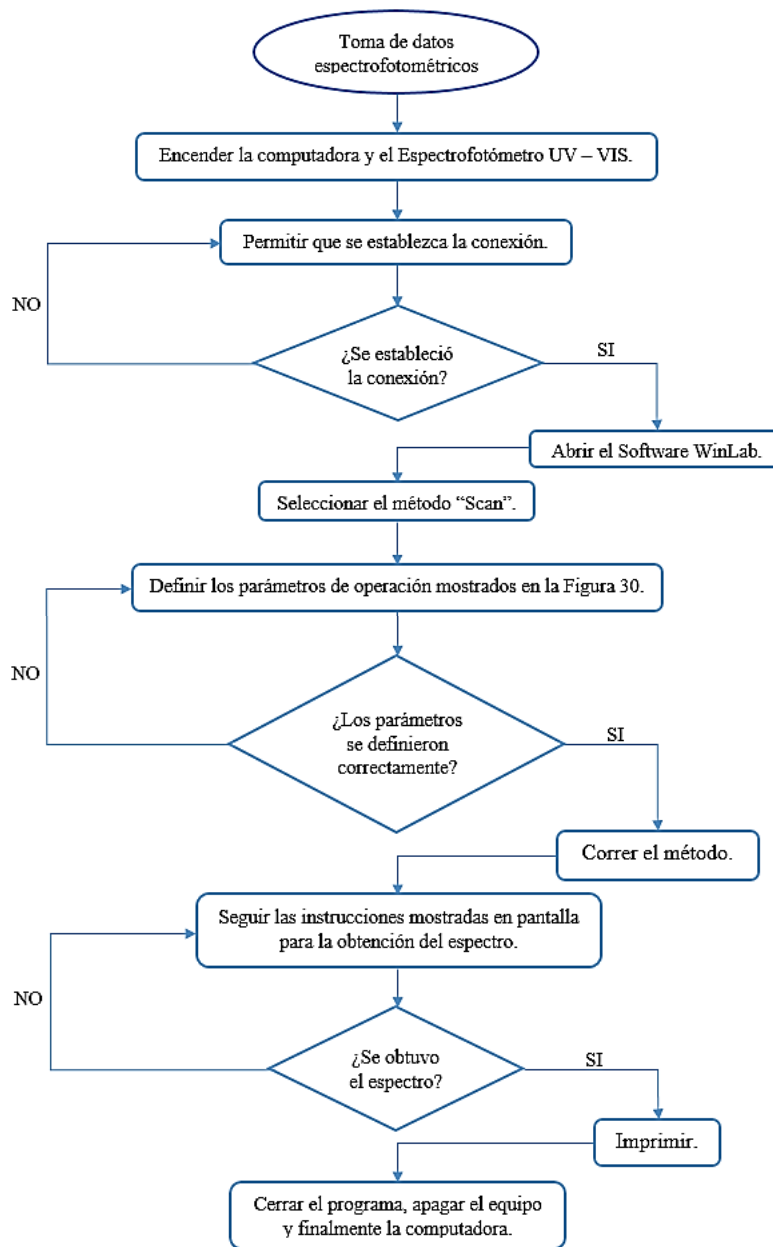


Figura 29. Toma de datos espectrofotométricos.

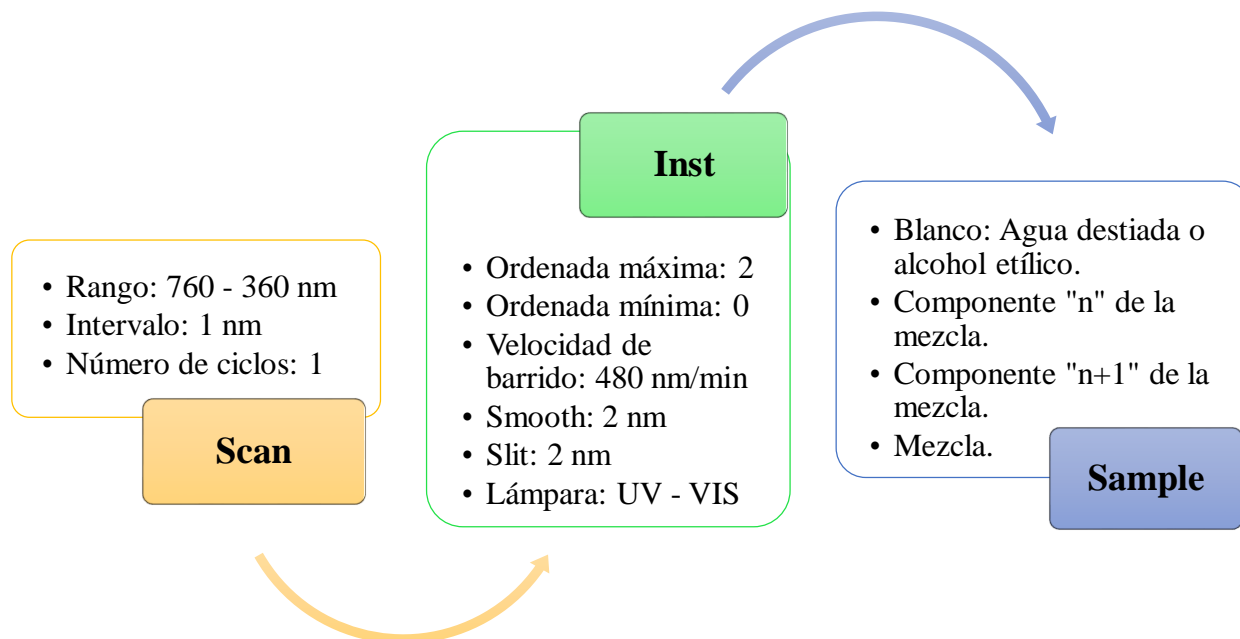


Figura 30. Parámetros de operación.

Procedimiento detallado para la toma de datos espectrofotométricos

Encender la computadora y posteriormente el espectrofotómetro.

Al establecerse la conexión, abrir el Software WinLab.

Dar click en el ícono mostrado en la Figura 31.

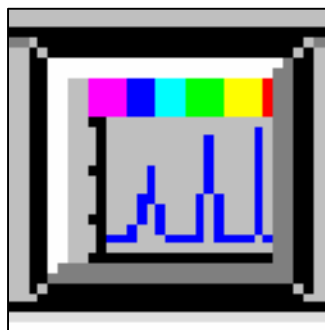


Figura 31. Método Scan. [Perkin Elmer, S.F.]

En la ventana “Scan” (Figura 32) definir los parámetros de operación mostrados en la Tabla 5.

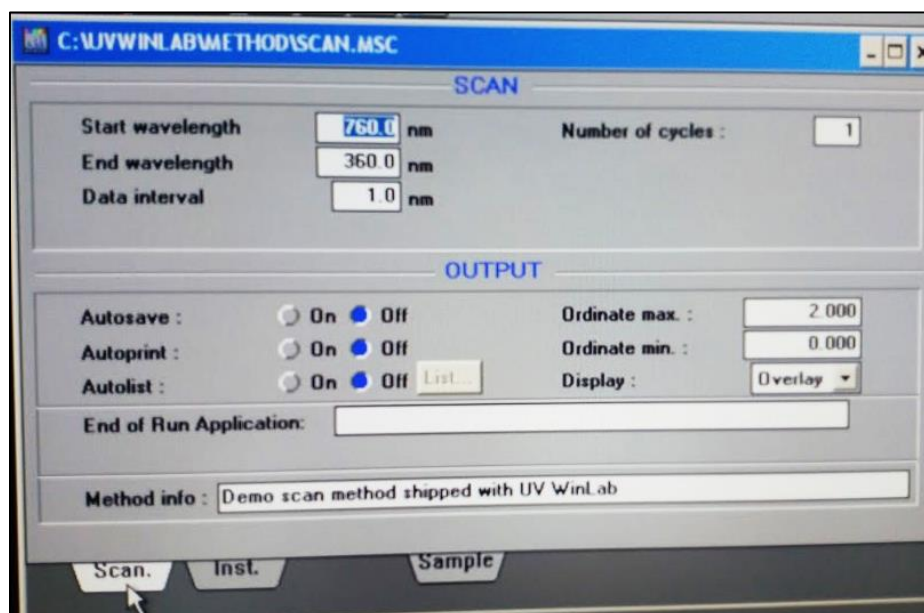


Figura 32. Parámetros para el análisis.

Tabla 5. Parámetros de operación.

Longitud de onda inicial	760 nm
Longitud de onda final	360 nm
Intervalo de datos	1 nm
Número de ciclos	1
Ordenada máxima	2
Ordenada mínima	0
Velocidad de barrido	480 nm/min
Smooth	2 nm
Slit	2 nm
Lámpara	UV – VIS

En la ventana “Inst” (Figura 33) encender la lámpara UV –VIS, seleccionar la velocidad de barrido, smooth y slit indicados en la Tabla 5.

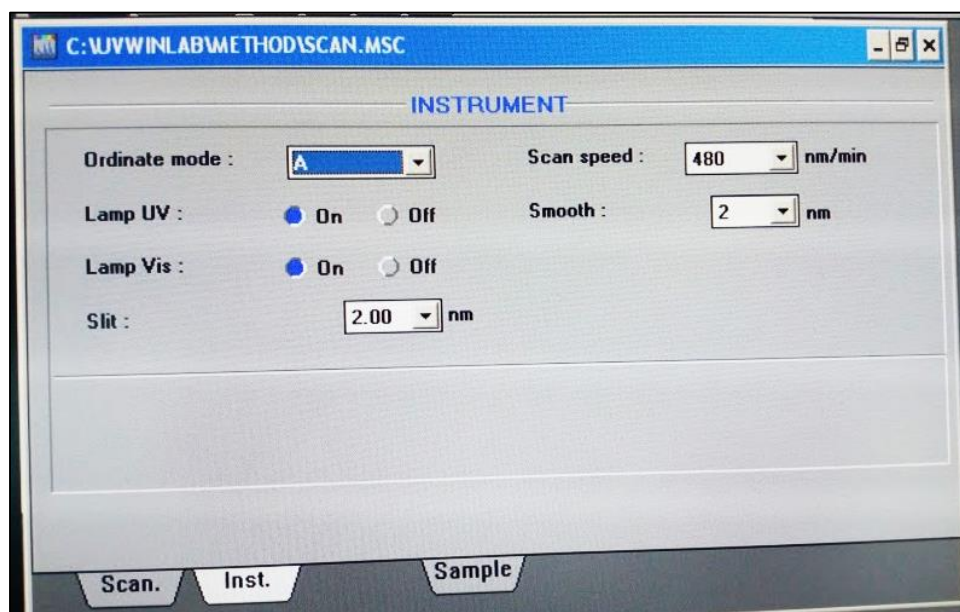


Figura 33. Parámetros del instrumento.

En la ventana “Sample” (Figura 34) seleccionar el número de muestras y asignar un código de identificación para cada una. En el caso de éste experimento las mezclas y sus respectivos componentes se consideran como muestras.

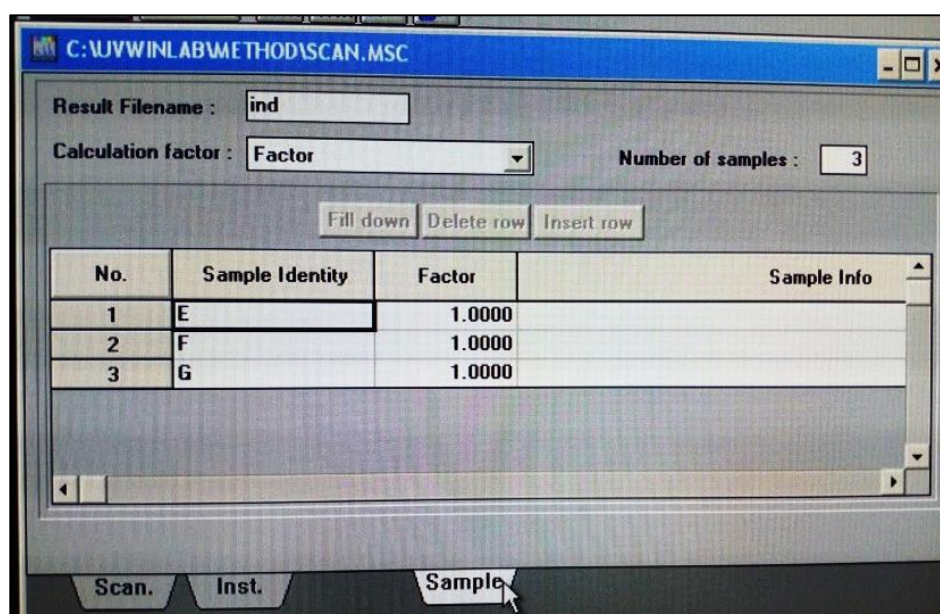


Figura 34. Identificación de muestras.

Dar click en la opción “Start” (Figura 35) para comenzar el análisis.



Figura 35. Inicio del análisis. [Perkin Elmer, S.F.]

En la pantalla se desplegará un cuadro de instrucciones pidiendo correr el blanco. Cuando esto ocurra se debe colocar el disolvente empleado en las dos celdas del espectrofotómetro y dar click en “Aceptar”.

Posteriormente el equipo realizará el barrido del blanco y al finalizar se desplegará un recuadro pidiendo ahora introducir la muestra 1 con su respectiva identificación, para lo cual se sigue el mismo procedimiento que en el blanco a diferencia de que la muestra se coloca en la celda delantera del espectrofotómetro y en la trasera permanece el blanco hasta el final del análisis. Lo mismo ocurrirá con el resto de las muestras.

Al finalizar el análisis, cerrar el programa, apagar el equipo y finalmente la computadora.

Nota: El procedimiento anterior se realiza para cada una de las mezclas analizadas. Además la celda debe enjuagarse al menos una vez con la siguiente muestra a analizar antes de introducirla al Espectrofotómetro UV – VIS.

2.3.1 Obtención de los espectros

Los espectros de las mezclas analizadas se despliegan en una pestaña como la mostrada en la Figura 36.

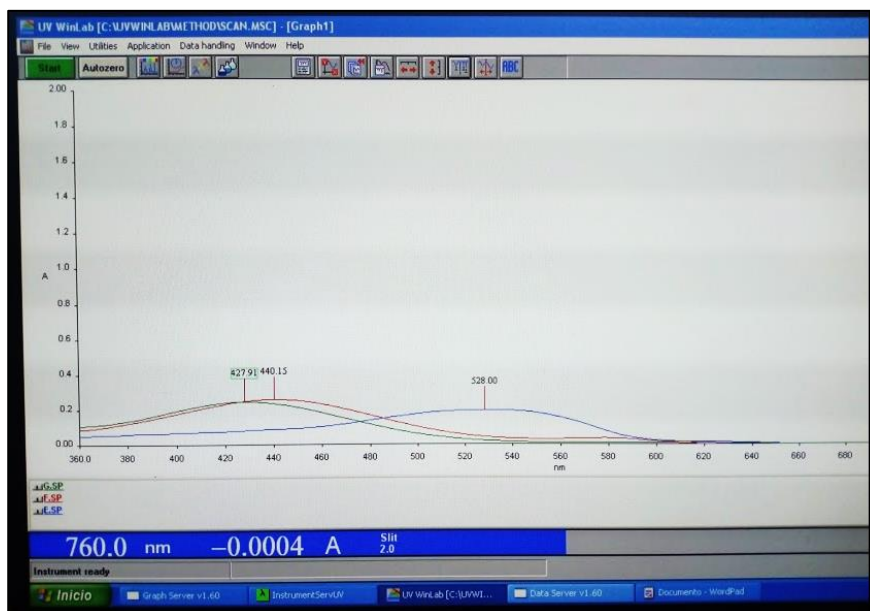


Figura 36. Espectro de absorción.

2.3.2 Selección de la mezcla binaria

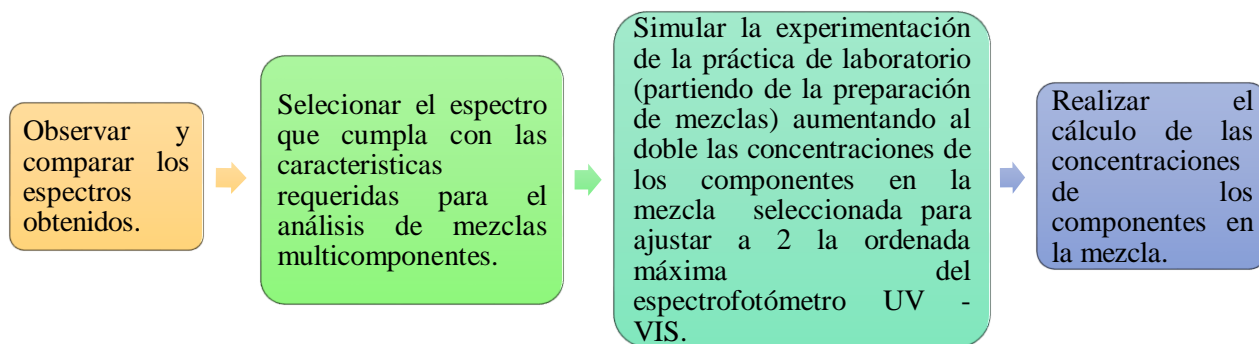


Figura 37. Selección de la mezcla.



III. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



Los indicadores analizados fueron rojo de metilo, azul de metileno, naranja de xilenol, naranja de metilo, calmagita, verde de bromocresol y sus posibles mezclas, los disolventes utilizados fueron agua destilada o alcohol etílico dependiendo la solubilidad de cada indicador. A continuación se presentan los espectros de las mezclas analizadas así como su interpretación.

Primer análisis

En la primera prueba, realizada el día 24 de octubre del 2018, los espectros de absorción de las mezclas se tomaron con la finalidad de observar su comportamiento y descartar aquellas mezclas que presenten traslapes en sus espectros. Es importante mencionar que debido a que se utilizaron concentraciones muy pequeñas de los indicadores, la ordenada máxima utilizada para estos casos fue de 1.10.

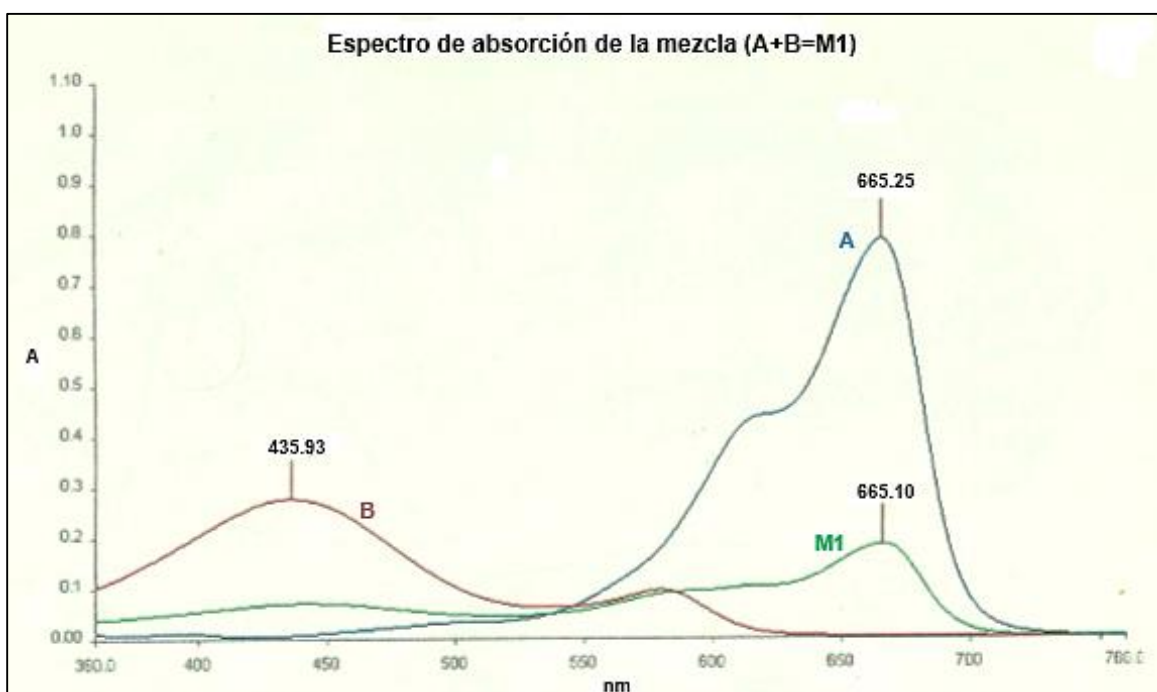


Figura 38. Espectro de absorción de la mezcla M1: Azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada.

En la Figura 38 se muestra en color verde el espectro de absorción de la mezcla 1, en color azul el espectro del azul de metileno y en color rojo el espectro del naranja de xilenol utilizando agua destilada como disolvente. Como se observa en el espectrograma, la longitud de onda máxima del azul de metileno y el naranja de xilenol son 665.25 nm y 435.93 nm respectivamente.

Los espectros cumplen con la característica de que no se traslapan, por lo que esta mezcla se considera una buena opción para implementarse en la práctica.



Figura 39. Espectro de absorción de la mezcla M2: Azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada.

En la Figura 39 se observa en color verde el espectro de absorción de la mezcla 2, en color azul el espectro del azul de metileno y en color rojo el espectro del naranja de metilo utilizando agua destilada como disolvente. Se muestra que los espectros de los componentes de la mezcla no se traslapan, por lo que es también considerada una buena opción para implementarse. La longitud de onda máxima del azul de metileno es 665.46 nm mientras que la longitud de onda máxima del naranja de metilo es 465.42 nm.

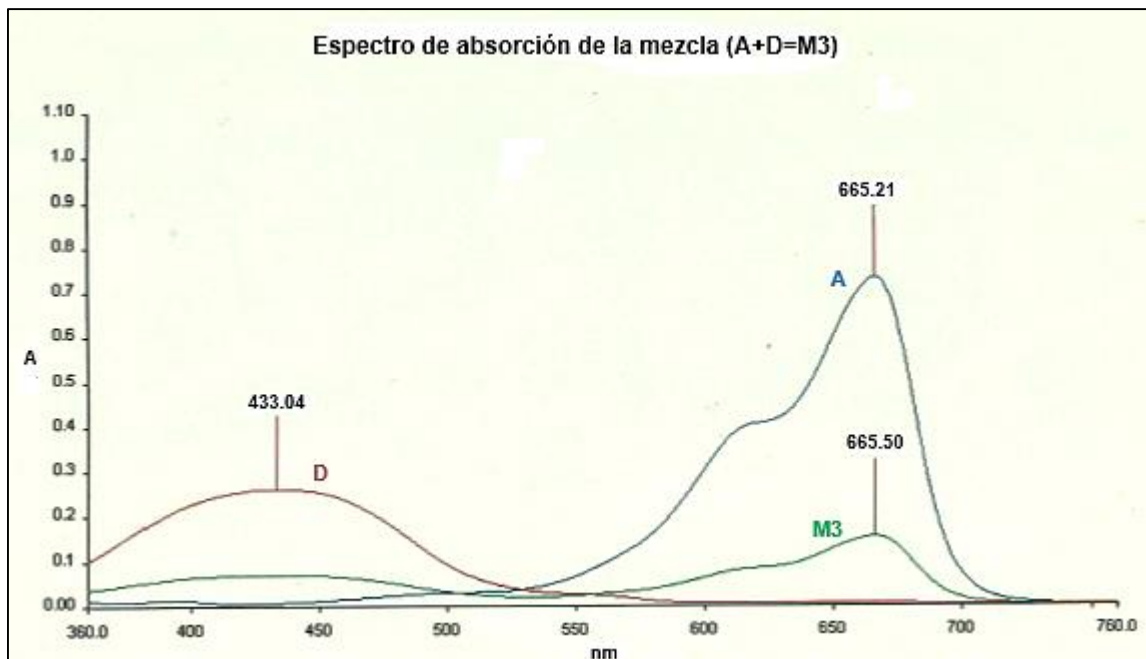


Figura 40. Espectro de absorción de la mezcla M3: Azul de metileno (A) y rojo de metilo (D) en agua destilada.

En la Figura 40 se muestra en color verde el espectro de absorción de la mezcla 3, en color azul el espectro del azul de metileno y en color rojo el espectro del rojo de metilo utilizando agua destilada como disolvente. Se puede notar que los espectros de los componentes no se traslapan, que la longitud de onda máxima del azul de metileno es 665.21 nm y la longitud de onda máxima del rojo de metilo es 433.04 nm.



Figura 41. Espectro de absorción de la mezcla M4: Naranja de xilenol (B) y naranja de metilo (C) en agua destilada.

En la Figura 41 se presenta en color verde el espectro de absorción de la mezcla 4, en color azul el espectro del naranja de xilenol y en color rojo el espectro del naranja de metilo utilizando agua destilada como disolvente. Aunque en el espectrograma es posible observar que la longitud de onda máxima del naranja de xilenol es 435.97 nm y la longitud de onda máxima del naranja de metilo es 465.04 nm, los espectros de la mezcla y los de sus componentes presentan un traslape, por lo que la implementación de esta mezcla para fines didácticos fue descartada.

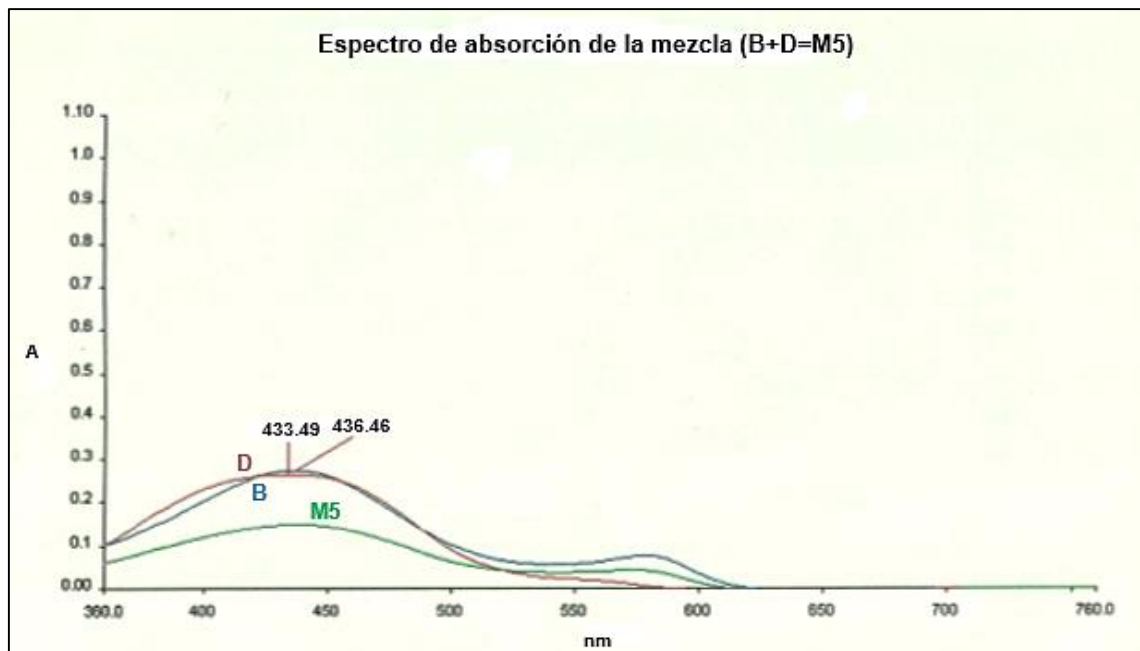


Figura 42. Espectro de absorción de la mezcla M5: Naranja de xilenol (B) y rojo de metilo (D) en agua destilada.

La Figura 42 muestra en color verde el espectro de absorción de la mezcla 5, en color azul el espectro del naranja de xilenol y en color rojo el espectro del rojo de metilo utilizando agua destilada como disolvente. Aunque en el espectrograma se observa que la longitud de onda máxima del naranja de xilenol es 436.46 nm y la longitud de onda máxima del rojo de metilo es 433.49 nm, los espectros de la mezcla y los de sus componentes presentan un traslape, por lo que la implementación de esta mezcla en la práctica de laboratorio fue descartada.

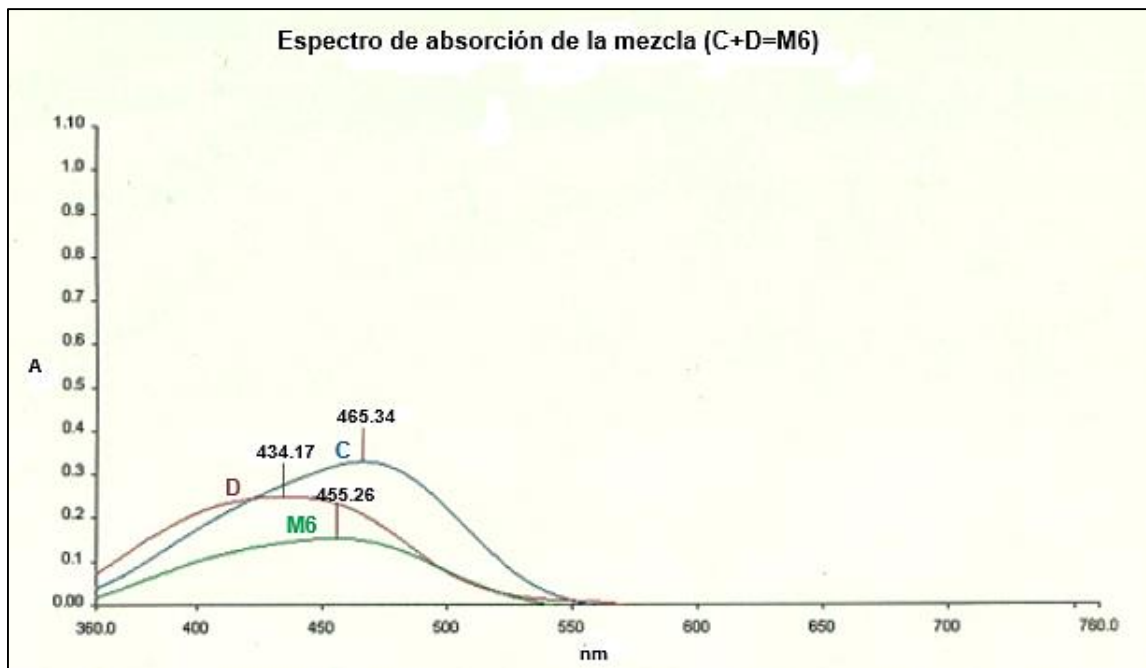


Figura 43. Espectro de absorción de la mezcla M6: Naranja de metilo (C) y rojo de metilo (D) en agua destilada.

En la Figura 43 se presenta en color verde el espectro de absorción de la mezcla 6, en color azul el espectro del naranja de metilo y en color rojo el espectro del rojo de metilo utilizando agua destilada como disolvente. Aunque en el espectrograma se distingue que la longitud de onda máxima del naranja de metilo es 465.34 nm y la longitud de onda máxima del rojo de metilo es 434.17 nm, los espectros de la mezcla y los de sus componentes se traslapan, por lo que se descarta la implementación de esta mezcla.

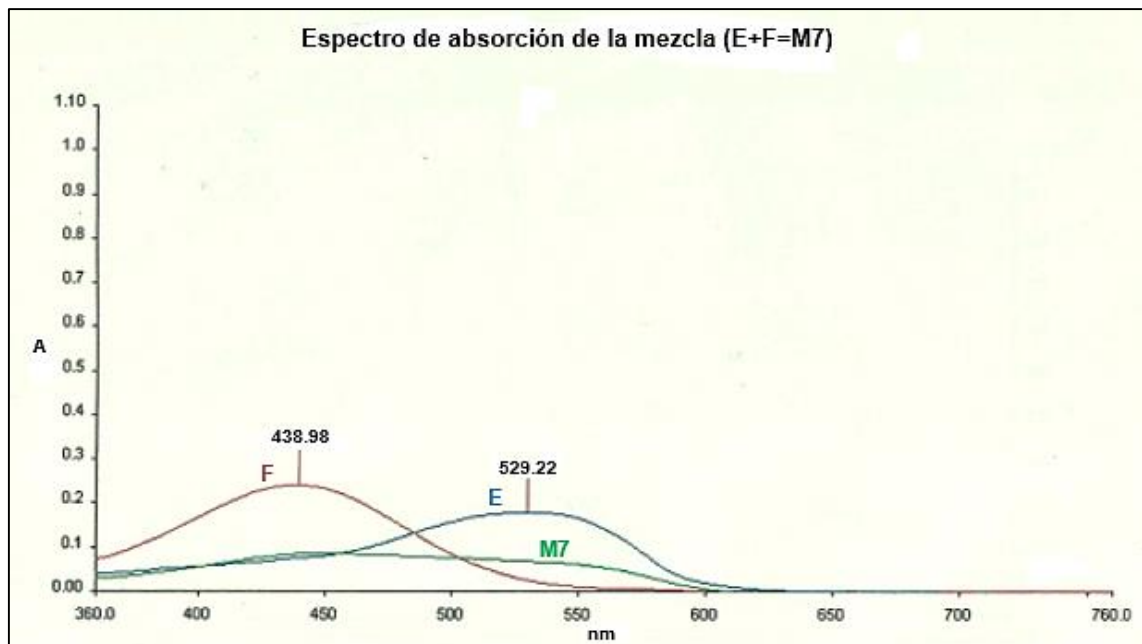


Figura 44. Espectro de absorción de la mezcla M7: Calmagita (E) y naranja de xilenol (F) en alcohol etílico.

En la Figura 44 se presenta en color verde el espectro de absorción de la mezcla 7, en color azul el espectro del indicador calmagita y en color rojo el espectro del naranja de xilenol utilizando alcohol etílico como disolvente. En el espectrograma se señala que las longitudes de onda máximas del indicador calmagita y del naranja de xilenol son 529.22 y 438.98 nm respectivamente.

Se puede observar que aunque sus espectros no se traslapan se encuentran muy cercanos entre sí, por esta razón la implementación de esta mezcla también fue descartada.

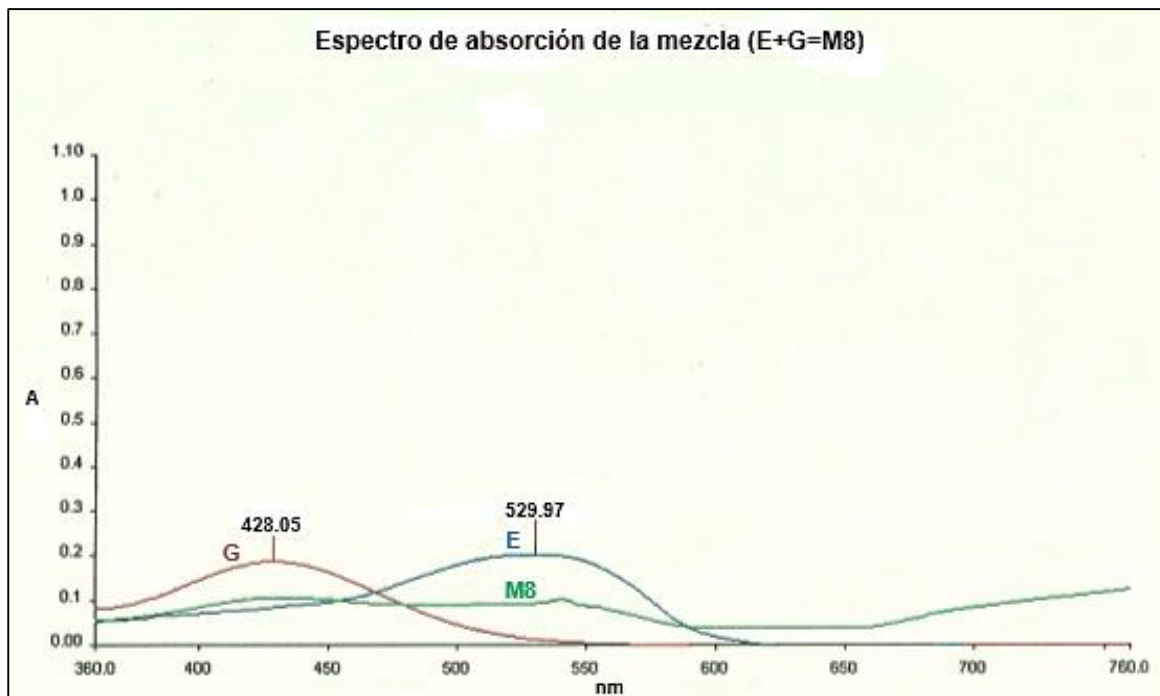


Figura 45. Espectro de absorción de la mezcla M8: Calmagita (E) y verde de bromocresol (G) en alcohol etílico.

En la Figura 45 se observa en color verde el espectro de absorción de la mezcla 8, en color azul el espectro del indicador calmagita y en color rojo el espectro del verde de bromocresol utilizando alcohol etílico como disolvente. En el espectrograma se indica que la longitud de onda máxima del indicador calmagita es 529.97 nm y la del verde de bromocresol es 428.05 nm.

Ésta mezcla también fue descartada debido a que los espectros de sus componentes se encuentran muy cercanos entre sí.

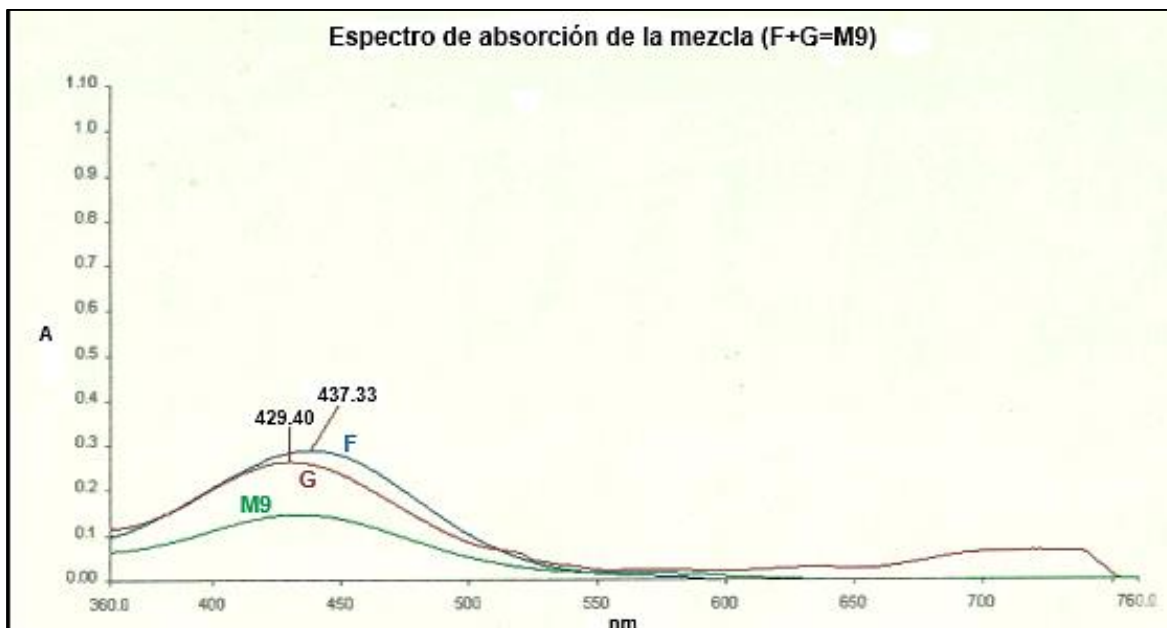


Figura 46. Espectro de absorción de la mezcla M9: naranja de xilenol (F) y verde de bromocresol (G) en alcohol etílico.

En la Figura 46 se presenta en color verde el espectro de absorción de la mezcla 9, en color azul el espectro del indicador naranja de xilenol y en color rojo el espectro del verde de bromocresol utilizando alcohol etílico como disolvente. El espectrograma indica que la longitud de onda máxima del indicador naranja de xilenol es 437.33 nm, mientras que la longitud de onda máxima del verde de bromocresol es 429.40 nm.

En el espectrograma se observa que los espectros tanto de la mezcla como los de sus componentes se traslapan, es por esta razón que la mezcla quedó también descartada para su implementación en el laboratorio.

Segundo análisis

Debido a las características de sus espectros, del primer análisis se seleccionaron únicamente la mezcla 1, conformada por azul de metileno y naranja de xilenol, y la mezcla 2, conformada por azul de metileno y naranja de metilo ambas utilizando agua destilada como disolvente, ya que sus espectros cumplen con las características de que poseen bandas bien definidas y

no cercanas entre sí. Aunque el espectrograma de la mezcla 3 cuyos componentes son azul de metileno y rojo de metilo cumplía también con las características requeridas, no fue seleccionada debido a que las bandas de los espectros de absorción del naranja de xilenol y naranja de metilo se encuentran más definidas que la del rojo de metilo.

Sabiendo esto la finalidad del segundo análisis fue averiguar si las mezclas seleccionadas mantenían las mismas características en ciertos periodos de tiempo o bien si eran afectadas por las condiciones ambientales.

Lectura 1: 30 de octubre del 2018.

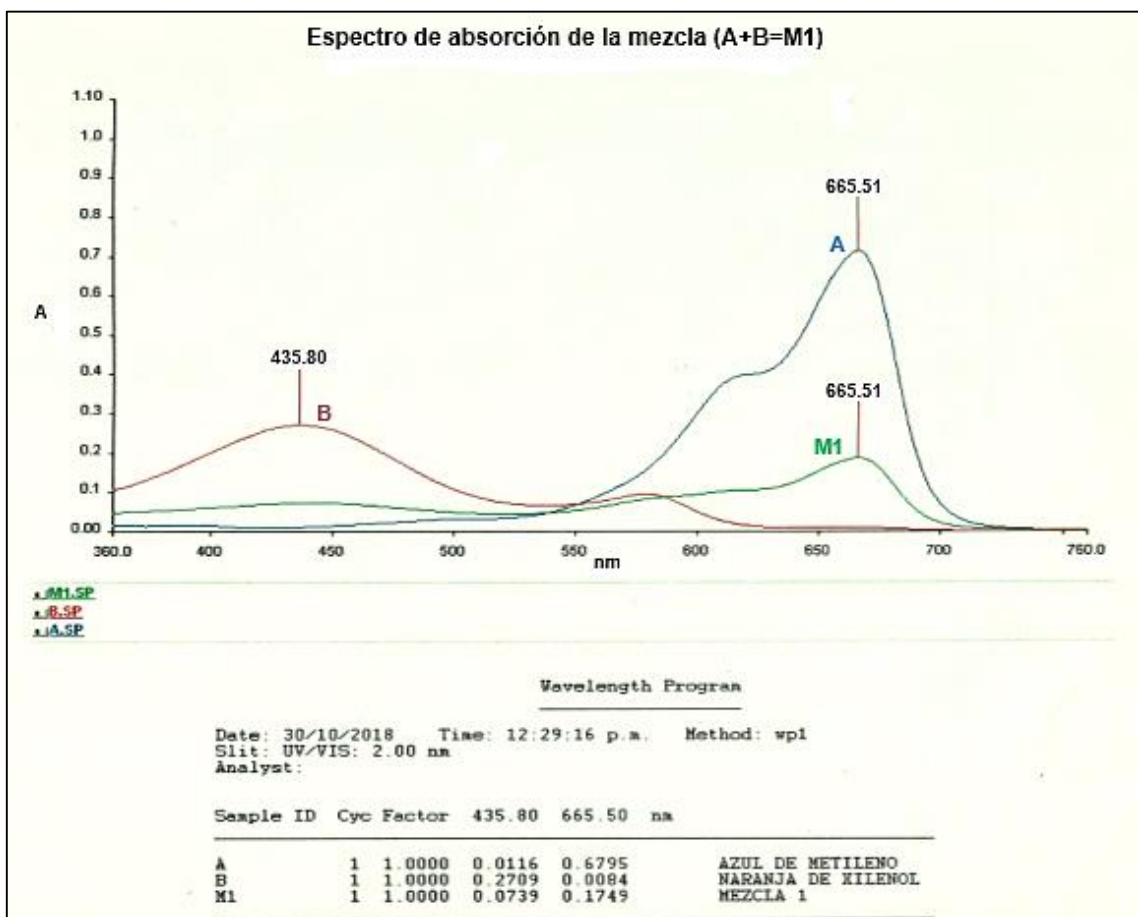


Figura 47. Espectro de absorción de la mezcla M1: azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada, obtenido el día 30 de octubre del año 2018.

En la Figura 47 se muestra el espectro de absorción de la mezcla 1 tomado el día 30 de octubre del 2018. Se observa que las longitudes de onda máximas del azul de metileno (en color azul) y del naranja de xilenol (en color rojo) son 665.51 y 435.8 nm respectivamente.

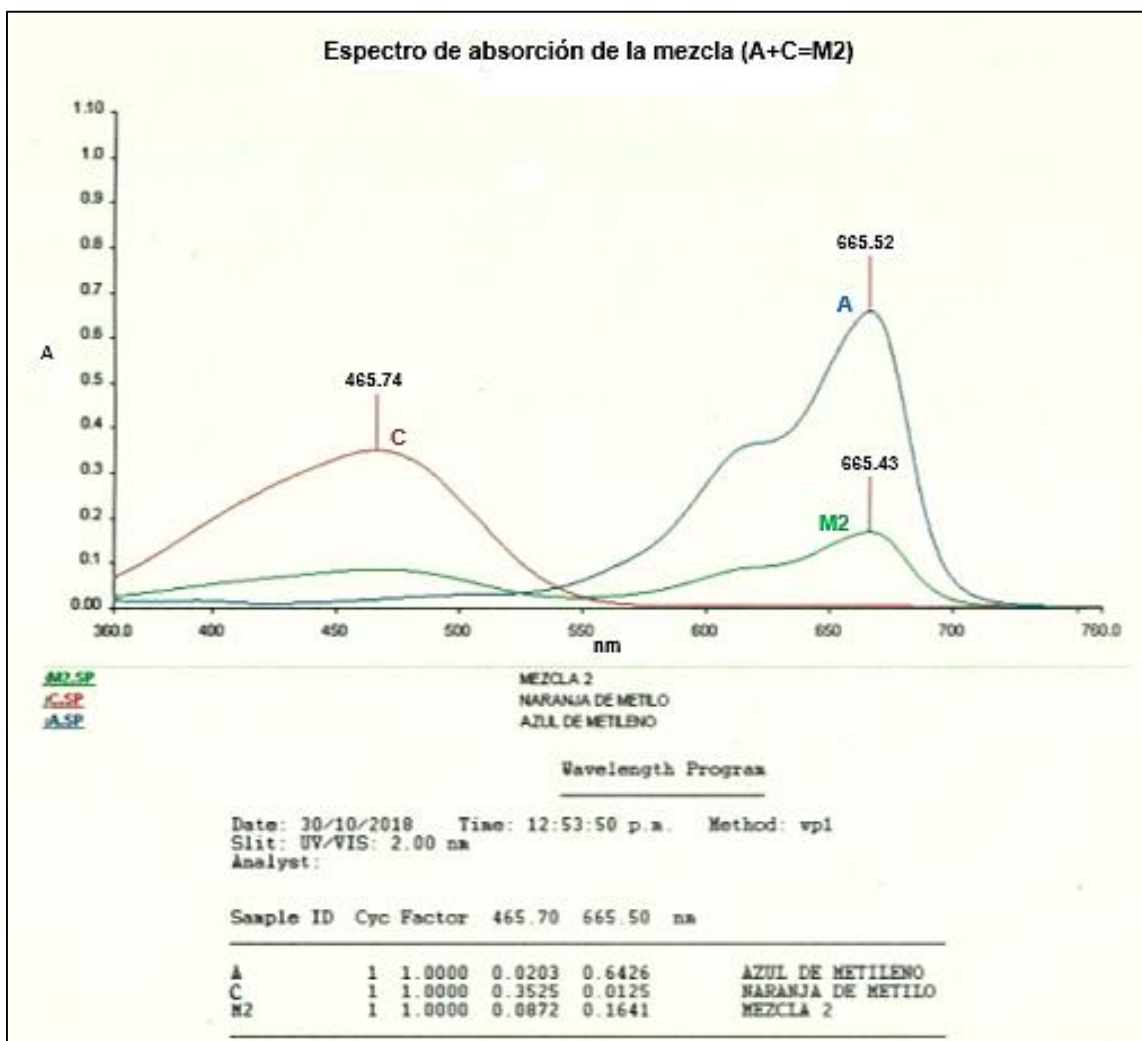


Figura 48. Espectro de absorción de la mezcla M2: azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada, obtenido el día 30 de octubre del año 2018.

En la Figura 48 se muestra el espectro de absorción de la mezcla 2 tomado el día 30 de octubre del 2018. Se observa que las longitudes de onda máximas del azul de metileno (en color azul) y del naranja de metilo (en color rojo) son 665.52 y 465.74 nm respectivamente.

Lectura 2: 05 de noviembre del 2018.

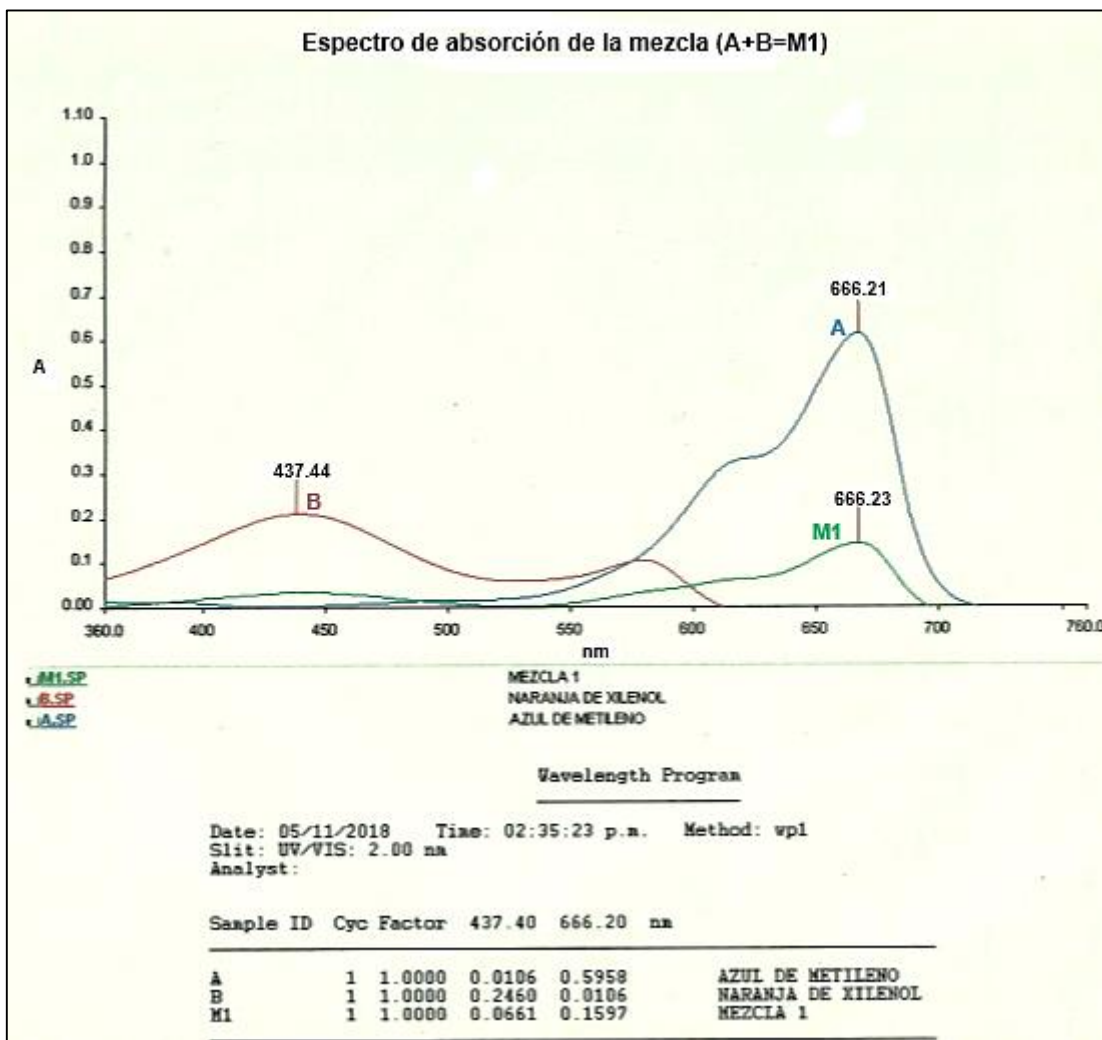


Figura 49. Espectro de absorción de la mezcla M1: azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada, obtenido el día 05 de noviembre del año 2018.

En la Figura 49 se presenta el espectro de absorción de la mezcla 1 tomado el día 05 de noviembre del 2018. Se observa que las longitudes de onda máximas del azul de metileno (en color azul) y del naranja de xilenol (en color rojo) son 666.21 y 437.44 nm respectivamente.

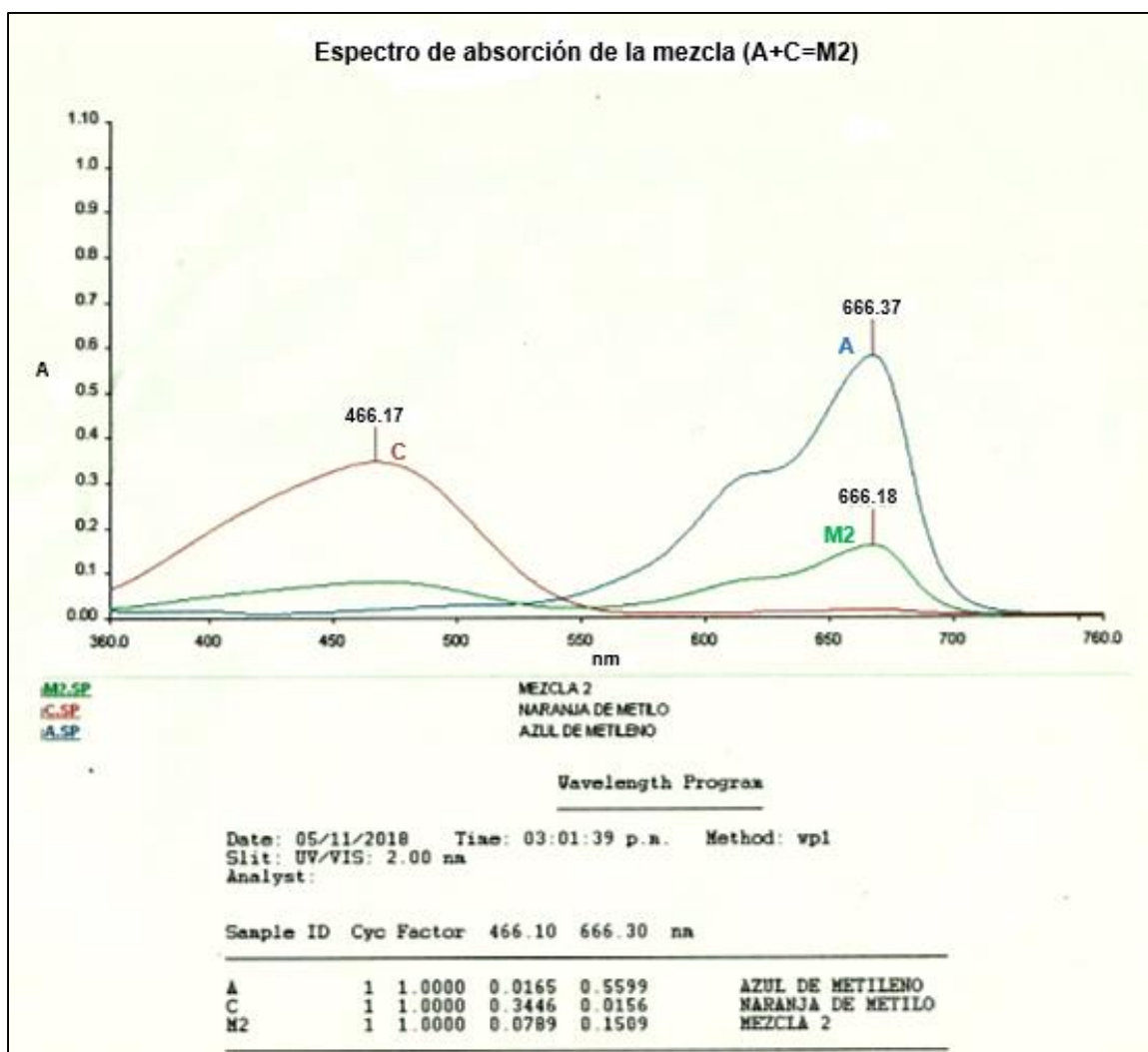


Figura 50. Espectro de absorción de la mezcla M2: azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada, obtenido el día 05 de noviembre del año 2018.

La Figura 50 presenta el espectro de absorción de la mezcla 2 tomado el día 05 de noviembre del 2018. Se observa que la longitud de onda máxima del azul de metileno (en color azul) es 666.37 nm y la del naranja de metilo (en color rojo) es 466.17 nm.

Lectura 3: 07 de noviembre del 2018.

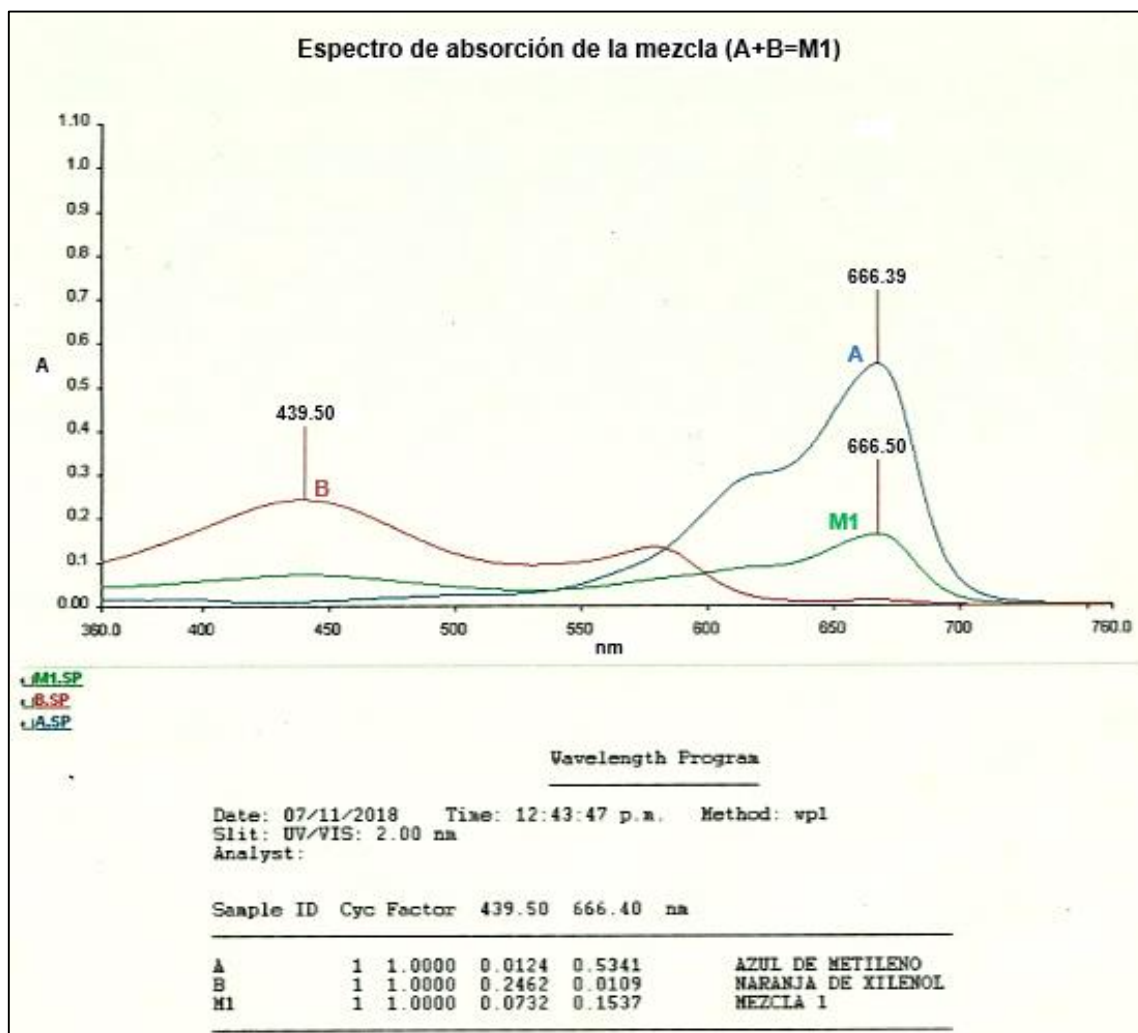


Figura 51. Espectro de absorción de la mezcla M1: azul de metileno (A) y naranja de xilenol (B) en agua destilada, obtenido el día 07 de noviembre del año 2018.

La Figura 51 presenta el espectro de absorción de la mezcla 1 tomado el día 05 de noviembre del 2018. Se observa que la longitud de onda máxima del azul de metileno (en color azul) es 666.39 nm y la del naranja de xilenol (en color rojo) es 439.5 nm.

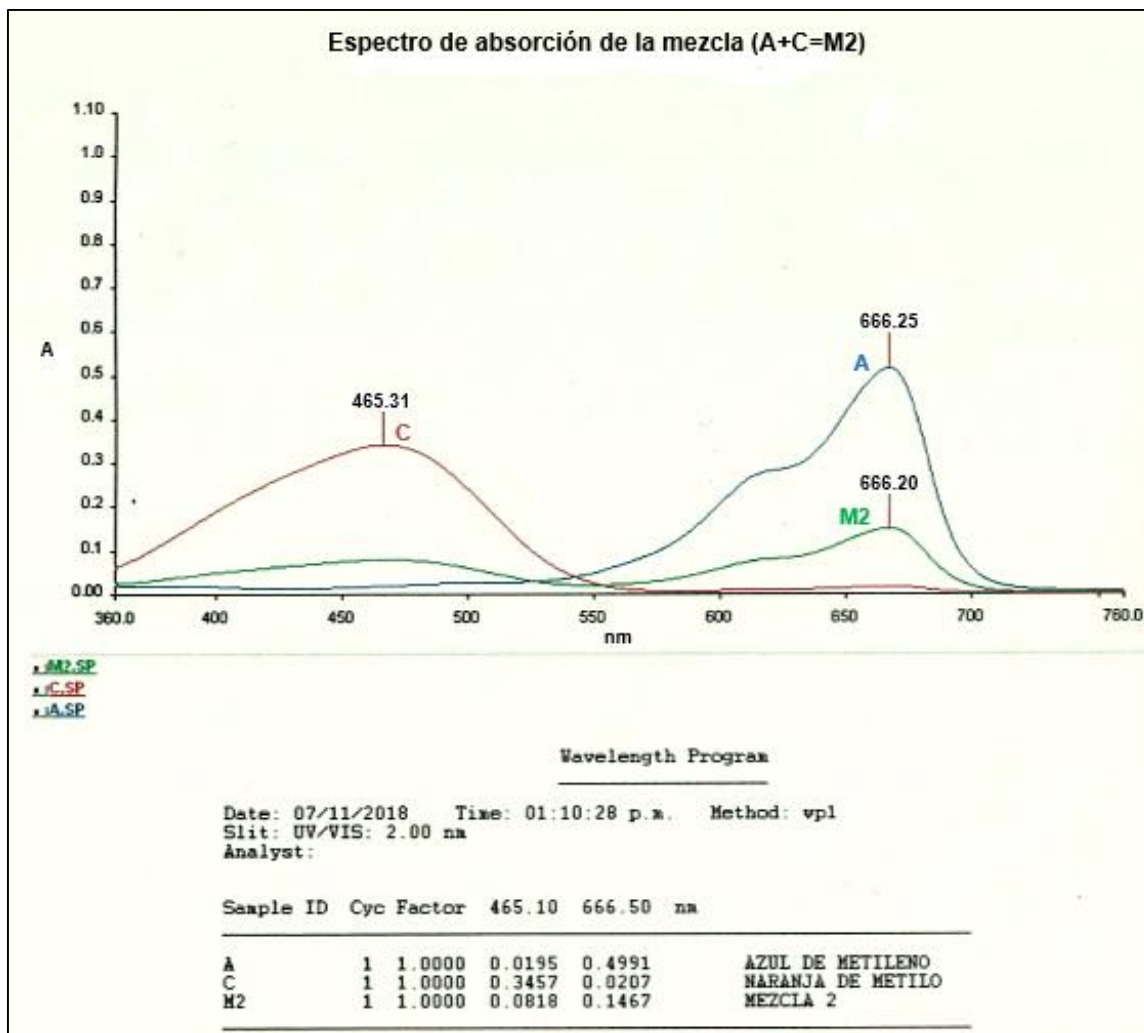


Figura 52. Espectro de absorción de la mezcla M2: azul de metileno (A) y naranja de metilo (C) en agua destilada, obtenido el día 07 de noviembre del año 2018.

La Figura 52 muestra el espectro de absorción de la mezcla 2 tomado el día 07 de noviembre del 2018. Se observa que la longitud de onda máxima del azul de metileno (en color azul) es 666.25 nm y la del naranja de metilo (en color rojo) es 465.31 nm.

A continuación se presentan los cuadros comparativos (Tabla 6 y 7) con las longitudes de onda máximas de cada componente de las mezclas 1 y 2.

Tabla 6. Cuadro comparativo de las longitudes de onda máximas de los componentes de la mezcla 1.

Mezcla 1: Azul de metilo y naranja de xilenol.				
Componente	Longitud de onda máxima (nm)			
	24/Octubre/2018	30/Octubre/2018	05/Noviembre/2018	07/Noviembre2018
Azul de metileno	665.25	665.51	666.21	666.39
Naranja de xilenol	435.93	435.80	437.44	439.50

Tabla 7. Cuadro comparativo de las longitudes de onda máximas de los componentes de la mezcla 2.

Mezcla 2: Azul de metilo y naranja de metilo.				
Componente	Longitud de onda máxima (nm)			
	24/Octubre/2018	30/Octubre/2018	05/Noviembre/2018	07/Noviembre2018
Azul de metileno	665.46	665.52	666.37	666.25
Naranja de metilo	465.42	465.74	466.17	465.31

En base a los cuadros comparativos mostrados, la mezcla que posee una mayor estabilidad es la mezcla 2, ya que mientras el naranja de xilenol perteneciente a la mezcla 1 presenta diferencias de hasta 2 nm entre las lecturas, las diferencias entre lecturas del naranja de metilo perteneciente a la mezcla 2 son menores que 1 nm.

Simulación de la práctica de laboratorio

Con la finalidad de verificar que el tiempo disponible para la práctica sería el suficiente para la experimentación, se llevó a cabo la simulación de la práctica obteniendo los siguientes resultados:

Cálculos

a) Determinación gráfica de las absorbancias y $\lambda_{m\acute{a}x}$:

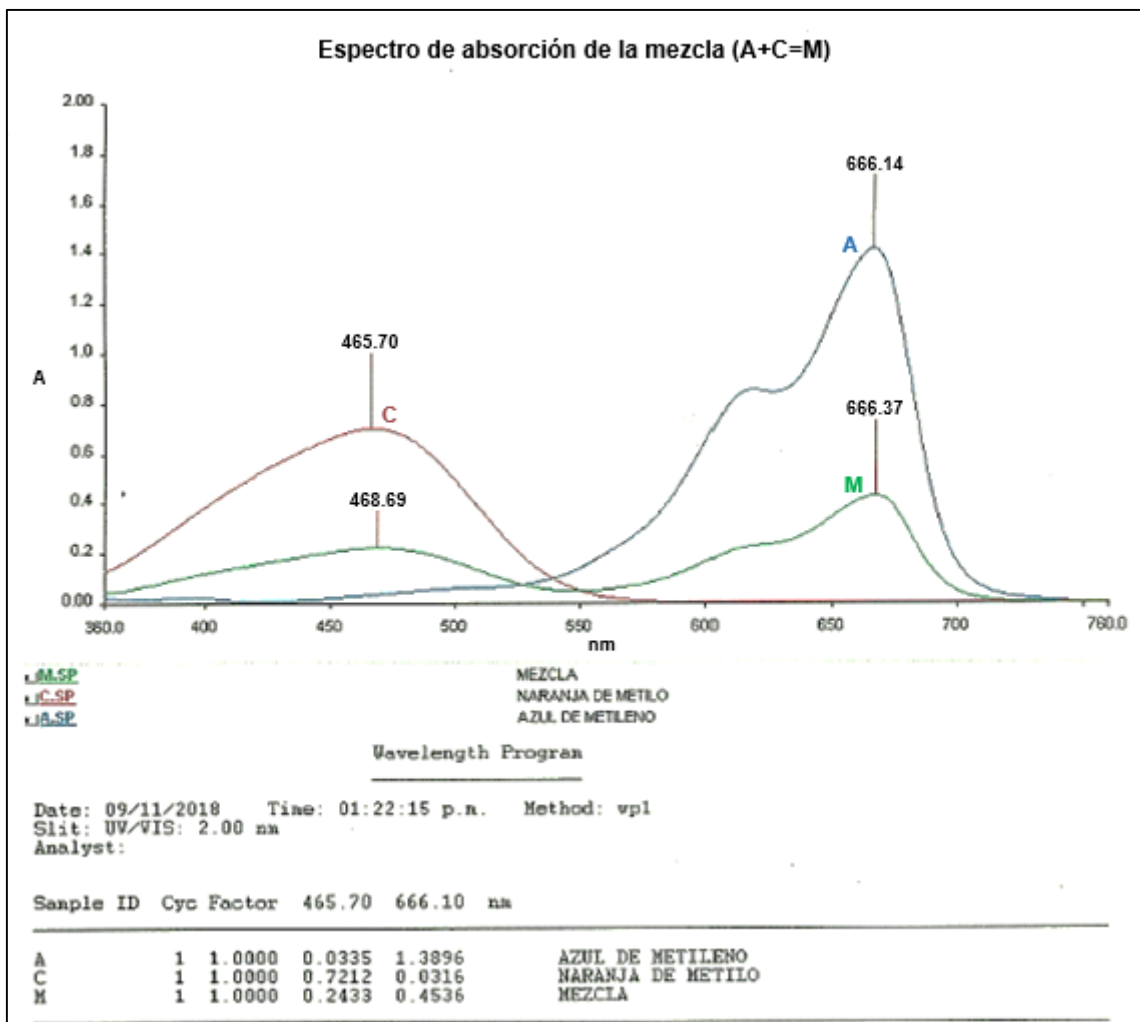


Figura 53. Determinación gráfica de las absorbancias y $\lambda_{m\acute{a}x}$.

Tabla 8. Datos experimentales.

Indicador	$\lambda_{\text{máx}}$, (nm)	C, (mol/L)
Azul de metileno (A)	666.14	3×10^{-5}
Naranja de metilo (B)	465.7	3×10^{-5}

- b) Cálculo de las absorptividades molares de cada componente aplicando la ley de Lambert – Beer.

Fórmula:

$$A_i^{\lambda n} = \varepsilon_i^{\lambda n} b C_i$$

$$\varepsilon_i^{\lambda n} = \frac{A_i^{\lambda n}}{b C_i}$$

Sustituyendo valores para la absorptividad molar de los indicadores a la longitud de onda del azul de metileno (A), $\lambda_A = 666.14 \text{ nm}$:

$$\varepsilon_A^{666.14} = \frac{A_A^{666.14}}{b C_A} = \frac{1.3896}{1 \text{ cm} * 3 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 46\,320 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}}$$

$$\varepsilon_B^{666.14} = \frac{A_B^{666.14}}{b C_B} = \frac{0.0316}{1 \text{ cm} * 3 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 1\,053.33 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}}$$

Sustituyendo valores para la absorptividad molar de los indicadores a la longitud de onda del naranja de metilo (B), $\lambda_B = 465.7 \text{ nm}$:

$$\varepsilon_A^{465.7} = \frac{A_A^{465.7}}{b C_A} = \frac{0.0335}{1 \text{ cm} * 3 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 1\,116.67 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}}$$

$$\varepsilon_B^{465.7} = \frac{A_B^{465.7}}{b C_B} = \frac{0.7212}{1 \text{ cm} * 3 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 24\,040 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}}$$

- c) Calcular la concentración de cada uno de los componentes en la mezcla mediante la aplicación de dos ecuaciones simultáneas:

$$A_M^{\lambda_A} = C_{AM} b \varepsilon_A^{\lambda_A} + C_{BM} b \varepsilon_B^{\lambda_A}$$

$$A_M^{\lambda_B} = C_{AM} b \varepsilon_A^{\lambda_B} + C_{BM} b \varepsilon_B^{\lambda_B}$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones simultáneas:

$$0.45 = C_{AM1}(1 \text{ cm}) \left(46\,320 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right) + C_{BM1}(1 \text{ cm}) \left(1\,053.33 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right)$$

$$0.25 = C_{AM1}(1 \text{ cm}) \left(1\,116.67 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right) + C_{BM1}(1 \text{ cm}) \left(24\,040 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$C_{AM1} = 1 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$C_{BM1} = 1 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Tabla de resultados

Tabla 9. Tabla de resultados.

Indicador	$\varepsilon @ \lambda_A = 666.14 \text{ nm},$ $\left(\frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right)$	$\varepsilon @ \lambda_B = 465.7 \text{ nm},$ $\left(\frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right)$	C, (mol/L)
Azul de metileno (A)	46 320	1 116.67	1×10^{-5}
Naranja de metilo (B)	1 053.33	24 040	1×10^{-5}

Debido a que se utilizó una relación 1:1, las concentraciones de ambos indicadores resultaron ser iguales. Los colores del azul de metileno y naranja de metilo son azul y anaranjado respectivamente, su combinación dio como resultado una solución color verde (Figura 54).



Figura 54. Azul de metileno, naranja de metilo y mezcla en solución.



IV. CONCLUSIONES



La mezcla seleccionada para su implementación en el laboratorio es la mezcla conformada por azul de metileno y naranja de metilo utilizando agua destilada como disolvente debido a que, en base al análisis realizado, cumple con las características necesarias para realizar un análisis de mezclas multicomponentes:

- e) Sus espectros poseen bandas bien definidas dentro del intervalo de longitud de onda utilizado.
- f) Sus bandas no son cercanas.
- g) Las sustancias que componen la mezcla binaria no reaccionan entre sí ni con el disolvente.
- h) Sus características químicas no varían con el ambiente y la luz.

En suma, el sistema constituido por los indicadores es más amigable con el ambiente que el sistema permanganato de potasio/dicromato de potasio en ácido sulfúrico utilizado con anterioridad, ya que en este antiguo sistema tanto los reactivos como el disolvente eran altamente contaminantes y en el caso del sistema compuesto por los indicadores, el disolvente utilizado es agua destilada cuyo grado de toxicidad es nulo, además de que se utilizan concentraciones muy pequeñas de los indicadores con lo que se disminuye en gran medida su impacto ambiental. Otra ventaja de este nuevo sistema con respecto al anterior, es su estabilidad al ambiente, ya que en el sistema compuesto por permanganato de potasio/dicromato de potasio tanto las soluciones individuales como en la mezcla eran muy inestables, lo que ocasionaba un cambio de coloración y precipitación de los reactivos que causaban cambios en las mediciones que no eran convenientes para la reproducibilidad del experimento. Dicha inestabilidad aumentaba cuando las soluciones se exponían a la luz.

Por otro lado, se comparó el precio de 25 g y 1 g de los indicadores (ANEXO 2 y 3 respectivamente) partiendo de los precios manejados por el proveedor Sigma Aldrich en sus presentaciones comerciales (ANEXO 1). De esta comparación es posible darse cuenta de que, de las mezclas 1 (compuesta por azul de metileno y naranja de xilenol) y 2 (compuesta por azul de metileno y anaranjado de metilo) de indicadores que cumplen con las características necesarias para este tipo de análisis, la mezcla más conveniente

económicamente es también la mezcla 2, ya que el indicador naranja de metilo es mucho más económico en comparación con el naranja de xilenol.

Contrastando los objetivos del presente trabajo con los resultados obtenidos, es posible asegurar que los objetivos tanto general como específicos se cumplieron completamente, ya que se logró sustituir los reactivos utilizados antiguamente por otros más amigables con el ambiente tomando en cuenta también los costos de las materias primas.



ANEXOS



Anexo 1

Precios de los indicadores por el proveedor Sigma Aldrich consultados en el año 2019.

Tabla 10. Lista de precios de los indicadores por el proveedor Sigma Aldrich.

Indicador	Cantidad por envase comercial (g)	Precio (USD)	Precio (\$)
Azul de metileno	1	42	842.94
	100	129	2589.03
Calmagita	10	62	1244.34
	25	132	2649.24
Naranja de metilo	25	123	2468.61
	100	426	8549.82
	1000	3050	61213.5
Naranja de xilenol	1	146	2930.22
	5	165	3311.55
Rojo de metilo	25	42.70	856.989
	100	151	3030.57
Verde de bromocresol	1	136	2729.52
	5	451	9051.57
	25	156	3130.92

Nota: El precio en pesos mexicanos se calculó en base al precio del dólar en Septiembre 2019:

1 USD = \$20.07

Anexo 2

Cuadro comparativo del precio de 25 g de los indicadores calculados a partir de la información proporcionada en el ANEXO 1, considerando envases comerciales.

Tabla 11. Cuadro comparativo del precio de 25 g de los indicadores.

Indicador	Cantidad por envase comercial (g)	Precio unitario (USD)	Precio unitario (\$)	Número de unidades	Precio total (USD)	Precio total (\$)
Azul de metileno	1	42	842.94	25	1050	21073.5
Calmagita	25	132	2649.24	1	132	2649.24
Naranja de metilo	25	123	2468.61	1	123	2468.61
Naranja de xilenol	5	165	3311.55	5	825	16557.75
Rojo de metilo	25	42.70	856.989	1	42.7	856.989
Verde de bromocresol	25	156	3130.92	1	156	3130.92

Anexo 3

Cuadro comparativo del precio de 1 g de los indicadores calculados a partir de la información proporcionada en el ANEXO 1, considerando compras a granel partiendo del precio de envases comerciales.

Tabla 12. Cuadro comparativo del precio de 1 g de los indicadores.

Indicador	Cantidad por envase comercial (g)	Precio unitario (USD)	Precio unitario (\$)	Número de unidades	Precio total (USD)	Precio total (\$)
Azul de metileno	1	42	842.94	1	42.00	842.94
Calmagita	10	62	2649.24	1/10	6.20	264.92
Naranja de metilo	25	123	2468.61	1/25	4.92	98.74
Naranja de xilenol	1	146	2930.22	1	146.00	2930.22
Rojo de metilo	25	42.70	856.989	1/25	1.71	34.28
Verde de bromocresol	1	136	2729.52	1	136.00	2729.52

Glosario

Absorbancia (A): Cantidad de energía radiante absorbida por una sustancia.

Absortividad (a): Es la constante de proporcionalidad de la Ley de Beer expresada en $\frac{L}{g\ cm}$.

Absortividad molar (E): Es la constante de proporcionalidad de la Ley de Beer expresada en $\frac{L}{mol\ cm}$.

Ánodo: Electrodo con carga positiva.

Cátodo: Electrodo con carga negativa.

Dinodo: Electrodo de un tubo fotomultiplicador cuya función es amplificar la corriente de electrones mediante una producción secundaria de los mismos.

Espectro de absorción: Es un gráfico que muestra la variación de la absorbancia al variar la longitud de onda.

Frecuencia (v): Número de oscilaciones completas de una onda en un segundo.

Incertidumbre: Imprecisión en las mediciones.

Longitud de onda (λ): Es la distancia entre las crestas de dos ondas.

M: Abreviatura de Molar. La molaridad es una manera de expresar la concentración de una solución como moles por litro (mol/L), o como milimoles por mililitro (mmol/ml).

Matriz de la muestra: Se refiere a todos los componentes presentes en la muestra que no son el analito.

nm: Símbolo del nanómetro. Unidad de longitud correspondiente a la mil millonésima parte de un metro, es decir, $1\ nm = 10^{-9}\ m$.

pH: Medida de la acidez de una disolución.

Radiación electromagnética: Es un tipo de radiación compuesta tanto por campos eléctricos como magnéticos.

Selectividad: La selectividad de un método analítico indica el grado de ausencia de interferencias con otras especies que contiene la matriz de la muestra.

Semiconductor: Un material semiconductor es aquel cuya resistividad eléctrica es intermedia entre la de los materiales conductores y los aislantes.



BIBLIOGRAFÍA



Abril, N., Bárcena, A., Fernández, E., Galván, A., Jorrín, J., Peinado, J., Toribio, F., Túnez, I., (S.F.). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Recuperado de: https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf

Agilent Technologies. (2016). *Fundamentos de Espectroscopia Molecular: Hardware*. Recuperado de: https://www.agilent.com/cs/library/slidepresentation/public/5991-6592_Agilent_Mol%20Spectroscopy_Hardware_ES.pdf

AquaPhoenix Scientific. (2016). *Hoja de datos de seguridad del Polvo Calmagita*. Recuperado de: http://sds.chemtel.net/AquaPhoenix/66204_CA2300-J_GHSUnitedStatesSDS_es_2016-10-12.pdf

Carl Roth. (2016). *Ficha de datos de seguridad. Naranja metilo*. Recuperado de: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/T/SDB_T118_ES_ES.pdf

Carl Roth. (2016). *Ficha de datos de seguridad. Xylenol orange tetrasodium salt*. Recuperado de: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/2/SDB_2727_ES_ES.pdf

Christian, G. D. (2009). *Química Analítica*, Editorial Mc Graw Hill, México. Sexta edición, ISBN: 978-970-10-7234-9

Distribución y especialidades químicas. (S.F.). *Azul de metileno*. Recuperado de: <https://www.dyeq.co/fichas/azul-de-metileno/>

Gómez, S., Morante, S., Pérez, D., Sierra, I, (2010) *Análisis Instrumental*. Editorial Netbiblo, ISBN: 978-84-9745-377-6

Green facts. (2019). *Espectro electromagnético*. Recuperado de: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/espectro-electromagnetico.html>

Guerrero, X. (2013). *Hojas de datos de seguridad. Naranja de Xilenol*. Recuperado de: <http://www.inr.gob.mx/Descargas/bioSeguridad/naranjaXilenol.pdf>

Harris, D. C. (2009) *Análisis Químico Cuantitativo*. Sexta Edición, Editorial Reverté, ISBN: 978-84-291-7224-9

Hernández, A. (2017). *Desarrollo de la Metodología para la Igualación del Color por Quimiometría y Software del Color en Ultravioleta Visible*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Hernández, L., González, C. (2002) *Introducción al Análisis Instrumental*. Editorial Ariel Ciencia. Primera Edición, ISBN: 84-344-8043-3

Owen, T. (2000). *Fundamentos de la espectroscopia UV – Visible moderna*. Agilent Technologies. ISBN: 5980 – 1397

Skoog, D. A., Holler, F. J. & Crouch, S. R. (2008) *Principios de Análisis Instrumental*. Editorial CENGAGE Learning. Sexta Edición, ISBN 13: 978-970-685-829-9, ISBN 10: 970-686-829-1

Universidad Nacional, Heredia. Puerto Rico. (2016). *Hoja de seguridad. Naranja de metilo MSDS*. Recuperado de: <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=273:naranja-de-metilo&start=180>

Universidad Nacional, Heredia. Puerto Rico. (2016). *Hoja de seguridad. Rojo de metilo MSDS*. Recuperado de: <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=319:rojo-de-metilo&start=220>

Universidad Nacional, Heredia. Puerto Rico. (2016). *Hoja de seguridad. Verde de bromocresol MSDS*. Recuperado de: <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=352:verde-de-bromocresol&start=260>

Wade, L. G. (2012) *Química Orgánica*. Vol. 1. Editorial Pearson. Séptima Edición, ISBN: 978-607-32-0790-4

Referencias de figuras

Artisan Technology Group. (S. F.). *Espectrómetro Perkin Elmer Lambda 2 UV/VIS*. Recuperado de: https://www.artisanng.com/Scientific/80342-2/Perkin_Elmer_Lambda_2_UV_VIS_Spectrometer

Bretó, M. (2011). *Esquemas de técnicas de bioquímica*. Recuperado de: <https://www.flickr.com/photos/67235095@N07/albums/72157627485289751>

Cano, H., Cruz, J., Méndez, S. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio de bioquímica*.

Recuperado de:

http://quimica.uis.edu.co/portalanterio/sites/default/files/paginas/archivos/V00Man10Bioqca_MFOQ-BQ.01_08072013.pdf

Conteo de eventos y estadística de fotones. (S.F.) Recuperado de:

<http://www.nano.df.uba.ar/wordpress/wp-content/uploads/Conteo-de-Fotones.pdf>

Departamento de Física y Química del IES Almeraya (S.F.). *Modelos atómicos*.

Recuperado de: <https://sites.google.com/site/jfmelero/1-Bachillerato-Fisica-y-quimica/modelos-atomicos>

Distribución y especialidades químicas. (S.F.). *Azul de metileno*. Recuperado de:

<https://www.dyeq.co/fichas/azul-de-metileno/>

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. (S.F.). *Volumetría de formación de complejos*. Recuperado de:

http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35337/mod_resource/content/2/9%20Volumetr%C3%ADa%20por%20formaci%C3%B3n%20de%20complejo.pdf

Guerrero, X. (2013). *Hojas de datos de seguridad. Naranja de Xilenol*. Recuperado de:

<http://www.inr.gob.mx/Descargas/bioSeguridad/naranjaXilenol.pdf>

Hernández, A. (2017). *Desarrollo de la Metodología para la Igualación del Color por Quimiometría y Software del Color en Ultravioleta Visible*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Hormaza, A., Villada, Y. (2015) *Análisis simultáneo de la remoción de azul brillante y rojo 40 mediante espectrofotometría de derivadas*. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, 33(1). Recuperado de:
<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/5526/6699>

OHAUS - Distribuidor oficial. (2019). *Ohaus Discovery Analítica*. Recuperado de:
<http://kyaserv.com.ar/ohaus/ohaus-discovery-analitica/>

Owen, T. (2000). *Fundamentos de la espectroscopia UV – Visible moderna*. Agilent Technologies. ISBN: 5980 – 1397

Perkin Elmer. (S. F.). *UV WinLab™ Software. The Lambda Series*. Recuperado de:
https://www-punchout.qa.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/BRO_UVWinLabSoftware.pdf

Ramírez, L. A., Jacobo, A., Martínez, J. M. (2015). *Adsorción del naranja de metilo en solución acuosa sobre hidróxidos dobles laminares*. Acta universitaria, 25(3), 25-34. Recuperado de:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662015000300004

Universidad Central de Venezuela (2015). *Espectrofotometría UV – VIS*. Recuperado de:
<https://docplayer.es/13119968-Espectrofotometria-uv-vis.html>

Universidad Nacional Heredia. (2016). *Hoja de seguridad. Rojo de metilo MSDS*.
Recuperado de: <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=319:rojo-de-metilo&start=220>

Universidad Nacional Heredia. (2016). *Hoja de seguridad. Verde de bromocresol MSDS*.
Recuperado de: <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=352:verde-de-bromocresol&start=260>

Referencias de tablas

Christian, G. D. (2009) *Química Analítica*, Editorial Mc Graw Hill, México. Sexta edición, ISBN: 978-970-10-7234-9