

UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA
LEY DE LAMBERT-BEER, MEDIANTE LA
CUANTIFICACIÓN DE COLORANTES AZUL BRILLANTE
FCF Y TARTRAZINA EN UNA MUESTRA DE GOLOSINA,
A NIVEL DE PREGRADO

TESINA PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN
EDUCACIÓN QUÍMICA Y PEDAGOGÍA EN QUÍMICA
CON MENCIÓN EN EDUCACIÓN EN TECNOLOGÍA Y PARA OPTAR AL
GRADO DE LICENCIADO EN EDUCACIÓN QUÍMICA Y PEDAGOGÍA EN
QUÍMICA MENCIÓN EN EDUCACIÓN EN ASTRONOMÍA

Autoras:

Dominique Adam Vega
Camila Flores Jofré

Profesores Guía:

Carlos Garrido Leiva

SANTIAGO DE CHILE, - 2021

UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE LAS CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

INFORME DE APROBACIÓN

TESINA Y EXAMEN DE TÍTULO

Se informa a la Dirección del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Básicas que la Tesina y Examen de Título presentados por las candidatas

Camila Fernanda Flores Jofré

Han sido aprobados por la comisión informante de Tesina y Examen de Título como requisito para optar al Grado de Licenciado en Educación Química, y Título de Profesor de Química con Mención en Educación en Tecnología, en el Examen de Defensa de Tesina rendido el día de de 2021.

Dominique Alejandra Adam Vega

Han sido aprobados por la comisión informante de Tesina y Examen de Título como requisito para optar al Grado de Licenciado en Educación Química, y Título de Profesor de Química con Mención en Educación en Astronomía, en el Examen de Defensa de Tesina rendido el día de de 2021.

Profesor Guía Tesina

Carlos Garrido Leiva

Profesor Informante Tesina

HOJA DE AUTORIZACIÓN Y AUTORES

2021, Dominique Alejandra Adam Vega, Camila Fernanda Flores Jofré.

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, siempre que se haga la referencia bibliográfica que acredite el presente trabajo y sus autores.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría partir agradeciendo a la persona más importante en mi vida, la persona que confió en mi desde que era una niña, la cual me motivó a seguir mi camino en los estudios y a mejorar como persona. La persona que siempre me dijo “tú puedes” y me hizo sentir que era capaz de lograr todas mis metas propuestas, a pesar de todas las dificultades, esa persona es mi madre, a la cual también le dedico todos mis logros.

Agradecer también a mi novio, el cual me ha acompañado durante 10 años y ha sido mi motivación, mi confidente y hasta mi paño de lagrimas cuando algo salía mal, agradezco también todas las veces que me dijo lo orgulloso que estaba de mí y que nunca me dejó abandonar mis proyectos.

Agradezco a mi querida universidad por permitirme conocer a personas tan maravillosas, que han sido mi pilar fundamental durante todo este proceso, a mi mejor amiga Dominique, la cual tengo el gusto de compartir este trabajo de tesina, agradezco su compañía, nuestra lucha en el feminismo, sus cariños cuando estuve triste, por ser mi lado racional cuando lo ameritaba y por apoyarme constantemente. Agradezco a mi gran amigo Flavio, por las conversaciones existenciales, por las risas y por los consejos de vida. Agradezco a ambos nuevamente, porque sin ellos este proceso no habría sido lo mismo.

A mis amigos, Bastián, Robín, Pauli y Clau, por todos los buenos momentos que pasamos en los pastos del peda, en el ceq, jugando en las canchas, entre muchos momentos que sin duda alguna hicieron que mi instancia en el peda fuera mucho más amena. A todos mis amigos y amigas, muchas gracias.

A mis queridos profesores y funcionarios, los cuales entregaron sus conocimientos y valores en distintas circunstancias, en especial agradezco al profesor Juan Vargas, por ver algo especial en mí desde primer año, permitirme participar en las olimpiadas de la ciencia y su apoyo en los primeros años de carrera. Agradezco también a Don Luis, por las charlas en el laboratorio, todas las veces que me dio remedios para el dolor de cabeza y el par de veces que me quedé tomando un tecito junto a él.

Y no puedo terminar, sin agradecer a aquellas personas que ayudan a miles de estudiantes alrededor del mundo, entregando sus conocimientos en una red abierta para que estudiantes como yo puedan aprobar sus materias. Con sus videos, muchas veces pude rendir de mejor manera un montón de pruebas en muchos ramos a lo largo de la carrera. Mis agradecimientos son para Julio profe, “Date un voltio”, “QuantumFracture”

y al gran Germán Fernández, que sin duda alguna han ayudado, muchas veces de buena fe, a un montón de estudiantes en sus procesos de estudios. Muchas gracias.

Camila Flores Jofré

El primer agradecimiento lo debo enviar al cielo, yo sé que donde estés abuelita me estás acompañando y guiando por lo que me queda por delante. Gracias por los 23 casi 24 años que estuviste conmigo y sobre todo por darme la fortaleza día a día a continuar y cumplir mis metas, agradezco a la vida poder haber estado contigo los últimos días, te amo mucho y besos al cielo.

Agradezco también a mi viejo, quien fue uno de los primeros que confió en mi y confió en lo que quería hacer de mi vida, que me apañó durante las noches de desvelos de estudio, que me apañó cada vez que me enfermaba de estrés y sobre todas las cosas que me apañó cuando ya no quería más de la carrera.

A mi mamá que, con su locura, pero infinito amor me dio el ánimo y la fuerza de poder terminar mi carrera (al fin), gracias mamá por todo lo que has hecho por mi durante estos 24 años de vida, gracias a ti soy la persona que soy actualmente y la futura profesora de la cual mi abuelita se sentía orgullosa.

A la Pauli, quien ha sido estos dos últimos años la persona que me acompaña y que marchamos juntas por la vida, gracias por todos los momentos hermosos y por aguantarme mientras escribí la tesina, demoró mucho, pero lo logramos y lamento todo el estrés que esto proporcionó, te amo bebé.

Agradezco infinito a mi querida Cami, sin ti esta tesina no hubiese sido lo mismo, por todas las noches de desvelo y por el primer 7 que nos sacamos juntas en la u en primer año, gracias por tu amistad durante todos estos años de carrera, que no han sido pocos y durante el trayecto nos caímos varias veces, pero aquí estamos, dándole con todo.

Y obvio agradezco a la gente del peda, mis amigos, Flavio, Robin, Negro, Clau, Rubén, Lillito, Víctor ustedes hicieron mi proceso por esta universidad mucho más ameno, agradezco todos los ramos que pasamos juntos y los que no también, agradezco el apañe que tuvo cada uno cuando se trató de trabajos incluyendo este, gracias cabres. A los profesores, aprendí mucho de ustedes, aprendí además de química, muchas cosas de la vida y a porrazos muchas veces, logré llegar hasta aquí. A don Luis, quien me retaba siempre por el material pero tomar tecito con él mientras nos reímos y pelamos son

momentos que siempre recordaré, gracias también por todos los aprendizajes, desde el primer año en la u pasaba a nuestros mesones a explicarnos sobre reactivos y las experiencias que realizábamos.

Muchas gracias a Todos
Dominique Adam Vega

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	10
TABLA DE CONTENIDO	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
OBJETIVO GENERAL	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
MARCO TEÓRICO	23
1. ESPECTROSCOPIA	23
2. ADITIVOS ALIMENTARIOS	30
3. COLORANTES	32
4. CONTEXTO EDUCATIVO	42
MARCO METODOLÓGICO	48
SESIÓN N° 1 DE LABORATORIO	49
SESIÓN N° 2 DE LABORATORIO	52
SESIÓN N° 3 DE LABORATORIO	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
1. MÁXIMOS DE ABSORCIÓN	64
2. CURVAS DE CALIBRACIÓN	67
3. APLICACIÓN LEY DE LAMBERT-BEER	71
CONCLUSIONES	76
PROYECCIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXO 1	82
ANEXO 2	84

ANEXO 3	89
ANEXO 4	91
ANEXO 5	93
ANEXO 6	96

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo de tesina fue diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la espectroscopía, siendo más precisos, la aplicación de la Ley de Lambert-Beer con la finalidad que sea aplicada en el curso de pregrado Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (UMCE). Para el diseño de la propuesta se buscó como primera instancia un contexto, con el propósito de generar un ambiente real y cotidiano para las y los estudiantes. Dicho contexto tuvo a lugar con la cuantificación de colorantes artificiales Azul Brillante FCF y Tartrazina presentes en los caramelos de color verde de marca “Skittles”, puesto que se busca a través de él generar una consciencia en las y los estudiantes sobre la ingesta prolongada de colorantes alimentarios artificiales. A partir de este contexto fue que se diseñaron tres sesiones de laboratorios para llevar a cabo la cuantificación de los colorantes presentes en las muestras sólidas ya mencionadas. La primera sesión está enfocada en el tratamiento de la muestra y contextualización teórica. La segunda sesión se diseñó para que las y los estudiantes pudiesen realizar las curvas de calibración de la muestra y las mediciones correspondientes. Finalmente, la tercera sesión es la aplicación como tal de la Ley de Lambert-Beer para la cuantificación de los colorantes.

Dentro del diseño de la propuesta se incluyeron videos de pre-laboratorio como un recurso virtual con el objetivo de minimizar la carga cognitiva que se produce dentro del trabajo de laboratorio, los videos fueron confeccionados utilizando el software de animación “Powtoon” en conjunto con la aplicación “Edpuzzle”, para presentar ideas y conceptos claves para la correcta realización del trabajo de laboratorio, además de agregar preguntas para evaluar el proceso de aprendizaje del estudiante. También se incluyeron videos tutoriales con documentos de apoyo para facilitar el manejo de datos y la obtención de la información a partir de las mediciones. Los documentos presentan además el procedimiento experimental y datos reales para facilitar el entendimiento del trabajo a realizar. Esto último permite que la propuesta sea adaptable para distintos escenarios, por ejemplo, el trabajo virtual, puesto que existen procedimientos experimentales y sus datos correspondientes a disposición, con la ayuda de los tutoriales puede ser aplicado como un módulo de aplicación de la Ley de Lambert-Beer. Por lo tanto, la propuesta didáctica puede ser aplicada tanto en el curso MIA como cursos de similares características, puesto

que es un aporte al proceso de enseñanza-aprendizaje de la Ley de Lambert-Beer en el ámbito práctico.

PALABRAS CLAVES

Colorantes alimentarios, Métodos Instrumentales de Análisis, Pre-laboratorios, Química en contexto, Tutoriales

ABSTRACT

The main goal of the thesis work was to design a didactic proposal for the teaching of spectroscopy, being more precise, the application of the Lambert-Beer Law to be applied in the undergraduate course Instrumental Methods of Analysis (MIA) from the Metropolitan University of Education Sciences (UMCE). For the design of the proposal, a context was sought as a first instance, with the purpose of generating a real and everyday environment for the students. Said context took place with the quantification of artificial dyes Brilliant Blue FCF and Tartrazine present in the green colored candies of the brand “Skittles”, since it seeks through it to generate an awareness in the students about the prolonged intake of artificial food colors. From this context, three laboratory sessions were designed to carry out the quantification of the dyes present in the solid samples already mentioned. The first session is focused on the treatment of the sample and theoretical contextualization. The second session was designed so that the students could perform the calibration curves of the sample and the corresponding measurements. Finally, the third session is the application as such of the Lambert-Beer Law for the quantification of dyes.

Within the design of the proposal, pre-laboratory videos were included as a virtual resource to minimize the cognitive load that occurs within the laboratory work, the videos were made using the animation software "Powtoon" in conjunction with the “Edpuzzle” application, to present key ideas and concepts for the correct performance of the laboratory work, in addition to adding questions to evaluate the student's learning process. Tutorial videos with supporting documents were also included to facilitate data management and obtaining information from the measurements. The documents also present the experimental procedure and real data to facilitate the understanding of the work to be done. This last allows the proposal to be adaptable for different scenarios, for example, virtual work, since there are experimental procedures and their corresponding data available, with the help of the tutorials it can be applied as an application module of

Lambert's Law -Beer. Therefore, the didactic proposal can be applied both in the MIA course and in courses with similar characteristics, since it is a report on the teaching-learning process of the Lambert-Beer Law in the practical sphere.

KEYWORDS

Food coloring, Instrumental Methods of Analysis, Pre-laboratories, Chemistry in context, Tutorials

INTRODUCCIÓN

Se tiene conocimiento que los estudiantes suelen afirmar que la ciencia es difícil de aprender, lo cual sugiere a los docentes que los contenidos no se están transmitiendo de forma correcta, lo que puede estar relacionado con diversos factores como la misma transmisión de los conocimientos, los métodos que se utilizan para transmitirlos, las instalaciones disponibles y la naturaleza para aprender del estudiante (Johnstone, 1991), es por esta razón que el trabajo de laboratorio surge como una ayuda para comprender la teoría con el objetivo propuesto, y que las y los estudiantes sean capaces de aprender la ciencia (Agustian & Seery, 2017).

A simple vista, los laboratorios en pregrado son una parte esencial del plan de estudio de carreras relacionadas con la química, que además de ayudar con los conceptos y teorías, como se menciona en el párrafo anterior, también pueden promover habilidades profesionales y sociales, desarrollar habilidades técnicas y de manipulación y aprender a interpretar, observar y familiarizarse con los desafíos experimentales. (Moozeh , Farmer, Tihanyi, Nadar, & Evans, 2019).

Por otra parte, el proceso de aprendizaje es un proceso de construcción activa, donde existe una participación autónoma del que está aprendiendo, tiene una carga emocional y social, debido a que el estudiante debe tener una actitud positiva frente al proceso de aprendizaje y además este ocurre en interacción con otros, y finalmente el aprendizaje debe ser “situado”, ya que, el conocimiento tiene lugar en un contexto o situación específica (Caamaño , 2011), por lo que, surge la necesidad de presentar un contexto a los estudiantes dentro del trabajo de laboratorio que les permita mejorar el aprendizaje y mantener el interés en este mismo.

Es por eso que el siguiente trabajo de investigación se expone la realización de una propuesta didáctica que tiene como principal propósito aplicar la Ley de Lambert-Beer en una muestra real, siguiendo las etapas del análisis cuantitativo detalladas a continuación (Skoog & West, Introducción a la química analítica , 2002):

- Toma de muestra
- Pre – tratamiento de una muestra sólida
- Análisis gravimétrico
- Disolución de una muestra sólida
- Separación de sustancias interferentes
- Terminación del análisis
- Cálculo e interpretación de los resultados

Durante estas etapas se espera que las y los estudiantes sean capaces de aplicar la Ley de Lambert-Beer para cuantificar los colorantes alimentarios, Azul Brillante FCF y Tartrazina, presentes en los dulces comerciales “Skittles, utilizando un Espectrofotómetro UV-Vis, con el objetivo de contextualizar el aprendizaje acerca de esta ley, y además introducir el conocimiento de las sustancias químicas que están presentes en sus comidas, como lo son los colorantes.

Esta propuesta está enfocada en cursos de pregrado los cuales poseen horas de trabajo de laboratorio contempladas en ramos como medio de aplicación de las metodologías analíticas a través de las técnicas instrumentales. En concreto se espera que la presente propuesta pueda resultar un aporte respecto a las competencias declaradas en el programa del curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) y que facilite el aprendizaje de estos tópicos a los y las estudiantes.

A continuación, se presentará el desarrollo de la investigación con la cual se realizó la propuesta didáctica y el desarrollo de ésta.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La enseñanza de las ciencias, en específico la enseñanza de la química, se ha visto perjudicada de gran manera debido al desinterés y desmotivación de las y los estudiantes producto de diversos factores, siendo uno de ellos la poca cercanía que existe entre lo enseñado y el entorno en el cual se desenvuelven (Gilbert, 2007). Una de las soluciones que surgen respecto a esto es poner en contexto el contenido enseñado. El contexto debe ser:

1. Auténtico (debe ser significativo)
 2. Relevante (establecer una relación personal, social o vocacional)
 3. Indagador (que movilice la capacidad de indagar científicamente)
 4. Las actividades deben favorecer la construcción (pensar, razonar y preguntar).
- (Moraga & Espinet , 2019).

Un caso particular de lo recién mencionado es la enseñanza de la Ley de Lambert-beer a nivel de pregrado, la cual va de la mano con la técnica de espectrofotometría, pues con los datos que nos entrega el espectrofotómetro (comúnmente absorbancia) podemos llegar a conocer una concentración específica de un analito en una muestra aplicando esta Ley (Opstal, Nahlik, Daebenmire, & Fitch, 2018). Sin embargo, los laboratorios que se utilizan durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Ley de Lambert-Beer se realizan con reactivos poco accesibles y muy lejanos a la realidad, lo cual termina provocando un desinterés en las y los estudiantes (Tami, Popova , & Proni, 2017).

Con el fin de evitar el desinterés de los y las estudiantes en la enseñanza de la Ley de Lambert-Beer, se puede analizar la presencia de los colorantes artificiales en alimentos para generar una contextualización del proceso de aprendizaje. Estas sustancias químicas son un tipo de aditivos alimentarios utilizados principalmente para mejorar o mantener la apariencia original de los alimentos la cual se puede ver perjudicada debido a una degradación del producto por variaciones ambientales (Grumezescu & Holban, 2018).

Existen colorantes alimentarios naturales como la cúrcuma o sintéticos como la tartrazina (Grumezescu & Holban, 2018), siendo estos últimos los más perjudiciales para la salud y por lo cual surgieron diversas normativas a nivel mundial con el propósito de controlar su uso y limitar su consumo (Gürses, Açıkyıldız, Güneş, & Gürses, 2016). Algunos colorantes alimentarios sintéticos para destacar son el Azul Brillante y la Tartrazina, los cuales se utilizan en conjunto para obtener la coloración verde. Su uso es bastante común y se pueden encontrar en una gran variedad de alimentos.

La Tartrazina corresponde a un grupo de colorantes sintéticos de alta peligrosidad: los azocompuestos. Estos compuestos se denominan así debido al puente azoico presente en ellos (-N=N-). Existen estudios donde se ha visto que estos compuestos son capaces de descomponerse en aminas aromáticas (Ayala, Pineda, Duarte, Soto, & Pineda, 2018), las cuales son potenciales causantes de cáncer a la vesícula (Rodríguez-Torres & Robles-Sainz, 2019). La Tartrazina, presenta diversos efectos adversos como, por ejemplo, asma, trastorno por déficit de atención con hiperactividad, hipersensibilidad, entre otros. El Azul brillante a diferencia de la Tartrazina no presenta tantos efectos adversos, uno de ellos es la hipersensibilidad (PubChem, s.f.), esto último debido a que el colorante Azul Brillante FCF no contiene el grupo azo en su estructura molecular.

Considerando lo mencionado en los párrafos anteriores es que surge la necesidad de incluir la enseñanza de los colorantes alimentarios a nivel de pregrado para la Ley de Lambert – Beer, generando así la contextualización de los conocimientos para beneficiar el proceso de aprendizaje, pues estos compuestos son los que se pueden encontrar a diario al leer las etiquetas de los alimentos envasados. Por ello, encontramos necesario que las y los estudiantes comiencen a cuestionarse sobre lo que consumen a diario al momento de comprar uno de estos productos.

Por consiguiente, ¿Cómo diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la Ley de Lambert-Beer generando un contexto a través de colorantes alimentarios para el curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA)?

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la espectroscopia de absorción molecular ultravioleta – visible (UV-Vis) aplicando la Ley de Lambert – Beer en la cuantificación de colorantes artificiales como Azul brillante FCF y Tartrazina presentes en los dulces verdes “Skittles”, con el propósito de ser implementada en el curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) de la UMCE, para estudiantes de pregrado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contextualizar la enseñanza de la espectroscopia de absorción molecular ultravioleta – visible (UV-Vis) en situaciones de la vida cotidiana, como lo son los alimentos que poseen colorantes artificiales en su composición.
- Organizar la información relacionada a la contextualización en sesiones de laboratorios acordes a la aplicación de la Ley de Lambert-Beer
- Seleccionar una metodología didáctica de trabajo para las sesiones de laboratorios con el objetivo de optimizar y favorecer el aprendizaje de las y los estudiantes.
- Desarrollar metodología didáctica seleccionada dentro de la propuesta didáctica para facilitar el aprendizaje de las y los estudiantes y minimizar la sobrecarga cognitiva.

MARCO TEÓRICO

1. ESPECTROSCOPIA

1.1. Radiación electromagnética

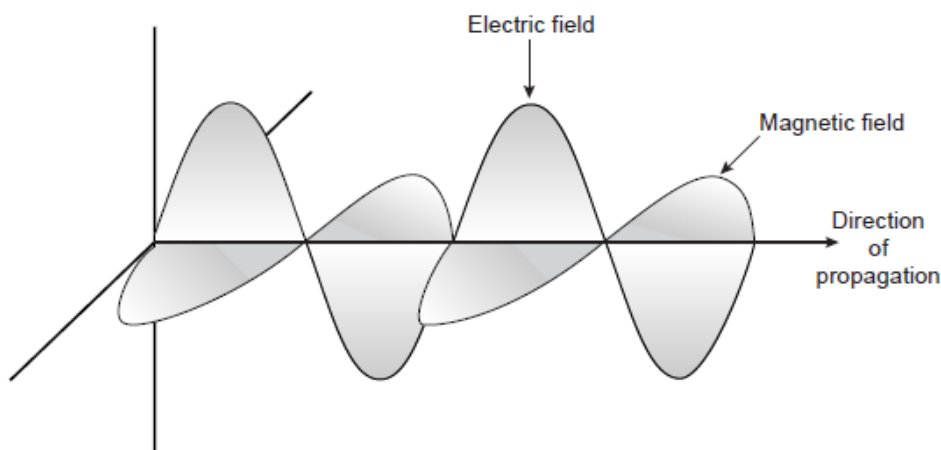
La radiación electromagnética que conocemos comúnmente como luz, es una forma de energía la cual posee un comportamiento dual, es decir, que posee propiedades de ondas y de partículas. Un ejemplo de lo que se menciona anteriormente es la propiedad óptica llamada difracción que posee la radiación electromagnética, lo que se explica mejor si se considera a la luz como una onda. Por otra parte, existen interacciones entre la radiación electromagnética y la materia, como lo son la absorción y emisión, las cuales se describen mejor considerando a la luz como una partícula denominada fotón.

1.1.1. Propiedades de onda de la radiación electromagnética

Como se menciona anteriormente la radiación electromagnética, mejor conocida como luz consiste en campos eléctricos y magnéticos que oscilan perpendicularmente que se propagan a través del espacio a lo largo de una trayectoria lineal y con una velocidad constante. Cuando la radiación se propaga en el vacío viaja a la velocidad de la luz la cual es $2,99792 \times 10^8$ m/s. Cuando la radiación electromagnética se mueve a través de un medio diferente al vacío posee una diferencia menor al 0,1% como para que la velocidad cambie en tres cifras significativas quedando como $3,00 \times 10^8$ m/s. (Harvey, 2000)

Figura 1

Plano de la radiación electromagnética polarizada que muestra el campo eléctrico, campo magnético y la dirección de propagación



Fuente: (Harvey, 2000)

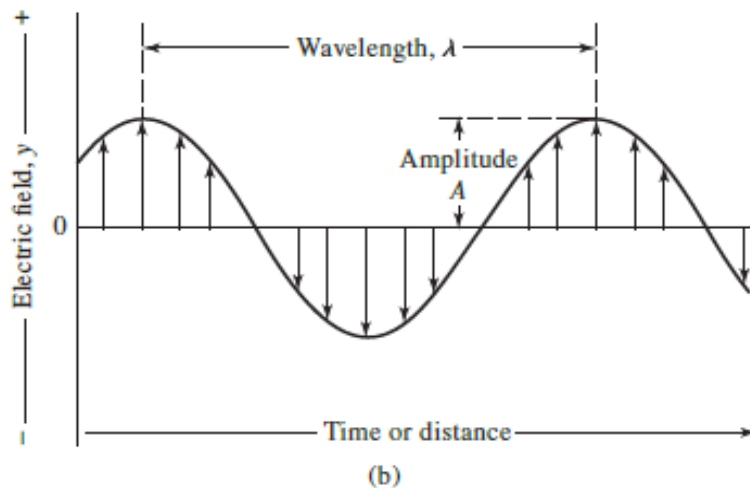
La radiación electromagnética se caracteriza por sus variadas propiedades, tales como, la frecuencia, amplitud, velocidad, polarización y dirección de propagación, entre otras propiedades que son útiles para caracterizar el comportamiento de una onda. La longitud de onda se define como la distancia entre los máximos o mínimos sucesivos que en la radiación ultravioleta y en la visible esta distancia se expresa en nanómetros (nm) la cual se expresa en la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

Donde λ es longitud de onda, V es velocidad y c es la velocidad de la luz cuando la radiación electromagnética se propaga por el vacío y ν es la frecuencia.

Figura 2

Oscilaciones del campo eléctrico, donde se muestra la amplitud y longitud de onda.



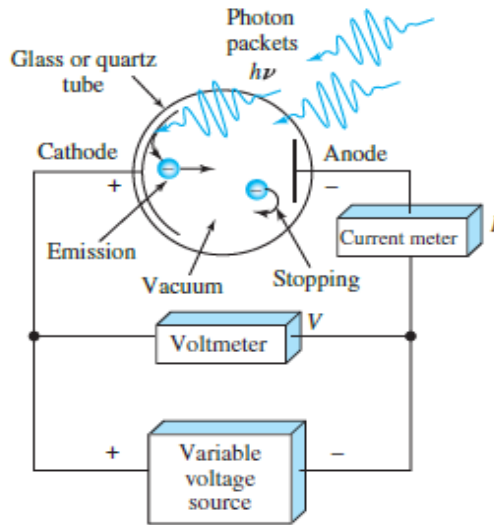
Fuente: (Skoog, Holler, & Crouch, Principles of Instrumental Analysis, 2016)

1.1.2. Propiedades de partícula de la radiación electromagnética.

Cuando se emite o se absorbe la radiación electromagnética existe una transferencia de energía entre el objeto emisor y el medio absorbente, lo cual para explicar este fenómeno se debe entender la radiación electromagnética como una corriente de partículas discretas llamadas fotones. Esto es conocido como el modelo de partículas para la radiación, el cual fue la consecuencia del descubrimiento del efecto fotoeléctrico a finales del siglo XIX. (Skoog, Holler, & Crouch, Principles of Instrumental Analysis, 2016)

Figura 3

Aparato que estudia el efecto fotoeléctrico



Fuente: (Skoog, Holler, & Crouch, Principles of Instrumental Analysis, 2016)

Por lo tanto, la energía de un fotón está relacionado con su frecuencia o longitud de onda (recordando la ecuación 1) como se muestran en las relaciones.

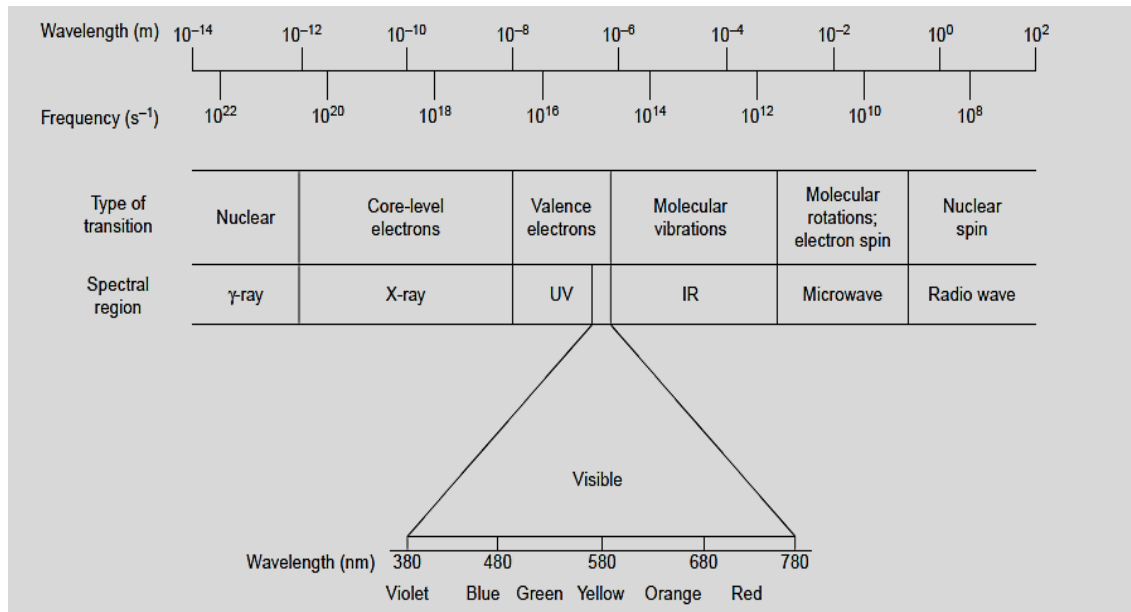
$$E = h\nu \quad \text{ó} \quad E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

Donde E es la energía del fotón expresada en Julios, h es la constante de Planck ($h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$) y ν es la frecuencia asociada al fotón, c velocidad de la luz y λ la longitud de onda de la radiación electromagnética.

Según la ecuación 2 podemos ver que la energía de la radiación electromagnética (energía del fotón) es directamente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda, por lo tanto, la radiación electromagnética varía desde una muy baja energía (longitudes de onda larga) hasta una alta energía (longitudes de onda corta).

Figura 4

Espectro electromagnético que indica los colores del espectro visible.



Fuente: (Harvey, 2000)

Como se muestra en la figura 4, esa pequeña región que se encuentra expandida dentro del espectro electromagnético corresponde al espectro visible que es la que el ojo humano puede percibir como los colores. Los colores que se transmiten son los complementarios de los colores que se absorben en ciertas longitudes de onda, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Colores de las diferentes regiones de longitud de onda

Longitudes de onda absorbida / nm	Color absorbido	Color transmitido (complementario)
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

Fuente: (Christian, 2009)

1.2. Espectroscopía

La espectroscopía es el estudio de la interacción de la radiación electromagnética (luz) con la materia (compuesta de átomos, moléculas o iones). No importa el estado físico (sólido, líquido o gaseoso) o disposición de los átomos, moléculas o iones siempre están en constante movimiento, para el caso de las moléculas, intervienen muchos tipos de movimientos, tales como, rotación, vibración y traslación. La interacción de energía radiante con las moléculas puede afectar a estos movimientos, las moléculas que absorben la radiación IR vibran con mayor amplitud; la interacción con luz ultravioleta o visible puede mover electrones de enlaces a un nivel más alto de energía en las moléculas. Un cambio en cualquier forma de movimiento o nivel de energía electrónica implica un cambio en la energía de la molécula, a lo que se le conoce como transición, las cuales pueden ser transiciones rotacionales, vibraciones o electrónicas, por lo tanto, para investigar la materia se puede acceder a variadas técnicas de espectroscopia, como por ejemplo espectroscopia IR o UV-VIS. (Robinson, Skelly, & Frame, 2005)

Tabla 2

Algunos tipos de transiciones estudiadas por espectroscopia.

Tipo de transición	Método espectroscópico	Intervalo de onda
Giro del núcleo en un campo magnético	Espectroscopia RMN	0,5 – 10 m
Rotación y vibración de moléculas	Espectroscopia Raman e IR	0,8 – 300 μm
Energía de enlace de electrones y energía de electrones de valencia	Espectroscopia UV-VIS	180 – 800 nm
Energía de electrones del núcleo	Espectroscopia rayos X	0,1 – 100 Å

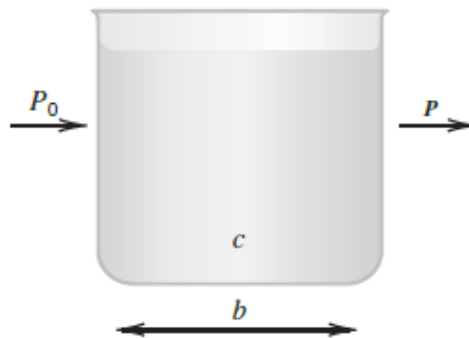
Fuente: (Robinson, Skelly, & Frame, 2005)

1.3. Transmitancia y absorbancia:

Dentro de los métodos de absorción se desprenden dos conceptos; la transmitancia y la absorbancia. Para entender aquellos conceptos se debe tener en cuenta que un haz de luz atraviesa un medio que contiene el analito, donde la muestra absorberá una parte de la radiación incidente y dejará pasar el resto, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 5

Absorción de la radiación donde P_0 es la intensidad del haz incidente, P es la intensidad del haz transmitido, c la concentración de la muestra y b la distancia recorrida.



Fuente: (Christian, 2009)

La transmitancia (T) es la fracción de radiación incidente transmitida por el medio, en consecuencia, de la interacción de los fotones y los átomos y moléculas absorbentes, donde la intensidad del haz disminuye de P_0 a P , la cual se expresa de la siguiente forma:

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (3)$$

La transmitancia a menudo se representa como porcentaje (%T):

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100 \% \quad (4)$$

La absorbancia (A) está relacionada con la transmitancia, ya que, a medida que la transmitancia disminuye la absorbancia aumenta, por lo tanto, la absorbancia aumenta cuando la atenuación del haz incidente se hace mayor. La absorbancia de un medio está definida por la siguiente ecuación: (Skoog, Holler, & Crouch, Principles of Instrumental Analysis, 2016)

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} \quad (5)$$

1.4. Ley de Lambert – Beer:

Cuando la radiación electromagnética pasa a través de una delgada capa de muestra de espesor dx experimenta una disminución de la intensidad del haz, esta disminución fraccional de la intensidad es proporcional al espesor de la muestra y a la concentración del analito, como se muestra en la siguiente expresión matemática:

$$\frac{-dP}{P} = \alpha C dx \quad (6)$$

Donde P es la intensidad del haz incidente en la capa delgada de muestra y α es una constante de proporcionalidad. Realizando un trabajo matemático a la ecuación 6 se obtiene la siguiente expresión:

$$\log \frac{P_0}{P} = \alpha b C \quad (7)$$

$$A = \alpha b C \quad (8)$$

Donde a es la absorptividad la cual posee unidades de $\text{cm}^{-1} \text{conc}^{-1}$. Cuando la concentración (C) se expresa en molaridad, la absorptividad a se reemplaza por la absorptividad molar ϵ que también se le conoce como coeficiente de absorptividad molar, en la ecuación y b corresponde a la longitud del paso óptico que está dado en centímetros generalmente.

$$A = \epsilon b C \quad (9)$$

Esta relación lineal de la absorbancia y la concentración del analito se conoce como la *Ley de Lambert – Beer*. (Harvey, 2000)

1.5. Mezcla de absorbentes

Es posible realizar cálculos cuantitativos cuando existe una mezcla de absorbentes que están solución que poseen espectros que se sobreponen. Según la Ley de Lambert – Beer, la absorbancia total a una determinada longitud de onda, es igual a la suma de las absorbancias de todas las especies absorbentes presentes en la solución. Para el caso de una solución con dos especies absorbentes se puede expresar la absorbancia de la siguiente forma: (Christian, 2009)

$$A = \epsilon_x b c_x + \epsilon_y b c_y \quad (10)$$

Donde los subíndices se refieren a las especies x e y respectivamente. Cuando se quiere realizar una determinación de las sustancias x e y , se presentarán dos incógnitas,

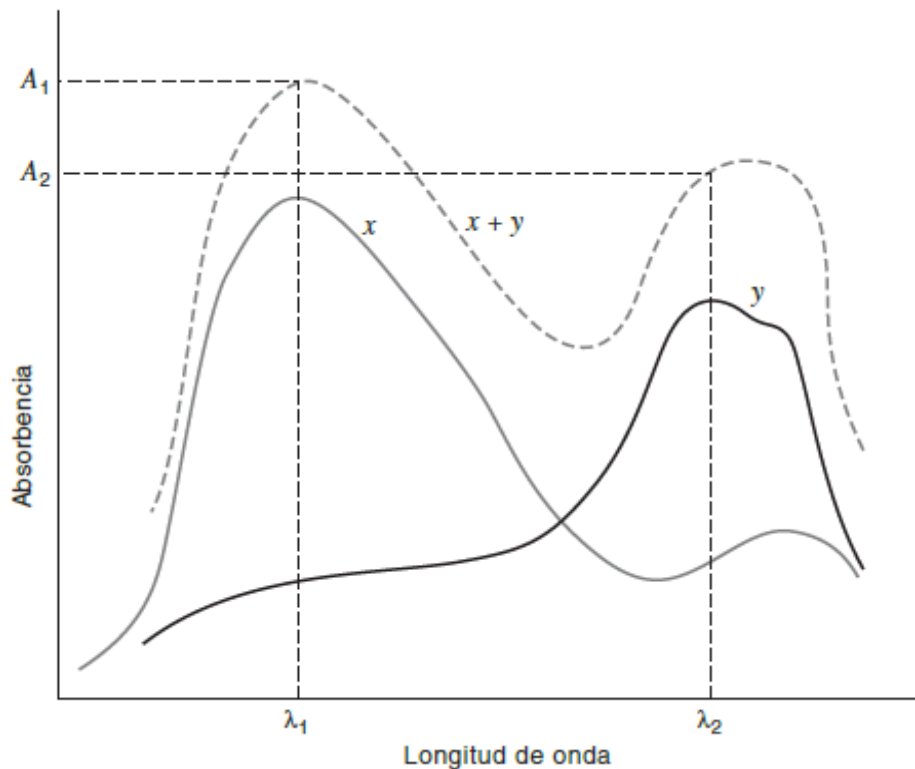
donde el procedimiento será escoger dos longitudes de onda, donde una sea el máximo de absorción de la especie “x” y la otra sea el máximo de absorción de la especie “y”, planteando un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\begin{cases} A_1 = A_{x1} + A_{y1} = \varepsilon_{x1}bc_{x1} + \varepsilon_{y1}bc_{y1} \\ A_2 = A_{x2} + A_{y2} = \varepsilon_{x2}bc_{x2} + \varepsilon_{y2}bc_{y2} \end{cases} \quad (11)$$

Donde A_1 y A_2 son absorbancias a una determinada longitud de onda para cada especie x e y.

Figura 6

Espectros de absorción de una mezcla de especies absorbentes denominados x e y.



Fuente: (Christian, 2009)

2. ADITIVOS ALIMENTARIOS

Los aditivos alimentarios son sustancias añadidas a los alimentos con el objetivo de conservar o mejorar el sabor, mejorar su apariencia, etc. Estos pueden ser de origen natural o artificial, pero siempre garantizando el bienestar del consumidor. Este último punto es crítico, ya que, principalmente el uso de aditivos artificiales es muy masivo debido a su bajo costo principalmente, pero no necesariamente garantizando el bienestar de las personas que lo consumen en alimentos.

Existen aditivos del tipo directo, que se refiere a la intencionalidad de añadir el aditivo para algún fin en particular y se detalla en la etiqueta de los ingredientes y están los indirectos, los cuales se convierten parte del alimento durante el procesamiento, envasado y almacenamiento (El-Samragy, 2016) . En el mercado hay una gran variedad de aditivos según el propósito para el cual se requiera y se detalla en la siguiente tabla algunos de ellos:

Tabla 3

Lista de aditivos alimentarios y su principal función en los alimentos

Tipo de aditivo	Utilidad
Regulador de acidez	Se utilizan para regular la acidez o alcalinidad de los alimentos
Antiaglutinantes	Previene la formación de grumos, permitiendo una condición de flujo libre
Antioxidantes	Prolonga la vida útil de los alimentos protegiéndolos de la oxidación
Agentes de carga	Aumentan la cantidad del alimento sin influir en su valor nutricional
Agentes de retención de color	Se encarga de retener, estabilizar o intensificar un color ya existente
Colorantes	Se encarga de agregar o restaurar un color en un alimento
Emulsionantes	Reordena las proteínas e impide la separación de las grasas
Agentes reafirmantes	Se encargan de mantener firmes y crujientes los tejidos de las frutas y verduras
Saborizantes	Se encargan de darle sabor u olor particular a un alimento

Conservantes	Prolongan la vida útil de los alimentos protegiéndolos por el deterioro causado por microorganismos
Humectantes	Evita que los alimentos se sequen contrarrestando el efecto del ambiente

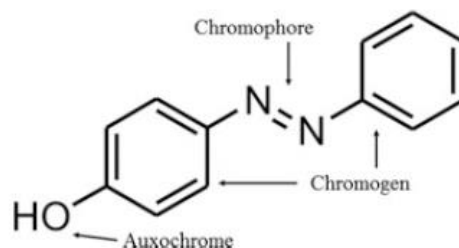
Fuente: Adaptado de (El-Samragy, 2016)

3. COLORANTES

Los colorantes se definen como sustancias químicas coloreadas que reaccionan con el sustrato al cual se está aplicando e imparten color por absorción selectiva, es decir, absorbe sólo ciertas longitudes de ondas. Para que imparta color, las longitudes de onda deben encontrarse en el espectro visible (400 – 700 nm). Éstos se componen de: Cromógeno (compuesto químico capaz de colorearse), Cromóforo (grupo químico responsable de la aparición de color en los compuestos donde se encuentra) y Auxocromo (Sustituyente que entrega o modifica características del cromóforo, se definen como auxiliares de color):

Figura 7

Componentes de un colorante



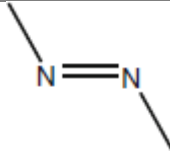
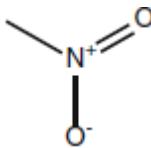
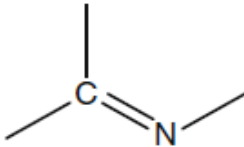
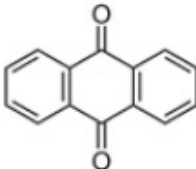
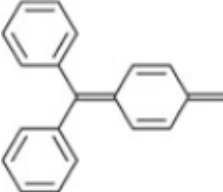
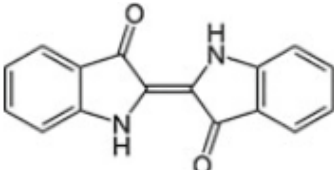
Fuente: (Gürses, Açıkyıldız, Güneş, & Gürses, 2016)

Los cromóforos pueden o no presentar un color, esto dependerá de la longitud de onda que absorba dicho grupo, por ejemplo los siguientes grupos son cromóforos no conjugados, es decir, no se encuentra unido a un auxocromo, el etileno tiene un $\lambda_{\text{máx}}$ de 171 y el azometano tiene un $\lambda_{\text{máx}}$ de 338, en este caso sólo el segundo es quien se encuentra en el espectro visible, si se hubiesen encontrado conjugados estos $\lambda_{\text{máx}}$ podrían variar producto del auxocromo, el cual es capaz de modificar la longitud de onda y el máximo de absorción de los compuestos y así transformarlos en un compuesto con longitud de onda dentro del espectro visible obteniendo así un nuevo cromóforo. Por ejemplo, el benceno presenta un $\lambda_{\text{máx}}$ de 256 nm y un $\epsilon_{\text{máx}}$ de 200 mientras que el fenol muestra un

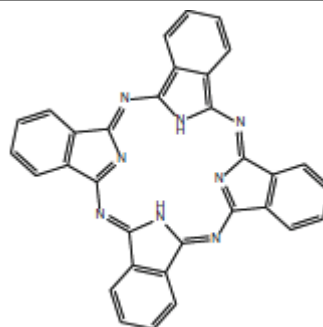
$\lambda_{\text{máx}}$ de 270 nm y un $\epsilon_{\text{máx}}$ de 1450, ambos valores aumentados, esto producto de los pares de electrones no enlazantes presentes en el auxocromo OH^- .

A pesar de que no existen una regla general de identificar a los cromóforos, la tabla n°4 muestra algunos de los grupos más comunes presentes en los colorantes, de la misma forma sucede con los auxocromos, sin embargo, podemos encontrar generalmente auxocromos ácidos como: -SO_3^- , -COOH , OH^- etc., y básicos como: -N^+ , -NH_2 , los cuales se denominan como coligadores.

Tabla 4
Grupos Cromóforos

Grupo cromóforo	Estructura
Azo	
Nitro	
Methine	
Anthraquinone	
Triarylmethane	
Indigo	

Phtalocyanine



Fuente: Adaptado de (Gürses, Açıkyıldız, Güneş, & Gürses, 2016)

En resumen, los colorantes presentan color porque:

- Absorben luz en el espectro visible (200-700 nm)
- Tienen al menos un grupo cromóforo
- Presentan un sistema conjugado
- Exhiben resonancia de electrones

La evolución de los colorantes ha ido en conjunto con el estudio de la química orgánica, puesto que estos son generalmente compuestos orgánicos, sin embargo, es importante destacar que existen también diversos colorantes inorgánicos, pero no tienen un uso tan extendido como los orgánicos en los alimentos, uno ampliamente utilizado por la industria alimentaria es el Dióxido de Titanio (E171) utilizado para dar color blanco, de hecho en la formulación de los dulces estudiados en este trabajo, se encuentra este colorante inorgánico. Durante la historia de la química se han propuesto distintas teorías y modelos para comprender estas moléculas, dentro de las cuales podemos encontrar: el modelo mecano cuántico con los aportes de Heisenberg y Schrödinger, la teoría de orbitales moleculares de Hückel y el método Pariser-Parr-Pople (PPP), entre otros, siendo este último utilizado para el estudio de los azo compuestos. (Gürses, Açıkyıldız, Güneş, & Gürses, 2016)

Los colorantes tienen diversos usos, por ejemplo, en la industria textil, farmacéutica o alimentaria, por mencionar algunas, siendo estos últimos de suma importancia para la presente investigación.

3.1. Colorantes alimentarios

3.1.1. Contexto histórico

Los colorantes alimentarios son aditivos que han sido empleados a lo largo de la historia con el propósito de hacer atractiva visualmente a la comida, algunos ejemplos de

ellos datan alrededor del 1500 a. de C. con la utilización de colorantes en caramelos (observados en una pintura) y 300 a. de C. utilizando colorantes sintéticos en licores como el vino (Grumezescu & Holban, 2018).

Inicialmente los colorantes utilizados eran aquellos que proporcionaba la naturaleza a través de las maderas, flores, minerales, entre otros, algunos ejemplos comunes de ellos son el pimentón rojo, la cúrcuma y extractos de remolacha. Incluso, se utilizaban (y se continúan utilizando actualmente) colorantes de origen animal como el ácido carmínico proveniente de la cochinilla (un insecto) o la tinta de calamar utilizada para colorear de negro las comidas.

Entre el 1850 y 1900 se reportaron aproximadamente 695 colorantes alrededor del mundo, en aquellos años el estudio de estos colorantes no se había masificado, hasta que se empezaron a presentar problemas de salud derivados del consumo de ellos. Algunos colorantes encontrados eran compuestos de plomo, cobre, arsénico, entre otros., todos ellos de origen inorgánico y con alto nivel de toxicidad, estos se utilizaban usualmente para mejorar la apariencia de los alimentos que se encontraban en mal estado. Producto de esto, comenzaron a sintetizarse colorantes y con ello comenzó la investigación de los colorantes y así la legislación de estos, que en un inicio se realizaron listados de los colorantes prohibidos por el daño que producían y continuaron con las cantidades permitidas todo en beneficio de los consumidores. (Stich , 2016)

3.1.2. Normativa

La utilización de colorantes se encuentra normada por diferentes entidades internacionales considerando que cada país tiene sus propias regulaciones, sin embargo, estas regulaciones pueden derivarse de las ya establecidas. En la unión europea la organización encargada de establecer que aditivos alimentarios puedan utilizarse luego de ciertos estudios en los alimentos es la “*European Food Safety Authority*” (EFSA) (EFSA, 2016), en el reglamento N°1333/2008 del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre 2008, se especifican los códigos de cada colorante anteponiendo la letra E seguido de un número, la cantidad permitida a consumir y las restricciones según sea el caso (UE, 2008). A continuación, se presentan algunos colorantes en bebidas y frutas en conserva:

Tabla 5*Colorantes permitidos en bebidas y frutas en conserva*

Numero E	Aditivo	Dosis (mg/L o mg/kg)	máxima	Restricciones o excepciones
E 102	Tartrazina	100		Solo bitter soda
E 110	Amarillo ocazo FCF	100		Solo bitter soda
E 133	Azul brillante FCF	200		Solo conservas de frutos rojos
E 129	Rojo Allura AC	200		Solo conservas de frutos rojos

Fuente: Adaptado de (EFSA, 2016)

En Estados Unidos encontramos a “*The food and drug administration*” (FDA) que tal como dice su nombre se creó con el propósito de proteger al consumidor de los componentes de los alimentos y medicamentos, esto incluye aditivos alimentarios, fórmulas infantiles, vacunas, medicamentos, entre otros (FDA, 2020). Respecto a los colorantes, la FDA se encarga de certificarlos, es decir, permitir que sean utilizados garantizando que el uso de ellos no será perjudicial para la salud de los consumidores. Los colorantes de origen natural (plantas o animales) quedan exentos de la certificación, no así los colorantes elaborados de forma artificial, los cuales se someten a un análisis profundo, respecto de su: composición, propiedades, cantidades y efectos agudos o crónicos sobre la salud. Una vez que se encuentran certificados los colorantes, éstos pueden ser utilizados. Sin embargo, si los colorantes llegasen a presentar algún efecto adverso, pueden someterse nuevamente a análisis y perder la certificación, por lo tanto, quedan prohibidos para el consumo. Al igual que en la EFSA, la FDA presenta un código específico para los nombres de los colorantes: “FD&C color n°x” por ejemplo, FD&C Azul n°1 conocido como azul brillante. (Grumezescu & Holban, 2018)

Y por último nos encontramos con el “*Codex Alimentarius*” correspondiente a la normativa alimentaria internacional escrito por la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) en conjunto con la organización mundial de la salud (OMS) el cual nos presenta una serie de información y normativas relacionadas a los alimentos elaborados, semielaborados y crudos, donde se considera la higiene, aditivos alimentarios, residuos de plaguicidas y de medicamentos, contaminantes, etiquetado y presentación, métodos de análisis y muestreo, e inspección y certificación de importaciones y exportaciones (OMS; FAO, s.f.). En el *Codex Alimentarius* podemos

encontrar la rotulación de los colorantes con un código numérico según el “sistema internacional de numeración” (SIN) y el nombre común, por ejemplo, N°102 Tartrazina (OMS; FAO, 2019).

En Chile existe el “Reglamento sanitario de los alimentos: Dto. N° 977/96”, el cual se formula a partir del *Codex Alimentarius*. En él podemos encontrar puntos similares a los ya mencionados en el párrafo anterior y además se incluyen los sellos de “Alto en” que indican una forma de etiquetas cuando se adiciona sodio, azúcares o grasas saturadas en mayor cantidad a lo deseable.

En el artículo 145 se menciona explícitamente que los colorantes permitidos para utilizarse en los alimentos son aquellos que aparezcan en la lista, los cuales se encuentran con la rotulación según el *Codex Alimentarius* (MINSAL, 2019). Algunos de estos colorantes permitidos se especifican en la tabla 6, el extracto completo de estos colorantes se puede encontrar en el Anexo 1:

Tabla 6
Colorantes artificiales permitidos

N° SIN	Nombre Codex	Sinónimos	Límite máximo
102	Tartrazina		BPF ¹
129	Rojo Allura AC	Rojo 40	BPF
132	Indigotina	Índigo Carmín Carmín de índigo	BPF
133	Azul brillante FCF		BPF
143	Verde sólido FCF	Verde FCF	BPF

Fuente: Adaptado de (MINSAL, 2019)

Las buenas prácticas de fabricación (BPF) según el *Codex Alimentarius* son:

Todos los aditivos alimentarios sujetos a las disposiciones de esta norma se utilizarán en condiciones de buenas prácticas de fabricación, que incluye lo siguiente:

- a) La cantidad de aditivo añadido a los alimentos se limitará al nivel más bajo posible necesario para lograr el efecto deseado;
- b) La cantidad del aditivo que se convierta en un componente del alimento como resultado de su uso en la en la fabricación, la transformación o el

¹ Buenas prácticas de fabricación

- envasado de un alimento y que no está destinada a físico u otro efecto técnico en el propio alimento, se reduzca en la medida de lo posible; y,
- c) El aditivo es de calidad alimentaria adecuada y se prepara y manipula de la misma manera como un ingrediente alimentario. (OMS; FAO, 2019)

Otro artículo importante para mencionar es el 136, pues en él se señala la forma de rotular los aditivos alimentarios, los cuales deben declararse de forma obligatoria en orden decreciente de proporciones según: a) nombre específico del *Codex alimentarius*, b) sinónimo correspondiente o c) nombre genérico de la familia a la cual pertenecen. También se menciona que aquellos aditivos que requieran ser colocados bajo rotulación destacada (porque puedan ser cancerígenos, producir alergias, entre otros) se debe realizar con letras en negrillas y de un tamaño mayor (MINSAL, 2019).

3.1.3. Colorantes artificiales

Se les denomina artificiales debido que su elaboración proviene de la fabricación química a partir de materias primas como hidrocarburos aromáticos, tales como tolueno, carbazol, benceno, junto con grupos químicos como nitro, amino y ácido sulfónico. Estos colorantes se pueden clasificar como primarios (tartrazina, azul brillante, amarillo crepúsculo, rojo allura, etc) y secundarios, los cuales corresponden a mezcla de colorantes, por ejemplo, el color verde se realiza mezclando Tartrazina y Azul brillante (Grumezescu & Holban, 2018).

Los colorantes mencionados en el párrafo anterior (Tartrazina y Azul brillante) se utilizan de forma común en alimentos como bebidas energéticas, dulce, gomas de mascar, entre otros. Estos colorantes según la normativa chilena vienen escritos en forma decreciente en la proporción y la Tartrazina al ser un colorante con diversos efectos secundarios producto de su consumo, viene destacado (con letra negrilla y mayúscula). Lo anterior se puede evidenciar en las imágenes 1, 2, 3 y 4 y la tabla 8.

Imagen 2

Pastillas de goma fantasía



Fuente: Elaboración propia

Imagen 1

Alimento para deportistas



Fuente: Elaboración propia

Imagen 4

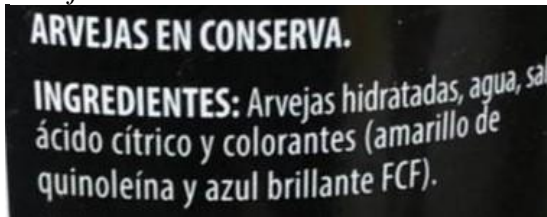
Goma de mascar sabores surtidos



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3

Arvejas en conserva



Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1. Azul brillante

Tabla 7

Datos generales Azul Brillante FCF

Fórmula molecular ^a	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$
Nombre IUPAC ^a	<i>disodium;2-[[4-[ethyl-[(3-sulfonatophenyl)methyl]amino]phenyl]-4-[ethyl-[(3-sulfonatophenyl)methyl]azaniumylidene]cyclohexa-2,5-dien-1-ylidene]methyl]benzenesulfonate</i>
Nombres comunes ^a	<ul style="list-style-type: none"> • Azul brillante FCF • Azul FD&C No.1
Masa molar ^a	792,9 g/mol

Máximo de absorción 630 nm

en agua ^a

Ingesta diaria admisible 0-6 mg/kg de peso corporal

(IDA) ^a

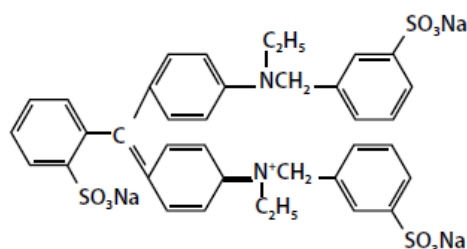
Características
generales

- Colorante sintético ^b
- Derivado del alquitrán de hulla ^b
- Da tonos verdes al mezclarse con tartrazina ^b
- No existen estudios concluyentes sobre su toxicidad y carcinogenicidad ^b
- Causa hipersensibilidad ^a
- Puede ser un potencial neurotóxico para el crecimiento de bebés menores de 6 meses. ^c
- Cuando se calienta hasta descomposición emite gases tóxicos como nitrógeno sódico ^a

Estructura e imagen
referencial

Figura 8

Estructura Azul Brillante FCF



Fuente: (Kobylewski & Jacobson, 2010)

Figura 9

Imagen referencial Azul Brillante FCF



Fuente: Ebay

Fuente: ^a (PubChem, s.f.). ^b (Grumezescu & Holban, 2018). ^c (Kobylewski & Jacobson, 2010)

3.1.3.2. Tartrazina

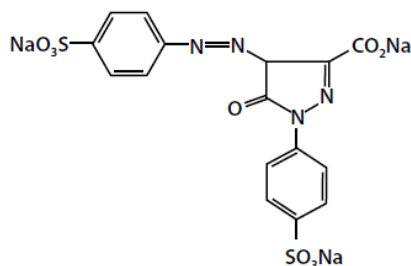
Tabla 8

Datos generales Tartrazina

Fórmula molecular ^a	C ₁₆ H ₉ N ₄ Na ₃ O ₉ S ₂
Nombre IUPAC ^a	<i>Trisodium;5-oxo-1-(4-sulfonatophenyl)-4-[(4-sulfonatophenyl)diazenyl]-4H-pyrazole-3-carboxylate</i>
Nombres comunes ^a	<ul style="list-style-type: none"> • Tartrazina • Amarillo FD&C No.5
Masa molar ^a	534,4 g/mol
Máximo de absorción en agua ^a	426 nm
Ingesta diaria admisible (IDA) ^a	0-10 mg/kg de peso corporal
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> • Colorante sintético ^b • Azo compuesto ^b • Soluble en agua ^b • Al unirse con la albúmina sérica y bovina forma un complejo que puede detener funciones fisiológicas ^b • Da tonos verdes al mezclarse con Azul brillante FCF^c • Después del rojo de allura, es el más utilizado ^b • Puede traer contaminantes por varios cancerígenos como Bencidina y 4-aminodifenil ^b • Produce hiperactividad e hipersensibilidad ^b

Estructura e imagen
referencial

Figura 10
Estructura Tartrazina



Fuente: (Kobylewski & Jacobson, 2010)

Figura 11
Imagen referencial Tartrazina



Fuente: Alibaba

Fuente: ^a (PubChem, s.f.). ^b (Grumezescu & Holban, 2018). ^c (Kobylewski & Jacobson, 2010)

4. CONTEXTO EDUCATIVO

4.1. Laboratorios y prelaboratorio

Las ciencias en general siempre se consideran como difíciles de aprender, lo cual puede estar relacionado con diversos factores como la transmisión de los conocimientos, los métodos que son utilizados para transmitirlos, las instalaciones disponibles y la naturaleza del aprender del estudiante (Johnstone, 1991), lo que puede generar un desinterés de parte de los estudiantes hacia la ciencia, en este caso la química. Para evitar estos problemas y lograr que los estudiantes generen un aprendizaje significativo de los conocimientos entregados por los docentes se propone contextualizar la ciencia a situaciones de la vida cotidiana, para mejorar el interés de los estudiantes por su aprendizaje (Moraga & Espinet, 2019)

Para el caso de la enseñanza de la Ley de Lambert – Beer, se realizará mediante la cuantificación de colorantes alimentarios en dulces comerciales Skittles, lo que, claramente entrega una contextualización a los estudiantes acerca de la enseñanza de esta

Ley, además que los introducen en el conocimiento acerca de las sustancias químicas que están presentes en sus comidas, como los son los colorantes.

Para que el aprendizaje se considere significativo existen tres principales criterios, siendo dos enfocados en las y los estudiantes y sólo uno al alcance de las y los docentes. El primer criterio apunta al aprendizaje previo que poseen las y los estudiantes en el ambiente del aprendizaje, el segundo criterio es el material significativo organizado por el docente, en nuestro caso las herramientas que ayuden a la enseñanza de la química y por último nos encontramos con el criterio en el cual es el estudiante el protagonista de tomar la elección de forma consciente de utilizar sus conocimientos previos para realizar una conexión con el aprendizaje nuevo y así generar un aprendizaje significativo. Esto nos muestra que las y los estudiantes son agentes activos en el proceso de aprendizaje y el docente sólo facilita las herramientas necesarias para generarlo (Bretz, Fay, Bruck, & Towns, 2013).

Con la finalidad de que los estudiantes no se centren en la observación de la ciencia de forma conceptual, surge el trabajo de laboratorio, donde se convierte en una forma en que los estudiantes puedan realizar la ciencia (Agustian & Seery, 2017). Los laboratorios además pueden ayudar a los estudiantes a reforzar conceptos y teorías, promover habilidades profesionales (para estudiantes de pregrado), desarrollar y mejorar habilidades técnicas y de manipulación, para aprender a interpretar, observar y manejar datos, entre otras cosas (Moozeh , Farmer, Tihanyi, Nadar, & Evans, 2019)

Sin embargo, muchas veces el trabajo de laboratorio puede generar una sobre carga de información en los estudiantes, sobre todo en situaciones donde los laboratorios no están directamente relacionados con la teoría que se está estudiando, generando una falta de motivación de parte de los estudiantes en la realización de las prácticas de laboratorio.

Según la teoría de la carga cognitiva el aprendizaje se puede ver gravemente obstaculizado en situaciones donde la memoria de trabajo se sobrecarga con datos entrantes (Agustian & Seery, 2017). Existen situaciones donde según los docentes los conocimientos que se intentan enseñar están organizados de una forma idónea para que se facilite el aprendizaje de los estudiantes, sin embargo, ocurre que el estudiante no logra discernir entre lo que es importante y lo que es apoyo a la teoría. Es por eso, que surgen instancias como los prelaboratorios que tienen la finalidad de minimizar la carga cognitiva que se puede generar en actividades prácticas.

Los prelaboratorios pueden ayudar a reducir la sobre carga de información e inducir el interés por tema a estudiar, logrando así una familiarización con los experimentos y

procedimientos, mejorando así la experiencia de aprendizaje. También pueden ser contenidos de apoyo, abordar dominios cognitivos y afectivos del conocimiento, permitiéndole a los estudiantes reflexionar acerca de la teoría relacionada (Moozeh , Farmer, Tihanyi, Nadar, & Evans, 2019). Estos prelaboratorios deben desarrollar habilidades como observar y clasificar, aplicación de conceptos y técnicas e interpretación de datos. Se pueden presentar de diversas formas, pero siempre con el fin de favorecer el aprendizaje como la utilización de: recursos en línea (Chittleborough, Mocerino, & Treagust, 2007), videos interactivos (Moozeh , Farmer, Tihanyi, Nadar, & Evans, 2019) y cuestionarios cortos (Spagnoli, Rummey, Man, Wills, & Clemons, 2019)

4.2. Enseñanza de los colorantes a nivel de pregrado

La enseñanza de los colorantes se ha ido incorporando a nivel de pregrado con el objetivo de hacer menos abstracto el aprendizaje de la química, considerando que son compuestos comunes en los alimentos. Lo anterior despierta cierta curiosidad en las y los estudiantes de dichos cursos, haciendo así más real los saberes que esto conlleva (Tami, Kristi; Popova , Anastasia; Proni, Gloria, 2017). Es importante mencionar que el proceso de enseñanza-aprendizaje de colorantes sintéticos o naturales va ligado a las técnicas que se pueden encontrar en la química, como, por ejemplo, la cromatografía (Sharma, McKone, & Markow , 2010) y la espectrofotometría UV-VIS (Rossi, Rizzo, Zimmerman, & Usher, 2012).

Considerando lo anterior, surge la siguiente interrogante: ¿Por qué aplicar técnicas como la cromatografía o la espectrofotometría UV-VIS en el estudio de los colorantes?, la respuesta a esto es simple, tal como se ha mencionado con anterioridad, la cantidad de colorantes en los productos alimentarios no es de conocimiento general, ya que, la normativa referente a las etiquetas solo menciona el orden según la cantidad, no así el valor de esta (MINSAL, 2019). Las técnicas ya mencionadas nos facilitan a cuantificar colorantes de interés en alimentos determinados, por ejemplo, en la publicación “*Extraction and Quantitation of FD&C Red Dye #40 from Beverages Containing Cranberry Juice: A College-Level Analytical Chemistry Experiment*” (Rossi, Rizzo, Zimmerman, & Usher, 2012) se describe la extracción mediante el método de extracción en fase sólida (SPE) del colorante Rojo Allura o Rojo 40 (según las distintas rotulaciones) de un jugo de arándanos. Luego de aplicar esta técnica, se cuantifica el colorante mediante un espectrofotómetro MicroLAB FS-522 502 nm permitiendo así conocer la cantidad de colorante por envase de jugo. El experimento resultó de manera satisfactoria, puesto que

se mostraron técnicas de gran ayuda para el curso de química analítica siendo estas bien recibidas por los y las estudiantes, sin embargo, el colorante quedó en un segundo plano considerando que no era el propósito del laboratorio enseñar sobre el Rojo 40 sino que el objetivo era la técnica de extracción y cuantificación (Rossi, Rizzo, Zimmerman, & Usher, 2012).

Otro punto importante para considerar además de la cuantificación de los colorantes mediante técnicas de colorimetría, es el estudio en profundidad de estos. Existen colorantes que en su estructura presentan el grupo azo de los cromóforos tales como el Rojo Allura AC, la Tartrazina y el Amarillo crepúsculo, los cuales se han sometido a constantes estudios (Kobylewski & Jacobson, 2010) producto de las posibles propiedades cancerígenas que presentan cada uno de ellos, pues el grupo azo es capaz de descomponerse en aminas aromáticas (Tami, Popova, & Proni, 2017) causales del cáncer a la vesícula (Rodríguez-Torres & Robles-Sainz, 2019). Es por esto, que según la normativa chilena los colorantes de este tipo deben ir rotulados de forma resaltada (MINSAL, 2019). Y aquí es donde volvemos a un punto similar al del párrafo anterior, sólo se escribe de forma resaltada en las etiquetas, pero ¿La población ha sido educada con la información que nos proveen las etiquetas?, ¿Sabemos realmente qué significa que algunos aditivos vengan de forma resaltada en la rotulación? Es por esto por lo que se debe dar mayor protagonismo al colorante al momento de enseñar, pero sin dejar de lado las técnicas que faciliten el estudio de ellos. Por ejemplo, en la publicación “*Engaging Students in Real-World Chemistry through Synthesis and Confirmation of Azo Dyes via Thin Layer Chromatography To Determine the Dyes Present in Everyday Foods and Beverages*” (Tami, Kristi; Popova, Anastasia; Proni, Gloria, 2017) un grupo de estudiantes se encargó de realizar la síntesis de dos azo-compuestos: Amarillo Crepúsculo y Tartrazina. Durante la experiencia se utilizaron reactivos como el ácido clorhídrico y el nitrito de sodio, ambos compuestos bastante peligrosos. También realizaron una comparación que se realizó entre los colorantes sintetizados y los que se pudieron obtener mediante cromatografía de capa fina de bebidas energéticas que contenían los mismos colorantes. Con ambas experiencias se logró demostrar que poner en contexto la enseñanza de la química tiene resultados bastante favorables, estas experiencias despertaron la curiosidad en las y los estudiantes y las ganas de profundizar en los temas vistos (Tami, Kristi; Popova, Anastasia; Proni, Gloria, 2017).

En resumen, en relación con los colorantes consideramos que es de suma importancia conocer la cantidad de cada uno de ellos en los alimentos y el nivel de

toxicidad que puedan presentar, por ello se deben fortalecer los métodos de enseñanza en cursos como química analítica o análisis instrumental a nivel de pregrado.

4.3. Enseñanza de la Espectroscopía a nivel de pregrado

A nivel de pregrado las diversas carreras del área química incluyen la enseñanza de variadas técnicas instrumentales y análisis, una de ellas y con gran importancia para nuestra investigación es la espectrofotometría de UV-VIS, técnica utilizada para medir sustancias que absorben luz en el espectro UV o en el visible, donde los datos entregados (generalmente absorbancia) se pueden trabajar a través de la *Ley de Lambert-Beer*, por lo tanto se puede conocer la concentración de un analito presente en una muestra determinada.

Es muy común al momento de enseñar técnicas instrumentales en los laboratorios como la recién mencionada que se utilicen reactivos muy lejanos a la cotidianeidad de las y los estudiantes, lo que termina provocando un desinterés en ellos (Tami, Popova , & Proni, 2017). Un ejemplo de ello se puede expresar en la determinación simultánea de analitos con soluciones de $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ y $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ donde a los estudiantes se les entrega la solución problema y ellos deben determinar la concentración de cada uno de los analitos mediante distintas herramientas, una de ellas es facilitarles el espectrofotómetro, sin embargo, la experiencia cuenta con alrededor de tres horas y se deben aplicar conocimientos bastante avanzados (Pandey, McHale, Coym, & Acree Jr, 1998). Otro ejemplo de ello se encuentra en la publicación “*Coloring a Superabsorbent Polymer with Metal Ions*” (Chen & Yaung, 2009), la cual nos presenta la coloración de polímeros con diferentes soluciones iónicas como CoCl_2 y FeCl_2 , donde las y los estudiantes utilizan la espectrofotometría para analizar las muestras, con los datos obtenidos se aplica la Ley de Lambert-Beer mediante el método de mínimos cuadrados (Chen & Yaung, 2009). Así, podemos encontrar una lista de experiencias que involucran a la espectrofotometría en distintas áreas, en estudios cinéticos (Lehr, y otros, 2013) , análisis de porcentaje de agua (Dooling, Bodenstedt, & Page, 2013) y lo más cercano a nuestra investigación, determinación de Fe (II) en *Gall Nut* (Opstal, Nahlik, Daebenmire, & Fitch, 2018).

Por ello, nuestro principal objetivo de la investigación es generar una propuesta en la cual los y las estudiantes sientan una cercanía durante la enseñanza del método, de forma que se puedan sentir motivados y generen una consciencia respecto con los alimentos que consumen diariamente, además de fomentar un trabajo indagatorio y autónomo. Para esto, se utilizarán alimentos que contengan el color verde, pues como ya

se mencionó anteriormente, éste se produce de la mezcla de Azul brillante y tartrazina, ambos colorantes que presentan daños para la salud humana (Kobylewski & Jacobson, 2010).

MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación consta de una etapa, la cual se trabajó de forma cuantitativa y cualitativa respondiendo así a los objetivos planteados. Puesto que se trata de la enseñanza de la Ley de Lambert-Beer, los datos proporcionados (Sánchez, 2019) corresponden a absorbancias, los cuales facilitaron la realización del material propuesto.

Retomando la pregunta inicial: ¿Cómo diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la Ley de Lambert-Beer generando un contexto a través de colorantes alimentarios para el curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA)? Se desarrolla una propuesta didáctica que tiene como objetivo principal la determinación de concentración de los colorantes Azul Brillante FCF y Tartrazina en dulces de color verde de la marca *Skittles* a través de la Ley de Lambert-Beer utilizando la espectrofotometría de UV-Vis. El desarrollo del laboratorio cuenta con tres sesiones y con ello prelaboratorios de apoyo, se espera así facilitar el entendimiento de la aplicación de la Ley de Lambert-Beer entregando un contexto y aplicando lo aprendido en los cursos anteriores.

Recursos virtuales en los prelaboratorios

Ha sido comprobado que los recursos virtuales favorecen el entendimiento y preparación previa de los laboratorios, con ellos se ha visto que los estudiantes son capaces de participar más durante el laboratorio y sentirse con más confianza, específicamente al momento de realizar un laboratorio instrumental. Al observar videos y realizar cuestionarios previos al laboratorio ayuda a reducir la ansiedad de los estudiantes asociado a la utilización de nuevos equipos o la aplicación de ciertas técnicas. (Jolley, Wilson, Kelso, O'Brien, & Mason , 2016).

Los prelaboratorios de la propuesta didáctica se confeccionaron utilizando recursos virtuales, específicamente videos elaborados en “Powtoon”², los cuales se publicaron en “Youtube”³ y se añadieron preguntas interactivas a través de “EDpuzzle”⁴. Todos los recursos se encuentran en la web con una modalidad gratuita y otra de pago.

² <https://www.powtoon.com/>

³ <https://www.youtube.com/>

⁴ <https://edpuzzle.com/>

Laboratorio: Espectrofotometría UV-Vis

A continuación, se detalla el desarrollo de las sesiones del laboratorio de “Espectrofotometría UV-Vis” del curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) impartido el séptimo semestre de la carrera de “Licenciatura en educación química y pedagogía en química con menciones” correspondiente a la primera parte del curso, específicamente unidad 1, la cual contempla la enseñanza de la Ley de Lambert-Beer (ver Anexo 2):

SESIÓN N° 1 DE LABORATORIO

En la primera sesión de laboratorio se espera que las y los estudiantes apliquen conocimientos de los cursos anteriores (Química analítica I y II), los cuales son fundamentales para la realización del laboratorio. Algunos de esos conocimientos tienen relación con las etapas del análisis cuantitativo desde la toma de muestras hasta la separación de sustancias interferentes (Skoog & West, Introducción a la química analítica, 2002).

En esta sesión también se expondrá el contexto para proceder al proceso de enseñanza-aprendizaje de la Ley de Lambert-Beer y con ello la utilización del espectrofotómetro UV-Vis. Sin embargo, antes de detallar el procedimiento a realizar, las y los estudiantes deberán realizar el prelaboratorio n°1, el cual se describe a continuación:

PRELAB N°1: TRATAMIENTO DE LA MUESTRA (VER ANEXO 3)

Para acceder al video interactivo de la sesión n°1 se debe ingresar al siguiente enlace: <https://edpuzzle.com/media/61132503d45580413e30e0d3>. En él se detalla el contexto de la muestra a trabajar y el pretratamientos que debe tener la muestra (dulce verde) para su posterior análisis. El video consta de cinco preguntas de análisis las cuales tienen relación con el entendimiento de los procesos a realizar. El extracto del video interactivo realizado a través de EDpuzzle se encuentra en el anexo 6:

- Pregunta 1: La pregunta surge luego de detallar la muestra con la cual se trabajará, en este caso el dulce verde de la marca “Skittles” y apunta al tratamiento netamente de la muestra. Se espera que las y los estudiantes analicen y recuerden los métodos de extracción del analito de una muestra sólida.

Figura 12

Pregunta 1 video interactivo

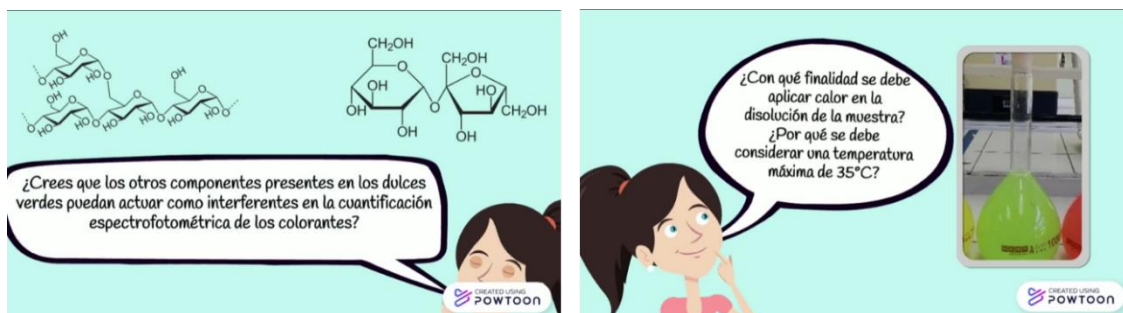


Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 2 y 4: Estas preguntas están sumamente relacionadas entre sí, la pregunta 2 (izquierda) se realiza con el propósito que las y los estudiantes se informen de la muestra con la cual trabajarán y la pregunta 4 (derecha) surge con el objetivo que logren identificar interferentes como por ejemplo las materias grasas existentes.

Figura 13

Preguntas 2 (izquierda) y pregunta 4 (derecha) video interactivo

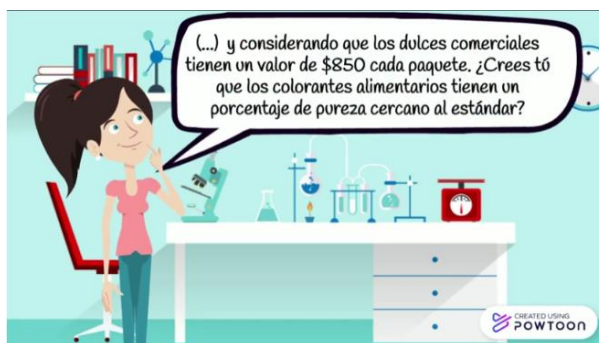


Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 3: Luego de contextualizar el valor de los estándares analíticos de los colorantes en cuestión, se busca que las y los estudiantes se cuestionen sobre los alimentos que se consumen a diario, con el objetivo de contextualizar el aprendizaje.

Figura 14

Pregunta 3 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 5: Esta pregunta se relaciona principalmente con el proceso de eliminación de interferentes. Se espera que las y los estudiantes sean capaces de identificar qué tipo de interferentes podemos encontrar y los errores que puede ocasionar el que estos interferentes queden en la solución con los analitos de interés.

Figura 15

Pregunta 5 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

Una vez realizado el prelaboratorio se espera que las y los estudiantes presenten una mejor participación durante la realización de la primera sesión del laboratorio de Espectrofotometría UV-Vis la cual se resume a continuación (las instrucciones generales se pueden encontrar en el Anexo 8):

1. **Toma de muestra:** Cada grupo de laboratorio tendrá a disposición un paquete de dulces “Skittles” del cual deberán extraer todos los dulces de color verde.
2. **Preparación de la muestra sólida:** Debido que el colorante se encuentra principalmente en la capa exterior del dulce, las y los estudiantes no deben realizar ninguna preparación para su disolución.

3. **Análisis gravimétrico:** A través de una balanza analítica, se deben masar los dulces de cada uno de los paquetes. Se deben masar en su totalidad y de forma independiente cada uno de ellos.
4. **Disolución de la muestra:** Durante el prelaboratorio, las y los estudiantes deberían buscar los métodos de extracción para una muestra sólida para posteriormente disolver el dulce para la extracción de los colorantes presentes.
5. **Separación de interferentes:** Para separar los interferentes de los analitos de interés se utilizarán dos procesos de filtrados y así cerciorarse de eliminar la mayor cantidad de interferentes presentes y obtener una disolución que se pueda medir en el espectrofotómetro.

SESIÓN N° 2 DE LABORATORIO

En la segunda sesión de laboratorio se espera que las y los estudiantes continúen con la aplicación del método cuantitativo con los pasos desde las curvas de calibración hasta la medición de las muestras. Para esta sesión se prepararon dos prelaboratorios, siendo el primero con el objetivo de activar los conocimientos sobre la construcción de las curvas de calibración y el segundo con el objetivo de realizar las mediciones en el espectrofotómetro del laboratorio.

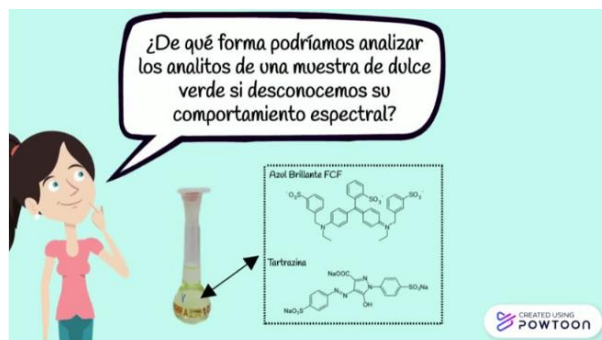
PRELAB N°2 PARTE 1: CURVAS DE CALIBRACIÓN (VER ANEXO 4)

Para acceder al video interactivo de la sesión n°2 parte 1 se debe ingresar al siguiente enlace: <https://edpuzzle.com/media/61132534eacdcd418487254b>. En él se detallan conceptos de cursos anteriores importantes para conseguir medir las muestras. El video consta de cinco preguntas, las cuales tienen relación con el entendimiento de la realización de las curvas de calibración. El extracto del video realizado a través de EDPuzzle se encuentra en el anexo 6:

- Pregunta 1: Se espera que las y los estudiantes sean capaces de identificar que, para conocer el comportamiento de los analitos presentes, debemos analizar como primera instancia el estándar analítico.

Figura 16

Pregunta 1 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 2: La pregunta tiene relación con el prelaboratorio n°1 y el contexto expuesto en él. Se espera que las y los estudiantes reflexionen sobre la importancia de utilizar reactivos con alta pureza.

Figura 17

Pregunta 2 video interactivo

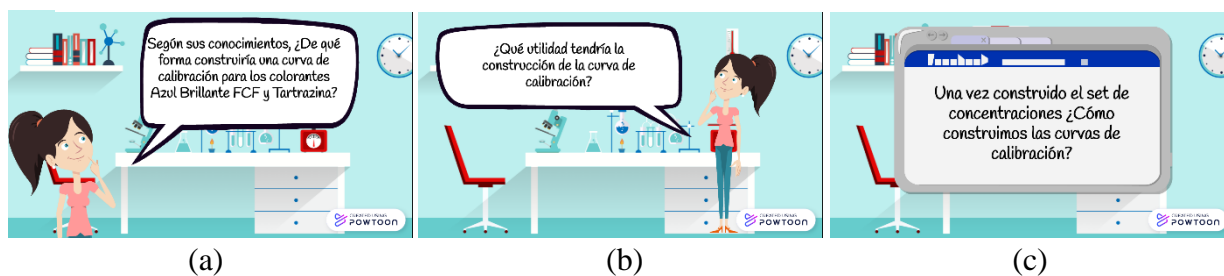


Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 3, 4 y 5: En los cursos de Química Analítica I y II se aprendió a construir curvas de calibración y la utilidad de éstas al momento de realizar análisis cuantitativos. Se espera que las y los estudiantes sean capaces de aplicar lo aprendido y así puedan realizar una construcción de curvas de calibración lo más eficientes considerando el gasto de material y el comportamiento de los colorantes a estudiar.

Figura 18

Pregunta 3 (a), pregunta 4 (b) y pregunta 5 (c) video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

PRELAB N°2 PARTE 2: MEDICIONES (VER ANEXO 4)

Para acceder al video interactivo de la sesión n°2 parte 2 se debe ingresar al siguiente enlace: <https://edpuzzle.com/media/605170fd8c1cc34263c4c47a>. En él se detalla el funcionamiento del espectrofotómetro UV-Vis a nivel teórico y las mediciones que se deben realizar en él en base a los procedimientos realizados con anterioridad. En este punto nos encontramos en la “Medición de la propiedad del analito” o “Terminación del análisis” según las etapas del análisis cuantitativo (Skoog & West, Introducción a la química analítica , 2002). El video consta de tres preguntas y el extracto del video realizado a través de EDpuzzle se encuentra en el anexo 6:

- Pregunta 1: Como pregunta inicial se espera activar los conocimientos sobre la cátedra del espectrofotómetro, se espera que las y los estudiantes sean capaces de evidenciar que el instrumento a trabajar nos entrega datos de absorbancia y transmitancia según lo necesitemos.

Figura 19

Pregunta 1 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 2: La pregunta se relaciona netamente con la utilización del instrumento, puesto que nos encontramos trabajando con sustancias coloreadas, se espera que las y los estudiantes sean capaces de investigar qué sustancia podría funcionar como blanco.

Figura 20

Pregunta 2 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 3: En esta pregunta se espera que las y los estudiantes conociendo el funcionamiento del espectrofotómetro UV-Vis y conociendo los procedimientos realizados, tengan en consideración los datos que requieren para lograr obtener la concentración de los analitos presentes en la muestra a través de la Ley de Lambert-Beer vista en cátedra.

Figura 21

Pregunta 3 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

Los prelaboratorios se deben realizar uno seguido del otro, pues ambos contemplan el trabajo de la sesión n°2 completa. Se espera que, con ellos, las y los estudiantes tengan nociones de cómo se debe trabajar luego de tener la muestra lista (sesión n°1). A continuación, se resume el trabajo a realizar en esta sesión (el detalle completo se encuentra en el anexo 8):

1. **Mediciones:** Según las etapas del método cuantitativo en este paso se procede realizar la calibración del método y las mediciones:
 - a. **Curvas de calibración:** Durante el prelaboratorio n°1 parte 1 se les mostró a las y los estudiantes el significado de las curvas de calibración y la confección de ellas. A lo largo del primer bloque de la sesión 2 se espera que las y los estudiantes puedan confeccionar las curvas de calibración a partir de una solución de partida con los estándares analíticos de los colorantes Azul Brillante FCF y Tartrazina.
 - b. **Mediciones:** Una vez generadas las soluciones de la curva de calibración se procederá a realizar las mediciones correspondientes para la posterior aplicación de la Ley de Lambert-Beer. Durante este proceso se realizarán las mediciones de los máximos de absorción de los estándares y del dulce verde, luego la medición de las curvas de calibración y se termina con la medición de la muestra, siendo estas dos últimas mediciones en las longitudes de onda obtenidas en la primera medición.

SESIÓN N° 3 DE LABORATORIO

En la tercera y última sesión de laboratorio se espera que las y los estudiantes apliquen la Ley de Lambert-Beer a través de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en la sesión n°2. Para esta sesión se prepararon dos prelaboratorios, siendo el primero netamente teórico y el segundo con las consideraciones que deben tomar al momento de realizar el cálculo de los resultados.

PRELAB N°3 PARTE 1: LEY DE LAMBERT-BEER (VER ANEXO 5)

Para acceder al video interactivo de la sesión n°3 parte 1 se debe ingresar al siguiente enlace: <https://edpuzzle.com/media/605170ecd506c6426ac79c2e>. En él se detalla el fundamento teórico de la Espectroscopía y la Ley de Lambert-Beer. Se realiza este video con el objetivo que las y los estudiantes relacionen los conceptos vistos en la cátedra del curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) y los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en la sesión n°2 de laboratorio. El video no presenta preguntas, sin embargo, es fundamental para la realización de esta tercera sesión de laboratorio.

PRELAB N°3 PARTE 2: LEY DE LAMBERT-BEER (VER ANEXO 5)

Para acceder al video interactivo de la sesión n°3 parte 2 se debe ingresar al siguiente enlace: <https://edpuzzle.com/media/60527f82e5fd7742cd5248ca>. En él se detallan las consideraciones al momento de construir las curvas de calibración y los errores que se pueden cometer. También se expone el significado de los datos que se trabajaran en la aplicación de la Ley de Lambert-Beer. El video consta de tres preguntas y el extracto de las preguntas realizado a través de EDpuzzle se encuentra en el anexo 6:

- Pregunta 1: Se espera que las y los estudiantes utilicen la información entregada en el prelaboratorio de la sesión n°3 parte 1, específicamente que sepan que los datos que se deben utilizar se deben encontrar en el espectro visible.

Figura 22

Pregunta 1 video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

- Pregunta 2 y 3: Se espera que las y los estudiantes con la pregunta 2 sean capaces de identificar según los resultados obtenidos que la Tartrazina no absorbe en la longitud de onda del máximo del Azul Brillante FCF (629 nm) y, por lo tanto, tendrá una pendiente con valor 0. La pregunta 3 por su parte también tiene relación con la curva de calibración, sin embargo, a un nivel de los errores que se pueden cometer al utilizar valores que entren dentro del error, por ejemplo, los valores de absorbancia muy bajos entran en el error del instrumento, lo cual provocará un coeficiente de correlación muy bajo y por consiguiente una mala calibración.

Figura 23

Pregunta 2 (izquierda) y pregunta 3 (derecha) video interactivo



Fuente: Extraído de: Video interactivo

Los prelaboratorios se deben realizar uno seguido del otro, pues ambos contemplan el trabajo de la sesión n°3 completa. Se espera que, con ellos, las y los estudiantes sepan trabajar con los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas en la sesión de laboratorio n°2.

Como apoyo a los prelaboratorios de la última sesión se desarrollaron una serie de 3 tutoriales en los cuales se expone el tratamiento de datos en el software de hojas de cálculo Excel, cabe recalcar que los datos pueden variar dependiendo de las mediciones de cada uno de las y los estudiantes, sin embargo, los procedimientos siguen siendo los mismos.

TUTORIAL N°1: MÁXIMOS DE ABSORCIÓN

Para acceder al video tutorial se debe ingresar al siguiente enlace: <https://youtu.be/DLxz6lTbMok> y para acceder al documento se debe escanear el siguiente código QR:

Figura 24

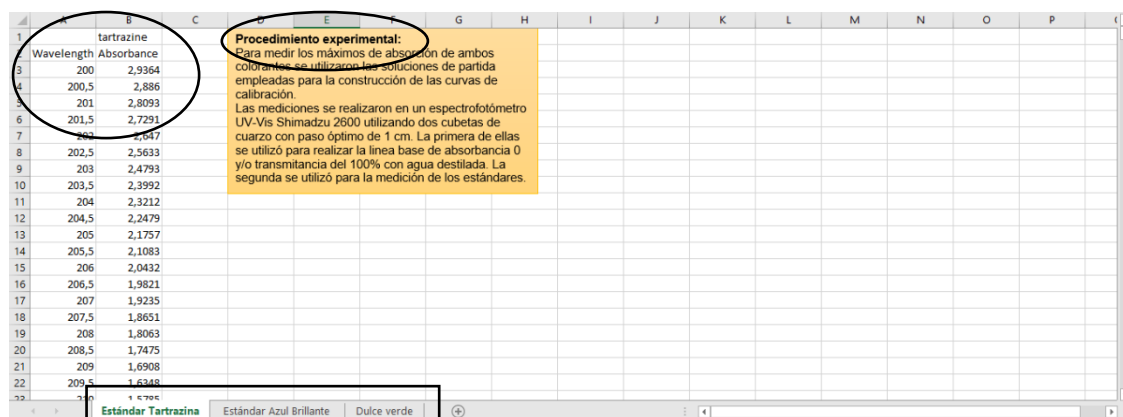
Código QR "Máximos de Absorción"



Fuente: Generado en: <https://www.codigos-qr.com/generador-de-codigos-qr/>

El documento presenta los datos obtenidos a partir de la medición de las absorbancias de los estándares analíticos de los colorantes (Azul Brillante FCF y Tartrazina) y una de las muestras de dulce verde. Además, se presenta el procedimiento experimental para la obtención de cada uno de los datos:

Figura 25
Organización de la hoja de cálculo



Fuente: Extraído de: Documento “Máximos de absorción”

En el caso del video, este presenta todo el procedimiento que se debe realizar para obtener los máximos de absorción del colorante Tartrazina, se explica detalladamente con el objetivo que las y los estudiantes sean capaces de realizar el mismo procedimiento para el colorante Azul Brillante FCF y las muestras de dulces.

TUTORIAL N°2: CURVAS DE CALIBRACIÓN

Para acceder al video tutorial se debe ingresar al siguiente enlace: <https://youtu.be/3Amphr1UXkQ> y para acceder al documento se debe escanear el siguiente código QR:

Figura 26
Código QR "Curvas de calibración"



Fuente: Generado en: <https://www.codigos-qr.com/generador-de-codigos-qr/>

El documento presenta los datos obtenidos a partir de la medición de los sets de concentraciones de las curvas de calibración de Azul Brillante FCF y Tartrazina a longitudes de onda específicas (máximos de absorción). Se encuentran además los procedimientos experimentales para la realización de las curvas de calibración para ambos colorantes:

Figura 27
Organización de la hoja de cálculo

N°	Concentración/ mol L ⁻¹	Absorbancia λ 427 nm	Concentración/ mol L ⁻¹	Absorbancia λ 629 nm
1	5E-07	0,004	5E-07	0,0577
2	1E-06	0,005	1E-06	0,1138
3	5E-06	0,018	2E-06	0,2260
4	5E-05	0,181	3E-06	0,3380
5	1E-04	0,368	5E-06	0,5620

Fuente: Extraído de: Documento “Curvas de calibración”

En el caso del video, este presenta todo el procedimiento que se debe realizar para obtener el comportamiento lineal de ambos colorantes y así poder realizar los cálculos pertinentes y resolver la problemática. Se presenta el procedimiento en específico para el colorante Azul Brillante FCF y con ello se espera que se realice el mismo procedimiento para el colorante Tartrazina.

TUTORIAL N°3: CÁLCULOS

Para acceder al video tutorial se debe ingresar al siguiente enlace: <https://youtu.be/NbN8vliHVI0> y para acceder al documento se debe escanear el siguiente código QR:

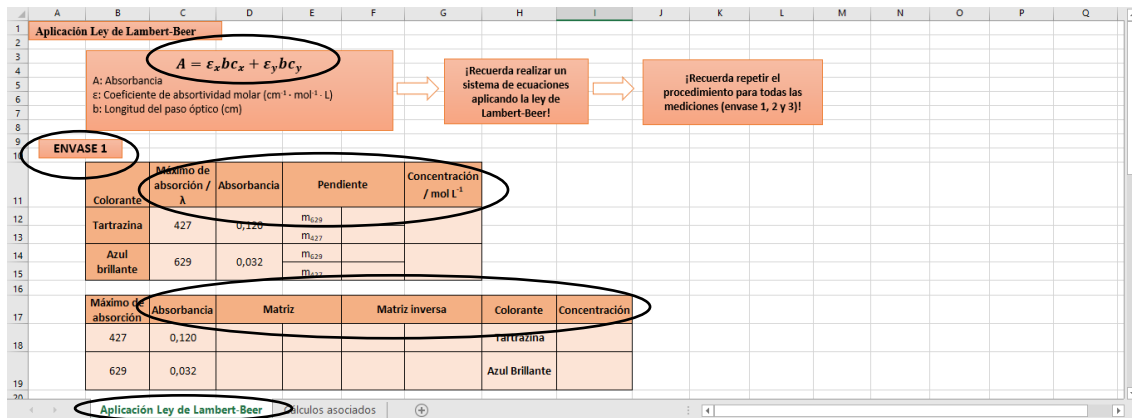
Figura 28
Código QR "Cálculos"



Fuente: Generado en: <https://www.codigos-qr.com/generador-de-codigos-qr/>

El documento se divide en dos secciones, la primera de ellas corresponde a la aplicación de la Ley de Lambert-Beer y se encuentra en la primera pestaña. En ella se detalla la ecuación a utilizar y la información necesaria para aplicarla. Se realiza la separación del procedimiento para todas las muestras de dulces, sin embargo, los datos obtenidos a través de los tutoriales sólo corresponden al primer envase de dulces.

Figura 29
Organización de la hoja de cálculo para la primera sección



Fuente: Extraído de: Documento “Cálculos”

En el caso del video, esta primera parte detalla la confección y posterior resolución del sistema de ecuaciones presente al momento de aplicar la Ley de Lambert-Beer. Finalmente se obtiene como resultado la concentración de los colorantes de interés. Se espera que las y los estudiantes repitan el mismo procedimiento para todas las muestras.

La segunda sección corresponde a los cálculos asociados y el máximo de información que se puede obtener a partir de las concentraciones obtenidas en la primera sección. Se encuentra en la segunda pestaña del documento y podemos encontrar en ella todas las ecuaciones necesarias y los cálculos a realizar, incluyendo los datos de la gravimetría del primer envase. Al igual que la primera sección, se encuentra una división entre los cálculos asociados a cada una de las muestras de dulces.

Figura 30

Organización de la hoja de cálculo para la segunda sección

The spreadsheet shows the following structure:

- Formulas Section (Rows 3-10):** Contains mathematical formulas for calculating molar concentration (n = m/MM, C = n/V), percentage of dye, and mass of dye per 1g of candy. Definitions for variables n, m, MM, C, and V are provided in rows 6-9.
- Summary Table (Rows 11-12):** A table with columns for 'Envase', 'Masa dulces por envase / g', and 'Masa dulce / g'. It lists three samples and their average values.
- Data Table (Rows 13-15):** A table with columns for 'Colorante', 'Concentración / mol L⁻¹', 'Cantidad de sustancia / mol', 'Masa molar / g mol⁻¹', 'Masa colorante / g', 'Masa colorante / mg', 'Masa colorante por dulce / g', 'Masa colorante por dulce / mg', 'Masa de colorante en 1g / g', and '% de colorante por dulce'. It includes data for Tartrazina and Azul Brillante.

Fuente: Extraído de: Documento “Cálculos”

En el caso del video, esta segunda parte detalla la aplicación de cada una de las ecuaciones expuestas y las conversiones de unidades según corresponda. Con el objetivo de tener un mayor detalle de la información entregada a través de la aplicación de la Ley de Lambert-Beer, se realizan una serie de cálculos. Se espera que las y los estudiantes apliquen el mismo procedimiento para todas las muestras.

A continuación se resume el trabajo a realizar en esta sesión de laboratorio (el detalle completo se encuentra en el anexo 8):

- 1. Cálculos e interpretación de los resultados:** Esta etapa corresponde a la última de las etapas del análisis cuantitativo, en la cual luego de realizar todas las etapas anteriores, se podrá resolver la problemática expuesta. Los resultados que se deben obtener en este laboratorio es la concentración de los colorantes alimentarios artificiales Azul Brillante FCF y Tartrazina presentes en dulces verdes de la marca “Skittles”. Para conseguir dichos resultados los cálculos a realizar tienen relación principalmente con la aplicación de la Ley de Lambert-Beer.
- 2. Utilización de tutoriales:** Como apoyo a la realización de los cálculos se deberán utilizar la serie de los tres tutoriales descritos anteriormente. A través de los tutoriales se tendrá que aplicar la Ley de Lambert-Beer y luego obtener cálculos relacionados a la concentración de los colorantes como lo es la masa de los colorantes por dulce en gramos, masa de colorante por envase, entre otros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La propuesta didáctica planteada en este trabajo está diseñada para ser aplicada para el curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA), donde las y los estudiantes poseen conocimientos previos adquiridos desde los cursos de Química Analítica I y II que ayudará con la comprensión del trabajo de laboratorio. Para la enseñanza de espectroscopía en específico la Ley de Lambert – Beer se plantearon actividades de las cuales las y los estudiantes puedan llevarlo a su vida cotidiana, contextualizando el aprendizaje y así generar aprendizajes significativos en donde por ejemplo podrán tomar decisiones sobre el consumo de los alimentos teniendo en consideración la utilización de los colorantes en la mayoría de los alimentos envasados.

A través de la Ley de Lambert-Beer es posible conocer la concentración de una sustancia coloreada, en este caso, de colorantes alimentarios, es por ello que se realiza una propuesta que involucra a dos colorantes muy reconocidos como lo es el Azul Brillante FCF y la Tartrazina. La propuesta consta de tres sesiones de laboratorios para las cuales se diseñaron videos de prelaboratorios con la finalidad de minimizar la carga cognitiva que se produce en el trabajo de laboratorio. Con ello, también se diseñaron videos de tutoriales para el manejo de los datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas a lo largo de las sesiones. Los videos se encuentran acompañados de documentos en Excel en los cuales se podrán trabajar de manera óptima los datos y así obtener un análisis en mayor profundidad.

La propuesta está diseñada para ser aplicada en instalaciones las cuales se tengan a disposición los reactivos y el equipo de medición, sin embargo, frente a las adversidades que esto pueda presentar, la propuesta puede ser aplicada con otros reactivos, teniendo en consideración por ejemplo que los dulces “*Skittles*” presentan diversos colores y con ello diversos colorantes, por lo que la propuesta se puede adaptar dependiendo de la disponibilidad de reactivos (colorantes) en el laboratorio, pues el procedimiento es muy similar y la Ley de Lambert-Beer se aplica exactamente de la misma manera. Otra adversidad con la cual podemos encontrarnos es considerando el caso que el equipo no esté disponible para las mediciones de las absorbancias, de ser así el caso, los documentos presentes en los videos tutoriales presentan datos reales con procedimientos experimentales reales, los cuales se pueden utilizar y facilitar para favorecer la enseñanza de la Ley de Lambert-Beer en la unidad de espectroscopía.

Tomando en consideración lo último mencionado, a continuación, se detallarán los resultados reales que se obtienen al momento de utilizar los datos que se encuentran en

los documentos expuestos en el marco metodológico y además se añadieron los datos del resto de las muestras. Cabe mencionar, que los datos utilizados fueron obtenidos con anterioridad a este trabajo de tesina, sin embargo, el trabajo de los datos con los cuales se obtienen los máximos de absorción, las curvas de calibración y la aplicación de la Ley de Lambert-Beer fue manejado de manera autónoma.

Para que los gráficos de los datos trabajados se vean más prolijos y ayude al entendimiento de ellos, se utilizó un software informático llamado “OriginLab” el cual es un software de pago que funciona muy similar a Excel con las denominadas “hojas de cálculo”, sin embargo, al momento de aplicar la propuesta didáctica, las y los estudiantes deberán utilizar las hojas de cálculo de Excel. Cabe mencionar también que la parte 3 relacionada a la aplicación de la Ley de Lambert-Beer se utilizaron los documentos en Excel adjuntados para la obtención de los datos.

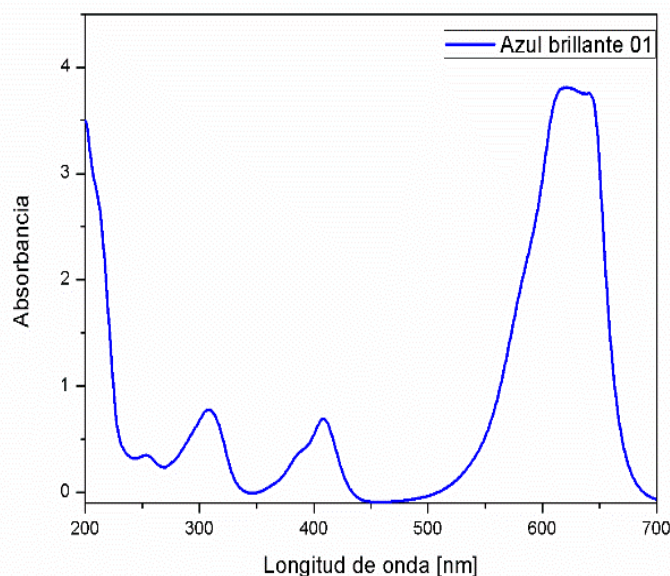
1. MÁXIMOS DE ABSORCIÓN

Estándares analíticos

El gráfico 1 corresponde al colorante Azul Brillante FCF y el gráfico 2 es el colorante Tartrazina.

Gráfico 1

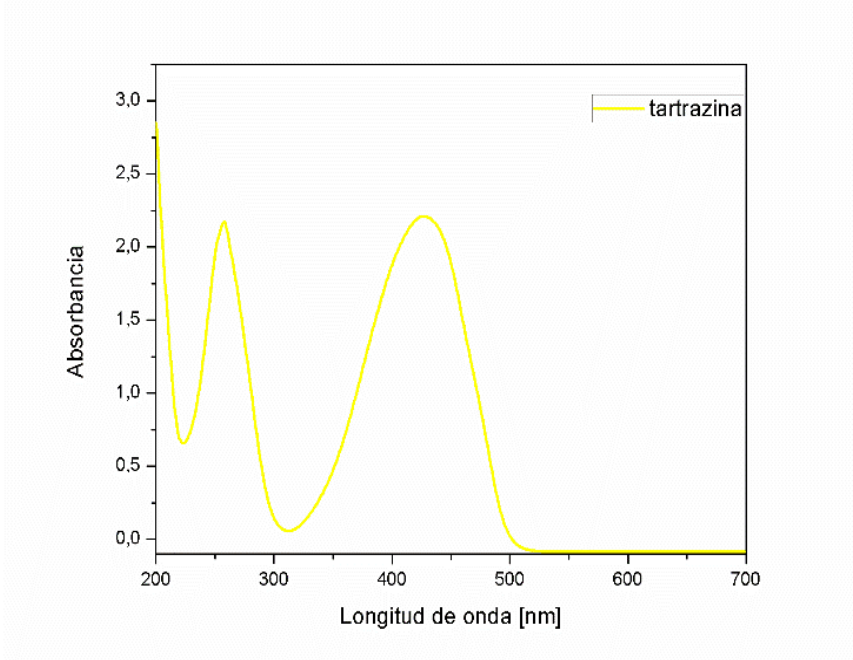
Máximo de absorción Azul Brillante FCF



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2

Máximo de absorción Tartrazina



Fuente: Elaboración propia

Las longitudes de onda máxima obtenidas en la medición de cada colorante presente en el dulce verde son:

Tabla 9

Longitudes de onda máximas en nanómetros para colorantes Azul Brillante FCF y Tartrazina

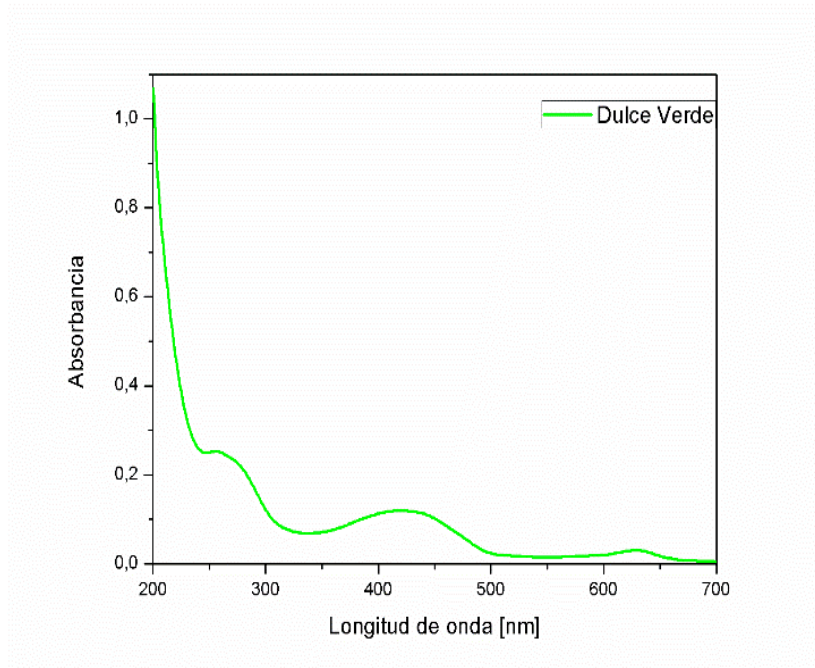
Colorantes	λ máx. / nm
Azul Brillante FCF	629
Tartrazina	427

Fuente: Elaboración propia

Dulce Verde

Gráfico 3

Espectro de absorción Dulce Verde

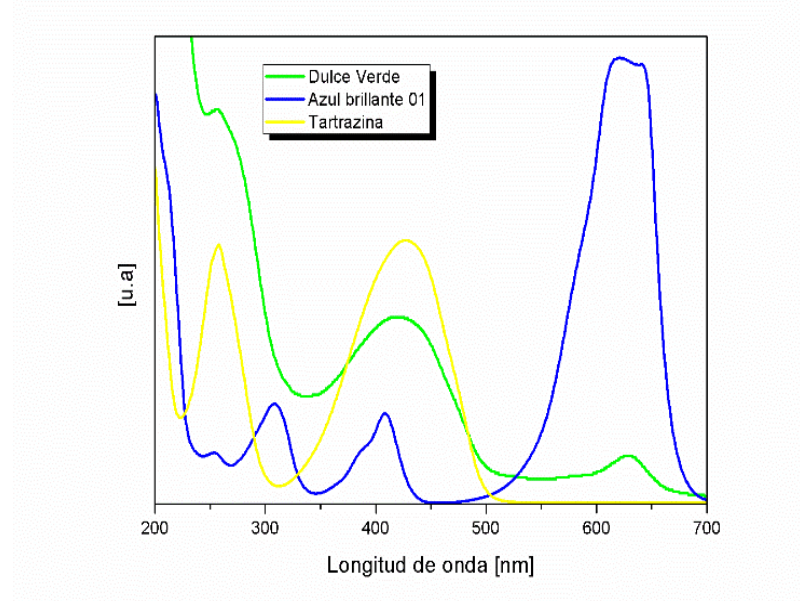


Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3 nos muestra los máximos de absorción del dulce verde, el cual presenta tres máximos de absorción resaltados, los cuales al compararlos con los colorantes Azul Brillante FCF y Tartrazina concuerdan dos de ellos, tal como se muestra en el gráfico 4.

Gráfico 4

Espectros de absorción dulce verde y colorantes Azul Brillante FCF y Tartrazina



Fuente: Elaboración propia

2. CURVAS DE CALIBRACIÓN

Azul Brillante FCF

Se realizaron dos curvas de calibración para el colorante Azul Brillante FCF considerando los dos máximos de absorción que presenta el dulce verde. La primera curva es para una absorbancia de 427 nm (gráfico 5), la cual corresponde al máximo de absorción de la Tartrazina y la segunda es para una longitud de 629 nm (gráfico 6), la cual es la longitud máxima del Azul brillante.

Tabla 10

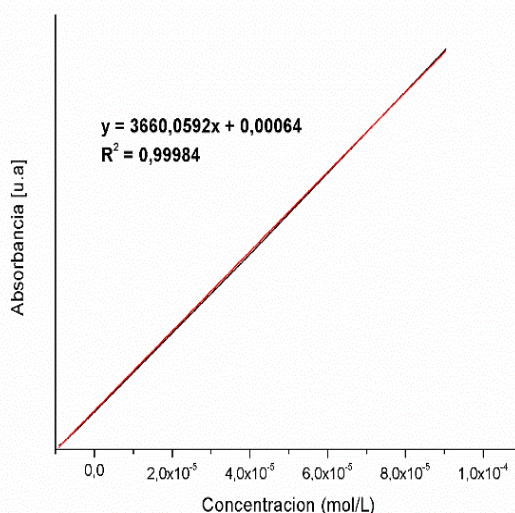
Absorbancias Azul Brillante FCF para las longitudes de onda 427 nm y 629 nm

N°	Concentración (mol L ⁻¹)	Abs. λ 427 nm	Concentración (mol L ⁻¹)	Abs. λ 629 nm
1	5×10 ⁻⁷	0,004	5×10 ⁻⁷	0,0577
2	1×10 ⁻⁶	0,005	1×10 ⁻⁶	0,1138
3	5×10 ⁻⁶	0,018	2×10 ⁻⁶	0,226
4	5×10 ⁻⁵	0,181	3×10 ⁻⁶	0,338
5	1×10 ⁻⁴	0,368	5×10 ⁻⁶	0,562

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5

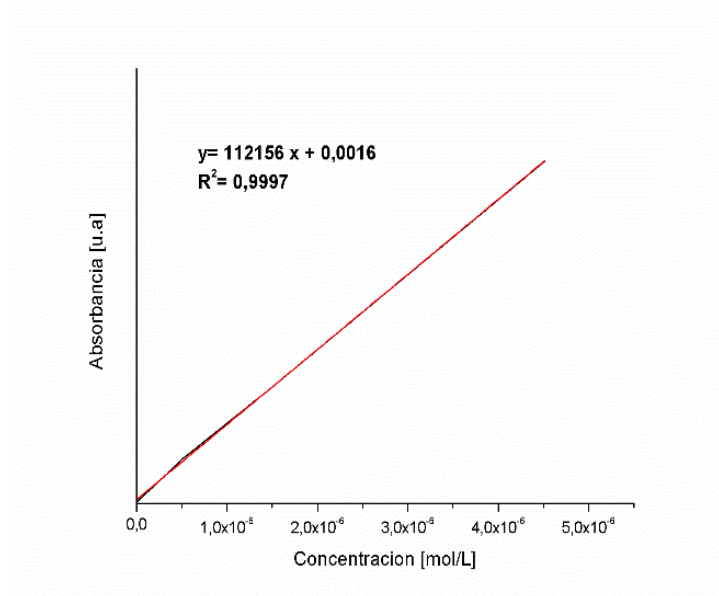
Curva de calibración Azul Brillante para longitud de onda de 427 nm



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6

Curva de calibración Azul Brillante FCF para longitud de onda 629 nm



Fuente: Elaboración propia

El ajuste lineal realizado para el colorante Azul brillante FCF se representa en la siguiente tabla de datos:

Tabla 11

Datos obtenidos a partir del ajuste lineal realizado en ambas curvas de calibración

λ máx. / nm	Ecuación de la recta	Coefficiente de determinación
427	$3660,0592x + 0,00064$	0,99984
629	$112156x + 0,0016$	0,9997

Fuente: Elaboración propia

Tartrazina

Al igual que el Azul brillante, se realizaron dos curvas de calibración para la Tartrazina, a 427 nm (gráfico 7) y 629 nm (gráfico 8), sin embargo, este colorante no tiene máximo de absorción en la longitud de onda 629 nm, por lo tanto, la curva de calibración tendrá una ecuación de la recta igual a 0.

Tabla 12

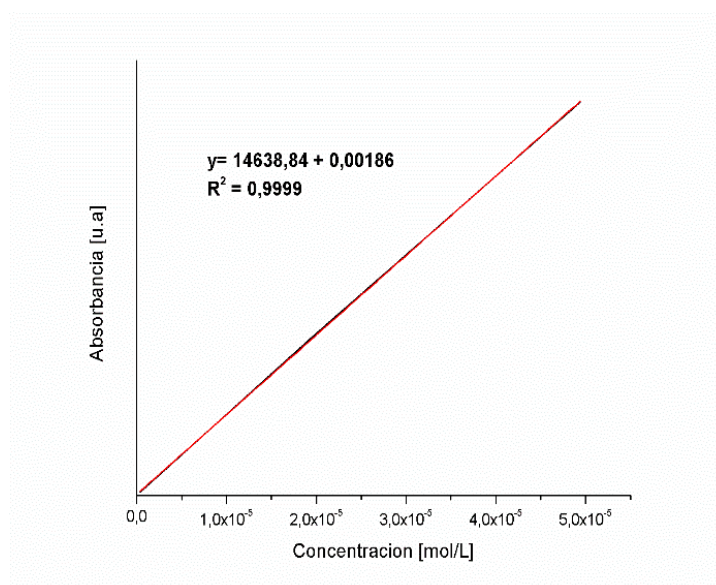
Absorbancias Tartrazina para las longitudes de onda 427 nm y 629 nm

N°	Concentración (mol L ⁻¹)	Abs. λ 427 nm	Abs. λ 629 nm
1	1×10 ⁻⁶	0,015	0
2	5×10 ⁻⁶	0,074	0
3	2×10 ⁻⁵	0,298	0
4	3×10 ⁻⁵	0,442	0
5	5×10 ⁻⁵	0,732	0

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7

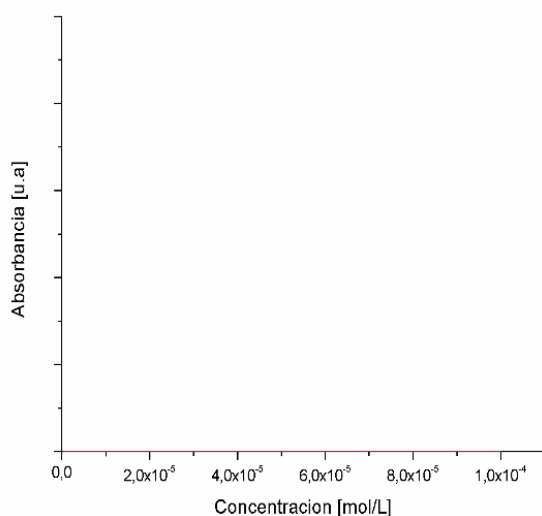
Curva de calibración Tartrazina para longitud de onda 427 nm



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8

Curva de calibración Tartrazina para longitud de onda 427 nm



Fuente: Elaboración propia

El ajuste lineal realizado para el colorante Tartrazina se representa en la siguiente tabla de datos:

Tabla 13

Datos obtenidos a partir del ajuste lineal realizado en ambas curvas de calibración

λ máx. / nm	Ecuación de la recta	Coefficiente de determinación
427	$14638,84x + 0,00186$	0,9999
629	0	-

Fuente: Elaboración propia

Cuando se tienen absorbancias muy altas, quiere decir, que las muestras están muy concentradas y puede ocurrir que se pierda la linealidad de la curva (desviaciones respecto a la Ley de Lambert-Beer). Por otro lado, cuando se tienen absorbancias muy bajas, quiere decir, la mayor cantidad de la luz incidente se transmite, en otras palabras, la solución tendría una concentración muy baja, lo que puede ocasionar que el equipo entregue datos erróneos de absorbancia.

3. APLICACIÓN LEY DE LAMBERT-BEER

Para realizar la determinación de la masa de cada colorante presente en el dulce verde de *Skittles* se utilizó la Ley de Lambert – Beer. Considerando la longitud de onda máxima para cada colorante y la absorbancia total como la suma de las absorbancias de cada compuesto se establece la siguiente relación matemática:

$$A_T = A_{\text{Tartrazina}} + A_{\text{Azul brillante}} \quad (12)$$

A raíz de que se utilizaron tres paquetes de *Skittles*, a continuación, se expondrá los cálculos utilizados para obtener la masa de los colorantes artificiales Tartrazina y azul brillante del paquete n°1, estos cálculos son aquellos que se realizan de manera manual y las fórmulas que fueron ingresadas en las hojas de cálculo de Excel.

El procedimiento se repitió para los paquetes n°2 y n°3. Tomando la ecuación n° 12 y las pendientes obtenidas del ajuste lineal mostradas en la tabla n°11 y n°13, las cuales representan el coeficiente de absorptividad, se plantearon las siguientes ecuaciones de absorbancia total, la primera corresponde a una longitud de onda de 427 nm y la segunda de 629 nm.

$$\begin{aligned} A_{427 \text{ nm}} &= 14638,84 \times b \times C_{\text{Tartrazina}} + 3660,0592 \times b \times C_{\text{Azul brillante}} \\ A_{629 \text{ nm}} &= 0 \times b \times C_{\text{Tartrazina}} + 112156 \times b \times C_{\text{Azul brillante}} \end{aligned} \quad (13)$$

Considerando los valores de la absorbancia total para cada longitud de onda y asumiendo que el paso óptico tiene una medida de 1 cm, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} 0,120 = 14638,84 \times C_{\text{Tartrazina}} + 3660,0592 \times C_{\text{Azul brillante}} \\ 0,032 = 0 \times C_{\text{Tartrazina}} + 112156 \times C_{\text{Azul brillante}} \end{cases} \quad (14)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene la concentración de ambos colorantes las cuales son:

$$\begin{aligned} C_{\text{Azul brillante}} &= 2,853 \times 10^{-7} M \\ C_{\text{Tartrazina}} &= 8,126 \times 10^{-6} M \end{aligned} \quad (15)$$

Finalmente considerando que el volumen de la solución del dulce verde es 1 L, como se muestra en el procedimiento experimental de los documentos en Excel, se puede obtener las cantidades de los colorantes en gramos para el dulce verde, obteniendo primero la cantidad de sustancia de cada colorante y finalmente la masa de cada uno de ellos considerando sus masas molares.

Determinación de cantidad de sustancia de cada colorante:

$$\begin{aligned} n_{Azul\ brillante} &= 2,853 \times 10^{-7} M \times 1 L = 2,853 \times 10^{-7} mol \\ n_{Tartrazina} &= 8,126 \times 10^{-6} M \times 1 L = 8,126 \times 10^{-6} mol \end{aligned} \quad (16)$$

Determinación de la masa de cada colorante:

$$\begin{aligned} m_{Azul\ brillante} &= 2,853 \times 10^{-7} mol \times 792,85 \frac{g}{mol} = 2,262 \times 10^{-4} g \\ m_{Tartrazina} &= 8,126 \times 10^{-6} mol \times 534,3 \frac{g}{mol} = 4,342 \times 10^{-3} g \end{aligned} \quad (17)$$

Como se menciona anteriormente se repite el procedimiento para los paquetes n°2 y n°3, donde los resultados serán expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 14

Resultados de concentración, cantidad de sustancia y masa de los colorantes presentes en el dulce verde.

N° de paquete	1	2	3
Masa dulces verdes paquete /g	11,4401	8,2768	14,4246
Masa dulce promedio /g	1,0400	1,0346	1,0303

Resultados paquete n°1

Colorante	Tartrazina	Azul brillante
Concentración / M	$8,13 \times 10^{-6}$	$2,85 \times 10^{-7}$
/Cantidad de sustancia /mol	$8,13 \times 10^{-6}$	$2,85 \times 10^{-7}$
Masa colorante / g	$4,34 \times 10^{-3}$	$2,26 \times 10^{-4}$
Masa colorante / mg	4,343	0,226
Masa colorante por dulce / g	$3,95 \times 10^{-4}$	$2,06 \times 10^{-5}$
Masa colorante por dulce / mg	0,3948	0,0206
Masa colorante en 1 g / g	$3,80 \times 10^{-4}$	$1,98 \times 10^{-5}$

% de colorante por dulce	0,0380	0,0020
---------------------------------	--------	--------

Resultados paquete n°2

Colorante	Tartrazina	Azul brillante
Concentración / M	$3,65 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-7}$
/Cantidad de sustancia /mol	$3,65 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-7}$
Masa colorante / g	$1,95 \times 10^{-3}$	$1,34 \times 10^{-4}$
Masa colorante / mg	1,949	0,134
Masa colorante por dulce / g	$2,44 \times 10^{-4}$	$1,68 \times 10^{-5}$
Masa colorante por dulce / mg	0,2436	0,0168
Masa colorante en 1 g / g	$2,35 \times 10^{-4}$	$1,62 \times 10^{-5}$
% de colorante por dulce	0,0235	0,0016

Resultados paquete n°3

Colorante	Tartrazina	Azul brillante
Concentración / M	$1,09 \times 10^{-5}$	$4,19 \times 10^{-7}$
/Cantidad de sustancia /mol	$1,09 \times 10^{-5}$	$4,19 \times 10^{-7}$
Masa colorante / g	$5,82 \times 10^{-3}$	$3,32 \times 10^{-4}$
Masa colorante / mg	5,821	0,332
Masa colorante por dulce / g	$4,16 \times 10^{-4}$	$2,37 \times 10^{-5}$
Masa colorante por dulce / mg	0,4158	0,0237
Masa colorante en 1 g / g	$4,04 \times 10^{-4}$	$2,30 \times 10^{-5}$
% de colorante por dulce	0,0404	0,0023

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la Ley de Lambert se obtuvieron las concentraciones de los colorantes presentes en los dulces “Skittles”. Para generar el color característico del dulce se utilizan dos colorantes artificiales en su composición, Azul brillante FCF y Tartrazina. El dulce verde posee una capa sólida verde externa donde se concentra la mayor cantidad de colorantes, sin embargo, dentro del dulce también se puede encontrar restos de colorantes,

por lo que, se procede a disolver el dulce completo, obteniendo así una solución coloreada con presencia de los otros componentes del interior del dulce, como lo son la azúcar e aceites vegetales, por lo que, fue necesario realizar dos filtraciones a la muestra con la finalidad de obtener una solución homogénea que se pudiera medir en el espectrofotómetro, tal como se mencionó en los procedimientos experimentales de las hojas de cálculo.

Se realizaron curvas de calibración para obtener la pendiente de la ecuación de la recta al aplicar el ajuste lineal. La pendiente de la ecuación de la recta nos entrega el coeficiente de absortividad molar de cada colorante en las longitudes de onda correspondientes. Para el caso del gráfico n°8 que corresponde a la curva de calibración de la Tartrazina, podemos ver que este colorante no absorbe en la región de los 629 nm, por lo tanto, no se puede determinar el ajuste lineal para obtener la pendiente a diferencia de los otros casos.

Finalmente, se realizó la aplicación de la Ley de Lambert – Beer para obtener las concentraciones de los colorantes presentes en el dulce. Considerando que las absorbancias son aditivas cuando en una muestra existen dos o más especies absorbentes, se realizó un sistema de ecuaciones de las absorbancias totales asociadas a una determinada longitud de onda (629 y 427 nm), debido a que la Tartrazina no absorbe en los 629 nm, se pudo obtener de manera directa la concentración del Azul brillante FCF, para obtener finalmente la concentración de Tartrazina reemplazando resultados obtenidos. Como se trata de un dulce, la idea es saber la cantidad de masa de colorantes que se utiliza para colorearlo, resultados que se resumen en la tabla n°14.

Al analizar la tabla de resultados n°14, se puede observar que el colorante Tartrazina posee una mayor concentración en los tres paquetes de dulces en comparación con el colorante Azul brillante FCF, esto ocurre debido a que el colorante Azul brillante es capaz de colorear de mejor manera las muestras (mayor coeficiente de absortividad molar, ϵ), por lo tanto, se utiliza una menor cantidad de colorante a diferencia de la Tartrazina.

A pesar de que la masa de los colorantes presentes en los dulces es baja y que además los colorantes utilizados en la producción de los dulces “Skittles” cumplen con la IDA (revisar tabla n°7 y n°8), no podemos olvidar que la mayoría de las personas que consumen este tipo de alimentos son niños y niñas, los cuales sin tener el conocimiento o la precaución podrían ingerir una mayor cantidad de dulces de lo que está permitido y en consecuencia consumir mayor cantidad de colorantes, además si se considera que existen una variedad de alimentos en los cuales en su composición se encuentran este tipo de

colorantes artificiales, no estamos asegurando que se consuma una cantidad “adecuada” de estas sustancias químicas, considerando además los efectos adversos que la salud humana puede sufrir por consumirlos constantemente. Desde el punto de vista del color, realmente el mejor alimento será siempre el que no contiene colorantes artificiales.

Por otra parte, no se conoce la pureza de los colorantes artificiales utilizados en la industria alimentaria, en comparación con los estándares analíticos, los cuales se venden por pequeñas cantidades y por precios elevados, se puede inferir que la pureza es bastante baja, por lo que, además de estar consumiendo el colorante, también se va consumir los interferentes que tenga presente la sustancia, lo cual no entrega ninguna seguridad de lo que puede afectar a la salud de quienes lo consumen, por ende, se hace necesario tener en consideración todos estos factores, ya que, si los colorantes se mantienen en la industria alimentaria, se podría evitar consumir los alimentos que posean estas sustancias, ya que, además de lo mencionado, no poseen ningún valor nutricional en la dieta.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación tenía como objetivo el diseño de una propuesta didáctica, la cual tuvo como enfoque la enseñanza basada en contexto, vinculando de esta manera el aprendizaje de la Ley de Lambert-Beer con la industria alimentaria, siendo esta última el contexto utilizado, particularmente lo relativo al uso de colorantes artificiales presentes en alimentos envasados altos en azúcares, como lo son los caramelos, los cuales son consumidos por un público bastante joven.

La propuesta trató de la aplicación de la Ley de Lambert-Beer a través de la cuantificación de colorantes artificiales, específicamente Azul Brillante FCF y Tartrazina presentes en una muestra sólida de dulce verde de los caramelos “Skittles”. El diseño didáctico planteado se dividió en tres sesiones de laboratorios, sin embargo, el diseño puede adaptarse en distintos escenarios en caso de presentarse algunas dificultades, por lo tanto, es un diseño aplicable a lo presencial con el equipo y reactivos disponibles y presencial sin un equipo disponible, así como también es aplicable a una virtualidad, tomándose en consideración que puede ser aplicable a través de un módulo entregando como herramienta principal los datos a trabajar y así poder aplicar de manera satisfactoria la Ley.

Las sesiones de laboratorio fueron planteadas desde un análisis cuantitativo hasta la aplicación de la Ley de Lambert-Beer teniendo como producto principal la concentración y masas de colorantes presentes en las muestras a trabajar. Para cada una de ellas se realizó la preparación de un material didáctico, como lo son las guías de laboratorio, destinadas a las y los estudiantes del curso, se generó material audiovisual, como videos de prelaboratorios y videos tutoriales con el objetivo de minimizar la sobrecarga cognitiva producida a raíz de la preparación de un trabajo de laboratorio y el trabajo de laboratorio en sí mismo y acompañando a los videos tutoriales, se generaron documentos en formato Excel y así facilitar el manejo de datos y obtener el máximo de información posible a través de la cuantificación de los colorantes.

El material planteado en el presente trabajo se encuentra focalizado para la sección de espectroscopía de absorción molecular ultravioleta-visible (UV-Vis) del curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) de la Universidad Metropolitana de Ciencias para la Educación (UMCE), sin embargo, al igual que la propuesta se puede aplicar en distintos escenarios, el material se puede ajustar a distintos cursos en los cuales esté presente el tema propuesto, esto último tomando en consideración la escasas que existe de implementaciones de este tipo de laboratorios utilizando muestras reales y contextos acordes a la cotidianeidad, como ya se ha mencionado anteriormente. Por lo tanto, la propuesta didáctica planteada proporciona una gran ayuda para lo que la enseñanza y aplicación de la Ley de Lambert-Beer requiere.

PROYECCIONES

Se espera que una vez que se retomen las clases presenciales en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (UMCE) la propuesta didáctica planteada en la presente investigación sea implementada en el curso de Métodos Instrumentales de Análisis (MIA) en la sección de absorción molecular ultravioleta-visible (UV-Vis), específicamente en el laboratorio de Espectrofotometría de ultravioleta-visible (UV-Vis). De esta forma se espera conseguir resultados concluyentes que nos den indicio de la efectividad de los recursos audiovisuales como prelaboratorios y tutoriales para disminuir la carga cognitiva en las y los estudiantes de pregrado y/o también de la contextualización de la química con muestras reales como lo son los dulces “Skittles”.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustian , H., & Seery, M. (2017). Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: a proposed framework for their design. *Royal society of chemistry* , 518-532.
- Ayala, K., Pineda, J., Duarte, A., Soto, P., & Pineda, C. (2018). Toxicidad de los colorantes sintéticos: de lo global al Ecuador. *CEBA*, 40-48.
- Bretz, S. L., Fay, M., Bruck, L., & Towns, M. (2013). What Faculty Interviews Reveal about Meaningful Learning in the Undergraduate Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education* , 281-288.
- Caamaño , A. (2011). Enseñar la química mediante la contextualización. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales* , 21-34.
- Chen, Y.-H., & Yaung, J.-F. (2009). Coloring a Superabsorbent Polymer with Metal Ions. An Undergraduate Chemistry Experiment. *Journal of Chemical Education*, 347-349.
- Chittleborough, G., Mocerino, M., & Treagust, D. (2007). Achieving Greater Feedback and Flexibility Using Online Pre-Laboratory Exercises with Non-Major Chemistry Students. *Teaching with Technology*, 884-888.
- Christian, G. (2009). *Química Analítica*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Dooling, K., Bodenstedt, K., & Page, M. (2013). A Caffeinated Boost on UV Spectrophotometry: A Lab for High School Chemistry or an Introductory University Chemistry Course. *Journal Chemical Education*, 914.
- EFSA. (2016). From <https://www.efsa.europa.eu/it/topics/topic/food-colours>
- El-Samragy, Y. (2016). *Food additive* . Cairo.
- FDA. (2020, 08 03). *U.S FOOD & DRUG*. From <https://www.fda.gov/about-fda/fda-basics/what-does-fda-regulate>
- Gilbert, J. (2007). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 957-976.
- Grumezescu, A., & Holban, A. (2018). Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes: Handbook of Food Bioengineering. London : Academic Press .

- Gürses, A., Açıkyıldız, M., Güneş, K., & Gürses, M. (2016). *Dyes and Pigments*. Istanbul, Turkey : Springer.
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo* . Reverté.
- Harvey, D. (2000). *Modern Analytical Chemistry*. California: McGraw-Hill.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 75-83.
- Jolley, D., Wilson, S., Kelso, C., O'Brien, G., & Mason , C. (2016). Analytical Thinking, Analytical Action: Using Prelab Video Demonstrations and e-Quizzes To Improve Undergraduate Preparedness for Analytical Chemistry Practical Classes. *Journal of Chemical Education* .
- Kobylewski, S., & Jacobson, M. (2010). *Food dyes : a rainbow of risks*. Washington D.C : Center for Science in the Public Interest.
- Lehr, C., Goscinski, N., Lewis, K., Cross, N., Fylstra, N., & Selwan, E. (2013). Kinetic Analysis of Sb(III): An Experiment for the Quantitative Analysis Laboratory. *Journal Chemical Education*, 1501.
- MINSAL. (2019). Reglamento sanitario de los alimentos DTO. N° 977/96 (D.OF. 13.05.97).
- Moozeh , K., Farmer, J., Tihanyi, D., Nadar, T., & Evans, G. (2019). A Prelaboratory Framework Toward Integrating Theory and Utility Value with Laboratories: Student Perceptions on Learning and Motivation. *Journal of Chemical Education*, A-J.
- Moraga , S., & Espinet , M. (2019). La enseñanza de la química en contexto . *Boletín de la AIA-CTS*, 9-13.
- OMS; FAO. (2019). *Codex alimentarius*.
- OMS; FAO. (n.d.). *Codex alimentarius*. From <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/es/>
- Opstal, M., Nahlik, P., Daebenmire, P., & Fitch, A. (2018). Physicians as the First Analytical Chemists: Gall Nut Extract Determination of Iron Ion (Fe²⁺) Concentration. *Journal Chemical Education*, 456.

- Pandey, S., McHale, M., Coym, K., & Acree Jr, W. (1998). Bilinear Regression Analysis as a Means To Reduce Matrix Effects in Simultaneous Spectrophotometric Determination of Cr(III) and Co(II): A Quantitative Analysis Laboratory Experiment. *Journal of Chemical Education*, 878.
- PubChem. (n.d.). From <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/164825>
- PubChem. (n.d.). *PubChem*. From <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Brilliant-Blue-FCF>
- Robinson, J., Skelly, E., & Frame, G. (2005). *Undergraduate Instrumental Analysis*. New York: Marcel Dekker.
- Rodriguez-Torres, Z., & Robles-Sainz, L. (2019). Cáncer vesical de aparición temprana: ¿Asociación a la exposición laboral? *Revista médica MD*, 30-34.
- Rossi, H., Rizzo, J., Zimmerman, D., & Usher, K. (2012). Extraction and Quantitation of FD&C Red Dye #40 from Beverages Containing Cranberry Juice: A College-Level Analytical Chemistry Experiment. *Journal of Chemical Education*, 1551-1554.
- Sánchez, J. S. (2019). *determinación y cuantificación mediante espectroscopia uv-vis de colorantes alimentarios en una muestra de golosinas*.
- Sharma, V., McKone, H., & Markow, P. (2010). A Global Perspective on the History, Use, and Identification of Synthetic Food Dyes. *Journal of Chemical Education*, 24-28.
- Skoog, D., & West, D. (2002). *Introducción a la química analítica*. España: Reverté.
- Skoog, D., Holler, J., & Crouch, S. (2016). *Principles of Instrumental Analysis*. Boston: CENGAGE Learning.
- Spagnoli, D., Rummey, C., Man, N., Wills, S., & Clemons, T. (2019). Designing online pre-laboratory activities for chemistry undergraduate laboratories. *Teaching Chemistry in Higher Education A Festschrift in Honour of Professor Tina Overton*, 1-18.
- Stich, E. (2016). Food color and coloring food: quality, differentiation and regulatory requirements in the european union and the united states. *Elsevier*, 3-5.

Tami, K., Popova , A., & Proni, G. (2017). Engaging Students in Real-World Chemistry through Synthesis and Confirmation of Azo Dyes via Thin Layer Chromatography To Determine the Dyes Present in Everyday Foods and Beverages. *Chemical Education*, A-E.

UE. (2008). *B REGLAMENTO (CE) No 1333/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO.*

ANEXO 1

Colorantes permitidos según el reglamento sanitario de los alimentos (MINSAL, 2019)

Figura 31

Colorantes permitidos

Para los efectos de rotulación se deberá emplear el nombre, según el Códex Alimentarius, señalado en las siguientes listas: ¹²⁹

Nº SIN	NOMBRE CODEX	SINONIMOS	LIMITE MAXIMO
100	Curcuminas		
100 i	Curcumina		BPF
100 ii	Curcuma		BPF
101	Riboflavinas	Lactoflavina	
101 i	Riboflavina		BPF
101 ii	Riboflavina 5' fosfato de sodio		BPF
102	Tartrazina (3)		BPF
104	Amarillo de quinoleina		BPF
110	Amarillo ocaso (3)	Amarillo crepúsculo	BPF
120	Carmines	Carmin de cochinilla Acido carmínico	BPF
122	Azorrubina	Carmoisina	BPF
124	Ponceau 4R	Rojo de cochinilla	BPF
127	Eritrosina (1)		BPF
129	Rojo allura AC	Rojo 40	BPF
131	Azul patente V		BPF
132	Indigotina	Indigo carmin Carmin de indigo	BPF
133	Azul brillante FCF		BPF
140	Clorofilas		BPF
141	Clorofilas de cobre		
141 i)	Complejo cúprico de clorofilina		BPF
141 ii)	Complejo cúprico de clorofilina, sales de sodio y potasio		BPF
142	Verde S		BPF
143	Verde sólido FCF	Verde FCF	BPF
150	Color caramelo		
150 a	Caramelo I - puro	Color caramelo natural, clase I	BPF

¹²⁹ Artículo reemplazado (lista de aditivos), como aparece en el texto, por el Art. 1º, numeral 7 del Dto. 106/08, del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial de 23.04.09

150 b	Caramelo II - proceso sulfito caústico	Color caramelo, clase II, proceso al sulfito caustico	BPF
150 c	Caramelo III - proceso al amoniaco	Color caramelo clase III, proceso al amoniaco	BPF
150 d	Caramelo IV - proceso al sulfito amónico	Color caramelo, clase IV, proceso al sulfito amónico	BPF
151	Negro brillante BN	Negro BN	BPF
155	Marrón HT	Café HT	BPF
160 a	Carotenos		
160 a i)	Betacaroteno (sintético)	Caroteno (sintético), Beta	BPF
160 a ii)	Extractos naturales	Carotenos, extractos naturales (vegetales)	BPF
160 b	Extractos de bija	Annato, bixina, norbixina	BPF
160 c	Oleoresinas de pimentón		BPF
160 d	Licopeno		BPF
160 e	Beta-apo-carotenal	Carotenal, beta-apo-8	BPF
161 a	Flavoxantina		BPF
161 b	Luteina		BPF
161 g	Cantaxantina		BPF
162	Rojo de remolacha	Betanina	BPF
163	Antocianinas		BPF
171	Dioxido de titanio		BPF
172	Oxidos de hierro		
172 i	Oxido de hierro, negro		50 mg/kg
172 ii	Oxido de hierro, rojo		50 mg/kg
172 iii	Oxido de hierro, amarillo		50 mg/kg
173	Aluminio (2)		BPF

(1) Sólo en conservas de cerezas, macedonia de frutas y marrasquino

(2) Sólo para decoraciones

(3) Rotular en forma destacada de acuerdo al Art. 136

Fuente: Extraído de (MINSAL, 2019)

ANEXO 2

Programa de estudio del ramo Química Analítica Instrumental (QA III) de la carrera “Licenciatura en educación en química” en UMCE.



UNIVERSIDAD METROPOLITANA
DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CARRERA: LICENCIATURA EN EDUCACIÓN EN QUÍMICA

PROGRAMA DE ESTUDIO

NOMBRE	: Química Analítica Instrumental (QA III)
TIPO DE ACTIVIDAD CURRICULAR	: Curso Obligatorio
NÚMERO DE HORAS A LA SEMANA	: 6 horas
NÚMERO DE CREDITOS	: 7
CÓDIGO	:
SEMESTRE	: VII
PRERREQUISITOS	: Química Analítica II (QA II)
COORDINADOR CURSO	: Dra. Lizethly Cáceres Jensen
ACADÉMICOS	: Dra. Lizethly Cáceres Jensen : Dr. Carlos Garrido Leiva : M. Sc. Carlos Hernández Tapia : Dr. Alberto Miranda : Prof. Rodolfo Peña : Dr. Jorge Rodríguez Becerra
FECHA DE ELABORACIÓN	: Marzo 2012
FECHA (s) DE MODIFICACIÓN	: Marzo 2020
HORARIO	
CÁTEDRA	: Viernes I bloque, Sala 4
LABORATORIOS	: Viernes III y IV bloque

I. DESCRIPCIÓN

Química Analítica III se imparte a nivel de séptimo semestre de la carrera de Licenciatura en Educación en Química. Sus contenidos, que corresponden en general a la denominada Química Analítica Instrumental, son básicos e indispensables para que los alumnos puedan solucionar problemas de carácter analítico aplicado, por lo cual se busca que el alumno estudie las diferentes metodologías de análisis con énfasis en técnicas instrumentales.

El programa contiene una primera parte, que incluye la introducción a los fundamentos y aplicaciones de la Espectroscopía, específicamente: absorción atómica (llama, plasma) y absorción molecular ultravioleta-visible (UV-Vis) e infrarojo (IR). Una segunda parte, contempla generalidades respecto a métodos electroquímicos, fundamentos de la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y finalmente, los aspectos teóricos de la Cromatografía con aplicación en Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC).

II. COMPETENCIAS

- Conocer y comprender los aspectos teóricos fundamentales de diversas Técnicas Instrumentales tales como: espectroscopía de absorción atómica (llama, plasma), espectroscopía de absorción molecular ultravioleta-visible, espectroscopía vibracional, electroquímica, potenciometría, RMN y HPLC.
- Aplicar las principales ecuaciones matemáticas que conforman el estudio teórico de estas Técnicas.
- Reconocer los componentes básicos de la instrumentación de electroquímica, de absorción atómica basada en llama, absorción UV-Vis, espectroscopía IR y cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC).
- Desarrollar habilidades motrices que faciliten la preparación de muestras y posterior obtención de datos experimentales en el Laboratorio de Química Analítica Instrumental.
- Identificar cuantitativamente los constituyentes en muestras reales o artificiales aplicando técnicas espectrofotométricas.

III. CONTENIDOS

Unidad 1: Aspectos Básicos de la Interacción Radiación Materia (M.Sc. Carlos Hernández)

1. Aspectos básicos de la Interacción Radiación Materia. La espectroscopía y su interpretación fenomenológica. Tipos de espectroscopías.
2. Ley de Lambert y Beer, limitaciones.
3. Espectroscopía de absorción molecular y cuadro fotofísico
 - a. Naturaleza de la absorción molecular orgánica. Tipos de transiciones. Características espectroscópicas.
 - b. Naturaleza de la absorción en iones complejos. Tipos de transiciones. Características espectroscópicas. Aplicaciones
 - c. Titulaciones espectrofotométricas. Aplicaciones
 - d. Elementos componentes de la instrumentación. Mono haz, doble haz, monocromador, arreglo de diodos.

Unidad 1: Espectroscopía Atómica (M.Sc. Carlos Hernández)

1. Espectroscopía atómica de absorción atómica y plasma.
 - a. Resolución de mezclas
 - b. Método de adición de estándar y patrón interno
 - c. Elementos componentes básicos de la instrumentación en absorción atómica y de plasma.
 - d. Diferencias y semejanzas

Unidad 2: Introducción a la Espectroscopía IR (Prof. Rodolfo Peña)

1. Movimiento moleculares y energía asociada a ellos
2. Niveles cuánticos del rotor rígido
3. Espectro rotacional
4. Efecto isotópico en el espectro rotacional
5. Cuantización de los movimientos vibracionales y espectro vibracional del oscilador armónico.
6. Efecto isotópico en espectros vibracionales

Unidad 2: Espectros IR en moléculas poliatómicas (Prof. Rodolfo Peña)

1. Modos normales de vibración
2. Asignación de bandas de principales enlaces y grupos funcionales
3. Aplicación al análisis cualitativo.
4. Ejercicios y aplicaciones.

Unidad 3: Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (Dr. Alberto Miranda)

1. Fundamentos
2. Descripción de las Técnicas de RMN
3. Fundamentos de RMN-1H
4. Fundamentos de RMN-13C
5. RMN bidimensional
6. Aplicación de las técnicas de RMN

Unidad 4: Métodos electroquímicos de Análisis (Dr. Jorge Rodríguez)

1. Celdas Electroquímicas (Ecuación de Nernst, doble capa, tipos de corriente, celda y electrodos).
2. Métodos Electroanalíticos (Tipos de Técnicas y criterios de elección) y sus aplicaciones.

Unidad 5: Introducción y Conceptos generales en Cromatografía (Dra. Lizethly Cáceres)

1. Fundamentos Teóricos
2. Tipos de Cromatografía
3. Técnicas cromatográficas
4. Teoría de las separaciones cromatográficas
5. Información que entrega un cromatograma
6. Parámetros cromatográficos

Unidad 5: Cromatografía Líquida de alta eficacia (HPLC) (Dra. Lizethly Cáceres)

1. Fundamentos teóricos de cromatografía Líquida de alta eficacia (HPLC)
2. Descripción del Equipo HPLC:
 - Tipos de detectores
 - Tipos de Bombas
 - Elección de solvente
 - Programación del solvente (Isocrático-Gradiente)
 - Tipos de columna y guarda
3. Cromatografía de fase inversa (RP-HPLC)
4. Criterios para optimizar una separación
5. Interpretación de cromatogramas (RP-HPLC)

CALENDARIO ACTIVIDADES CATEDRA

Nº sesión	Tema	Fecha
Semana 1	Unidad 1: Aspectos Básicos de la Interacción Radiación Materia (M.Sc. Carlos Hernández)	19-06
Semana 2	Unidad 2: Espectroscopía Atómica (M.Sc. Carlos Hernández)	26-07
Semana 2	Laboratorio Espectroscopía	26-06
Semana 3	Prueba Espectroscopía	03-07
Semana 3	Unidad 3: Introducción a la Espectroscopía IR (Prof. Rodolfo Peña)	03-07
Semana 4	Unidad 4: Espectro IR en moléculas poliatómicas (Prof. Rodolfo Peña)	10-07
Semana 4	Laboratorio IR	10-07
Semana 5	Unidad 5: Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (Dr. Alberto Miranda)	17-07
Semana 6	Laboratorio RMN	24-07
Semana 7	Prueba IR y RMN	31-07
Semana 8	Unidad 6: Métodos electroquímicos de Análisis (Dr. Jorge Rodríguez)	07-08
Semana 9	Unidad 6: Métodos electroquímicos de Análisis (Dr. Jorge Rodríguez)	14-08
Semana 9	Laboratorio Electroquímica	14-08
Semana 10	Unidad 7: Introducción y Conceptos generales (Dra. Lizethly Cáceres)	21-08
Semana 11	Unidad 8: Cromatografía Líquida de alta eficacia (HPLC) (Dra. Lizethly Cáceres)	28-08
Semana 12	Unidad 8: Laboratorio (HPLC) (Dra. Lizethly Cáceres)	04-09
Semana 13	Prueba Electroquímica y HPLC	11-09
Semana 14	FERIADO	
Semana 15	Prueba recuperativa	25-09

CALENDARIO ACTIVIDADES LABORATORIO Y SEMINARIOS

Nº sesión	Tema (Sesión Práctica)	Fecha
1	Espectrofotometría II: UV "Introducción a métodos de adición de estándar y curvas de calibración". Espectrofotometría I: Visible "Aplicación en muestra".	26-07
2	Espectroscopía IR	10-07
3	Taller RMN: Interpretación	24-07
4	Evaluación Electroquímica	11-09
5	Presentación Diseño Módulo HPLC	04-09

IV. METODOLOGÍA

- Clases expositivas
- Sesiones experimentales en el Laboratorio y talleres.

V. TIPO DE EVALUACIONES

- a) Cátedra (C): Las pruebas de cada sección del curso contemplarán tópicos asociados a la cátedra, experiencias experimentales y/o taller de dicha sección. La nota de cátedra corresponderá al promedio de 5 pruebas parciales. Cada prueba corresponderá a un 16 % de la nota final.
- b) Laboratorio (L): la nota de laboratorio se obtiene:

$$\text{Nota Laboratorio} = (0,20 \times \text{IL})$$

IL = Informes laboratorio

$$\text{Nota Final} = (0,80 \times \text{C}) + (0,20 \times \text{L})$$

C: Cátedra; L: Laboratorio

La nota de laboratorio corresponderá al promedio de 4 IL.

- c) La nota de aprobación del curso es 4,0. Los estudiantes con Nota Final entre 3,0 y 3,9 tendrán derecho a rendir Prueba Recuperativa. La Prueba Recuperativa corresponderá a un 40 % y la Nota de presentación a un 60 %.
- d) Los informes de laboratorio deben ser entregados al inicio de cada sesión práctica.

ASISTENCIA

La Asistencia a los laboratorios es de un 100 %.

VI. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA Y COMPLEMENTARIA

1. Skoog, D.A. Holler F. J. y Nieman T. A. "*Principios de Análisis Instrumental*". Quinta Edición. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España (2001).
2. Wade, L.G. "*Química Orgánica*". Quinta Edición, Editorial Pearson Prentice Hall, España (2004).

ANEXO 3

Enlace: https://youtu.be/NvZtm_UAVQ4

Capturas de pantalla del video realizado para el prelaboratorio 1

“Contextualización de la problemática”

LABORATORIO
Espectrofotometría UV - VIS

PRELAB N°1
Tratamiento de una muestra

Bienvenidos/as al laboratorio de espectrofotometría UV - VIS sesión 1

El primer paso es la toma de muestras, para este caso corresponde a una muestra sólida de dulces "Skittles"

Estos dulces al ser productos envasados no necesitan una preparación de la muestra como otras muestras sólidas trabajadas con anterioridad

Para el análisis espectrofotométrico se utilizarán solamente los dulces de color verde

Puesto que, los dulces verdes contienen los colorantes Tartrazina y Azul brillante FCF en su composición

Tartrazina Azul brillante FCF

Ambos colorantes son utilizados usualmente para generar el color verde de los alimentos

Tartrazina Azul brillante FCF

Como por ejemplo los siguientes alimentos

Bebidas isotónicas

Chicles sabores

¡Comencemos el trabajo de laboratorio!

Los dulces Skittles poseen una capa externa sólida donde concentra la mayor cantidad de colorantes del dulce

En la composición química de estos dulces podemos encontrar principalmente azúcar, jarabe de maíz, aceite vegetal hidrogenado, entre otros componentes

¿Cómo se podría extraer los colorantes Azul brillante FCF y Tartrazina de una muestra de dulce?

¿Crees que los otros componentes presentes en los dulces verdes puedan actuar como interferentes en la cuantificación espectrofotométrica de los colorantes?

Por otra parte, los precios de los estándares analíticos del Azul brillante (100 mg) y Tartrazina (25 mg) que tienen un valor de \$76.700 y \$38.500, en pesos chilenos, (..)

(..) y considerando que los dulces comerciales tienen un valor de \$850 cada paquete, ¿Crees tó que los colorantes alimentarios tienen un porcentaje de pureza cercano al estándar?

“Pretratamiento de una muestra sólida”



ANEXO 4

Enlace: <https://youtu.be/oI0zGtTzFPI>

Capturas de pantalla del video realizado para el prelaboratorio 2 parte 1

“Conceptualización”

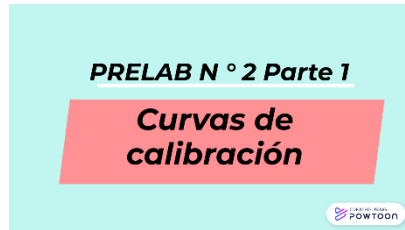
LABORATORIO

Espectrofotetría UV - VIS



PRELAB N ° 2 Parte 1

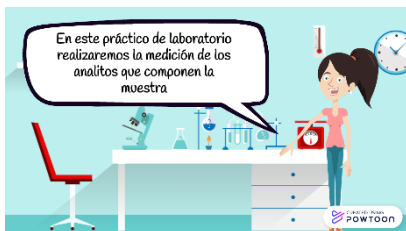
Curvas de calibración



Bienvenidos/as al laboratorio de espectrofotetría UV/VIS sesión 2 parte 1



En este práctico de laboratorio realizaremos la medición de los analitos que componen la muestra



Antes de comenzar...



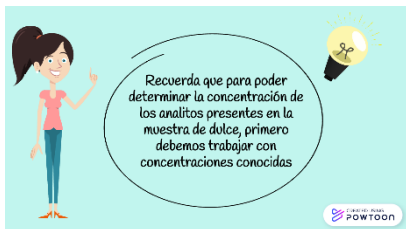
¿De qué forma podríamos analizar los analitos de una muestra de dulce verde si desconocemos su comportamiento espectral?

Analito: Azul Brillante FCF

Tartrazina



Recuerda que para poder determinar la concentración de los analitos presentes en la muestra de dulce, primero debemos trabajar con concentraciones conocidas



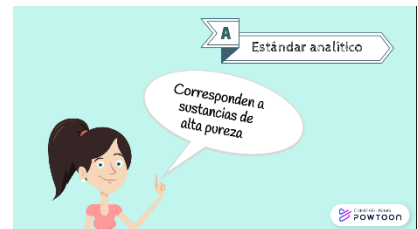
Recordemos conceptos de cursos anteriores

- A Estándar analítico
- B Solución de partida
- C Curvas de calibración



A Estándar analítico

Corresponden a sustancias de alta pureza



¿Por qué es importante la utilización de una sustancia con 99,9% de pureza?



B Solución de partida

Corresponde a la solución inicial de concentración conocida preparada con un estándar analítico



C Curva de calibración

Es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un analito



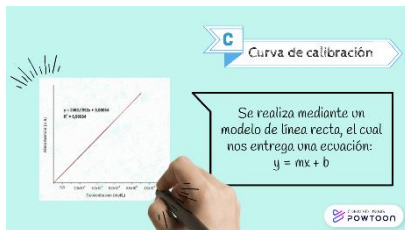
C Curva de calibración

Se construye a partir de la solución stock realizando un set de concentraciones conocidas

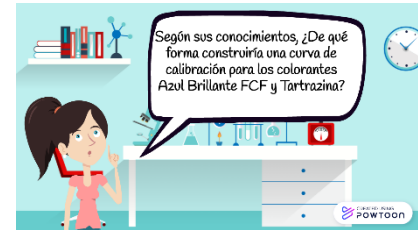


C Curva de calibración

Se realiza mediante un modelo de línea recta, el cual nos entrega una ecuación: $y = mx + b$



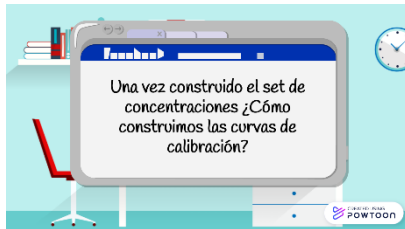
Según sus conocimientos, ¿De qué forma construiría una curva de calibración para los colorantes Azul Brillante FCF y Tartrazina?



¿Qué utilidad tendría la construcción de la curva de calibración?



Una vez construido el set de concentraciones ¿Cómo construimos las curvas de calibración?



¡Ahora ya estás preparado para continuar con la parte 2!



¡Muchas gracias por tu atención!



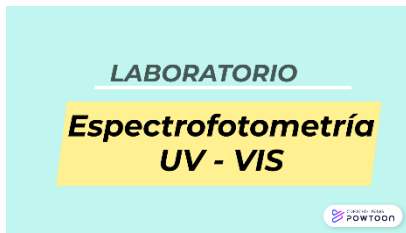
Enlace: <https://youtu.be/FwSZUiH5f2A>

Capturas de pantalla del video realizado para el prelaboratorio 2 parte 2

“Obtención de los datos”

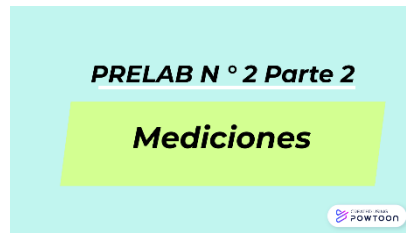
LABORATORIO

**Espectrofotometría
UV - VIS**

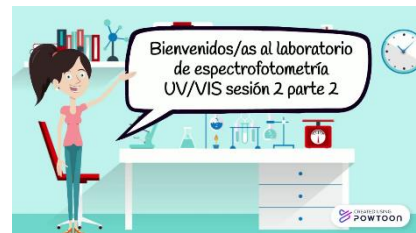


PRELAB N ° 2 Parte 2

Mediciones



Bienvenidos/as al laboratorio de espectrofotometría UV/VIS sesión 2 parte 2



En este práctico de laboratorio realizaremos la medición de los analitos que componen la muestra

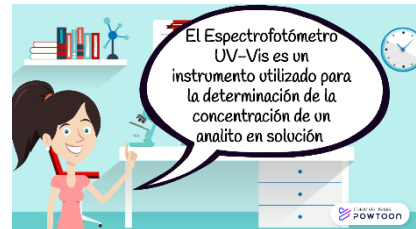


Espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu 2600

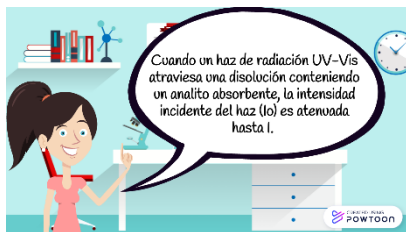
¿Qué tipo de información nos puede entregar un espectrofotómetro?



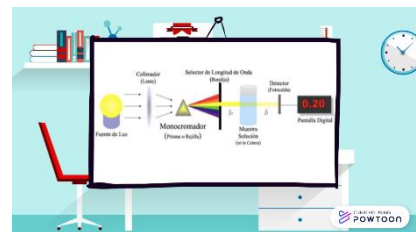
El Espectrofotómetro UV-Vis es un instrumento utilizado para la determinación de la concentración de un analito en solución



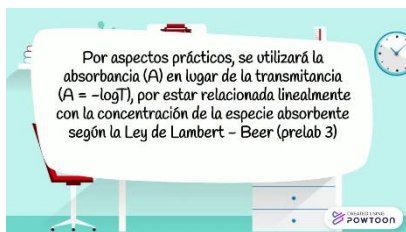
Cuando un haz de radiación UV-Vis atraviesa una disolución conteniendo un analito absorbente, la intensidad incidente del haz (I_0) es atenuada hasta I .



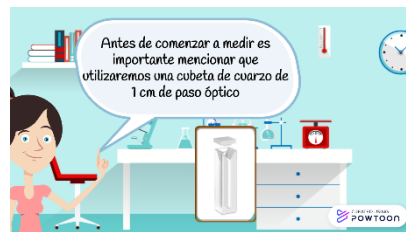
Esta fracción de radiación que ha logrado traspasar la muestra es denominada transmitancia (T) ($T = I/I_0$)



Por aspectos prácticos, se utilizará la absorbancia (A) en lugar de la transmitancia ($A = -\log T$), por estar relacionada linealmente con la concentración de la especie absorbente según la Ley de Lambert - Beer (prelab 3)

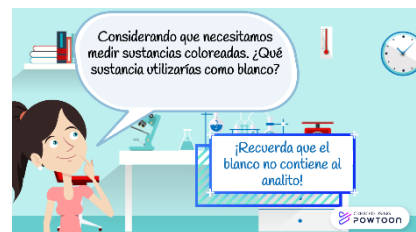


Antes de comenzar a medir es importante mencionar que utilizaremos una cubeta de cuarzo de 1 cm de paso óptico




Considerando que necesitamos medir sustancias coloreadas. ¿Qué sustancia utilizarías como blanco?

¡Recuerda que el blanco no contiene al analito!



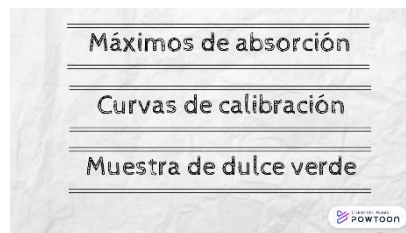
Según los procedimientos realizados hasta el momento, ¿Qué datos necesitamos para la resolución de la problemática?



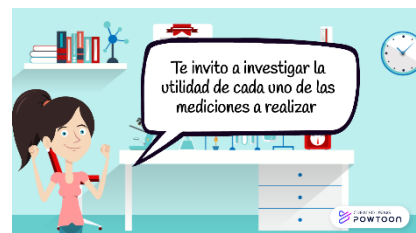
Máximos de absorción

Curvas de calibración

Muestra de dulce verde



Te invito a investigar la utilidad de cada uno de las mediciones a realizar



¡Ahora ya estás preparado para realizar el laboratorio!



¡Muchas gracias por tu atención!

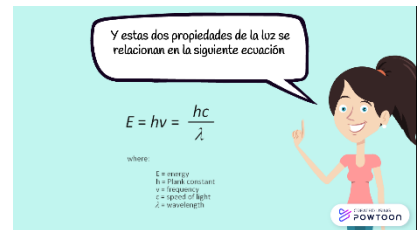
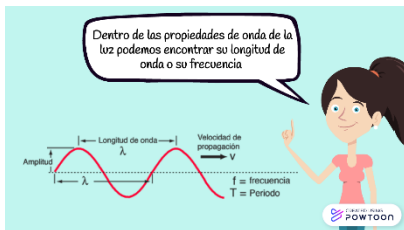
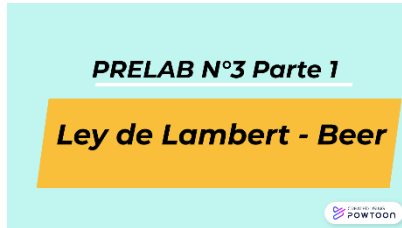
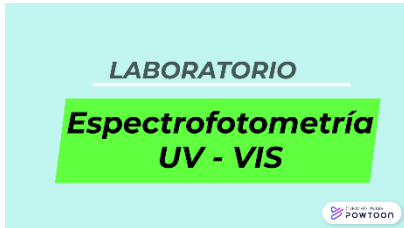


ANEXO 5

Enlace: <https://youtu.be/CyywPC5f0Bw>

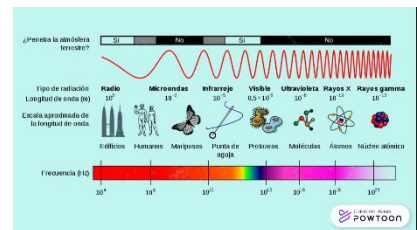
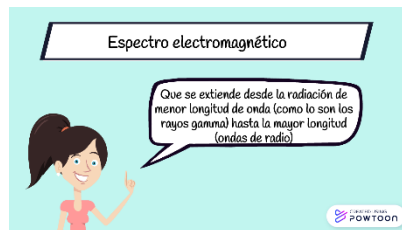
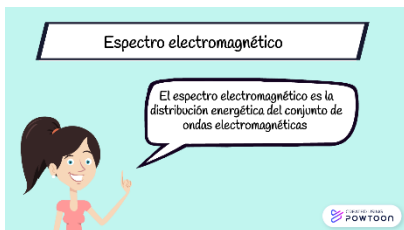
Capturas de pantalla del video realizado para el prelaboratorio 3 parte 1

“Introducción a la Ley de Lambert-beer”



$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

where
 E = energy
 h = Planck constant
 ν = frequency
 c = speed of light
 λ = wavelength



Longitud de onda (nm)	Color absorbido	Color observado
400	Violeta	Amarillo verde
435	Azul	Amarillo
495	Verde	Púrpura
560	Amarillo	Azul
600	Naranja	Azul verdoso
650	Rojo	Verde azulado



Ley de Lambert - Beer

Esta ley afirma que la cantidad de luz absorbida por un cuerpo depende de la concentración de la solución

La cantidad de radiación absorbida es directamente proporcional a la concentración del analito y que se puede representar en la siguiente ecuación

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C$$

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C$$

- > A es la absorbancia de una solución a una longitud de onda dada
- > ϵ es el coeficiente de absortividad molar
- > b es el peso óptico (1 cm)
- > C es la concentración de l. analito

Cuando se tiene una mezcla con dos o más absorbentes la absorbancia total (a una determinada longitud de onda) será la suma de todas las absorbancias de todas las especies absorbentes

$$A_{\text{total}} = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

$$= \epsilon_1 bc + \epsilon_2 bc + \dots + \epsilon_n bc$$

↓ **Especie absorbente 1**
 ↓ **Especie absorbente 2**
 ↓ **Especie absorbente n**

Con esto finalizamos la parte 1 del prelab n°3. ¡Muchas gracias por tu atención!

Enlace: <https://youtu.be/OaNvKK9iy2E>

Capturas de pantalla del video realizado para el prelaboratorio 3 parte 2
 “Aplicación de la Ley de Lambert-Beer”

LABORATORIO

Espectrofotometría UV - VIS

PRELAB N°3 Parte 2

Ley de Lambert - Beer

Bienvenidos/as al laboratorio de espectrofotometría UV/VIS sesión 3 parte 2

En este video vamos a profundizar la aplicación de la Ley de Lambert - Beer

Con la idea de facilitar el tratamiento de los datos obtenidos de las mediciones

¡Comencemos!

Espectros de absorción colorantes y dulce verde

¿Qué datos nos entrega un espectrofotómetro UV - VIS?

Nos entrega principalmente los datos de absorbancia de las sustancias químicas que están contenidas en una solución

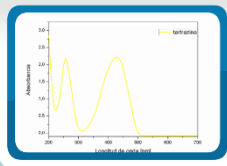
El primer paso es obtener los máximos de absorción de ambos colorantes utilizando una solución stock de Tartrazina y Azul brillante FCF

Los máximos de absorción de cada colorante se consideraron en las longitudes de onda que están en el intervalo de 380 a 780 nm

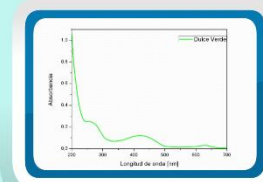
¿Por qué crees tu que no se consideran otros intervalos de longitudes de onda?



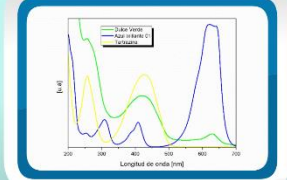
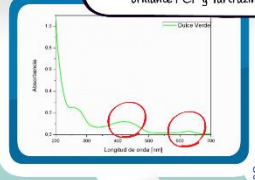
Máximo de absorción de Tartrazina



Nuestro segundo paso es obtener el espectro del dulce verde, donde vamos a observar que existen distintos picos a diferentes longitudes de onda.



Que corresponden a los colorantes Azul brillante FCF y Tartrazina



Según la imagen anterior ¿Qué ocurre con el colorante Tartrazina en la longitud de onda de 624 nm?

Consideraciones curvas de calibración

En el video anterior del prelab n°2 aprendimos a construir las curvas de calibración

En este video nos vamos a enfocar en algunas consideraciones a la hora de construir la curva de calibración

Pero antes recordemos el concepto de porcentaje de transmitancia

Cuando se tiene el 100% de transmitancia quiere decir que se transmitió toda la luz incidente por lo tanto la absorbancia es cero

Por otra parte, cuando se transmite el 1% (es decir la solución se encuentra muy concentrada) la absorbancia toma un valor de 2

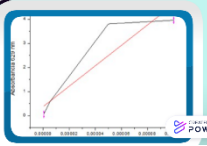
0% T	100% T
∞ A	0 A

0% T	100% T
∞ A	0 A

Por lo tanto, los valores óptimos de absorbancia que puede arrojar el equipo deben ser menores a 2.

Si los valores de absorbancia son muy altos, se saldría de la linealidad de la curva, por lo tanto, se deben descartar algunos

Por otra parte, cuando la absorbancia es muy baja, es decir, la transmitancia será muy alta, los valores que arroja el equipo estarán dentro del error del mismo



¿Qué podemos hacer con las soluciones de nuestra curva si el instrumento nos arroja valores de absorbancias dentro del error del equipo?

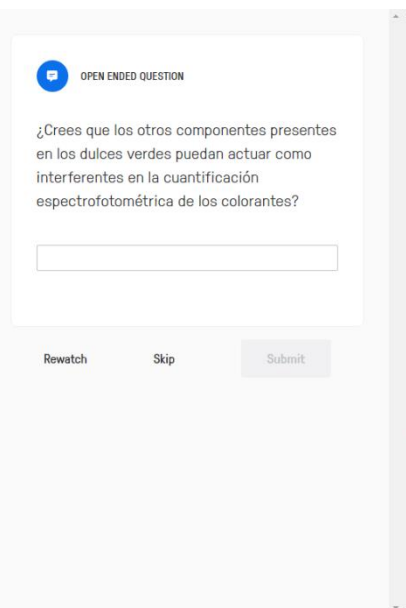
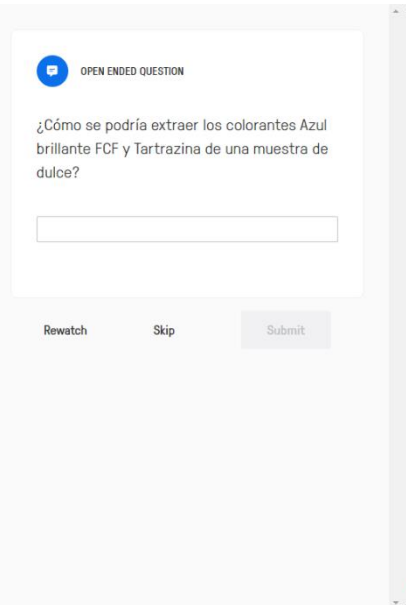
Ahora ya estas listo para comenzar el tratamiento de datos

¡Muchas gracias por tu atención!

ANEXO 6

A continuación, se muestran las capturas de pantalla de las preguntas de los videos interactivos a través de la página EDpuzzle:

1. Prelaboratorio n°1:



(...) y considerando que los dulces comerciales tienen un valor de \$850 cada paquete. ¿Crees tú que los colorantes alimentarios tienen un porcentaje de pureza cercano al estándar?

CREATED USING POWTOON

OPEN ENDED QUESTION

¿Crees tú que los colorantes alimentarios tienen un porcentaje de pureza cercano al estándar?

Rewatch Skip Submit

¿Con qué finalidad se debe aplicar calor en la disolución de la muestra?
¿Por qué se debe considerar una temperatura máxima de 35°C?

CREATED USING POWTOON

OPEN ENDED QUESTION

¿Con qué finalidad se debe aplicar calor en la disolución de la muestra?
¿Por qué se debe considerar una temperatura máxima de 35°C?

Rewatch Skip Submit

¿Por qué se debe filtrar dos veces la solución?
¿Qué tipo de error podríamos ocasionar si pasamos por alto alguno de los pasos de filtración?

CREATED USING POWTOON

OPEN ENDED QUESTION

¿Por qué se debe filtrar dos veces la solución?
¿Qué tipo de error podríamos ocasionar si pasamos por alto alguno de los pasos de filtración?

Rewatch Skip Submit

- **Prelaboratorio n°2:**

- **Parte 1**

¿De qué forma podríamos analizar los analitos de una muestra de dulce verde si desconocemos su comportamiento espectral?

Azul Brillante FCF

Tartrazina

CREATED USING POWTOON

OPEN ENDED QUESTION

¿De qué forma podríamos analizar los analitos de una muestra de dulce verde si desconocemos su comportamiento espectral?

Rewatch Skip Submit

¿Por qué es importante la utilización de una sustancia con 99,9% de pureza?

CREATED USING POWTOON

OPEN ENDED QUESTION

¿Por qué es importante la utilización de una sustancia con 99,9% de pureza?

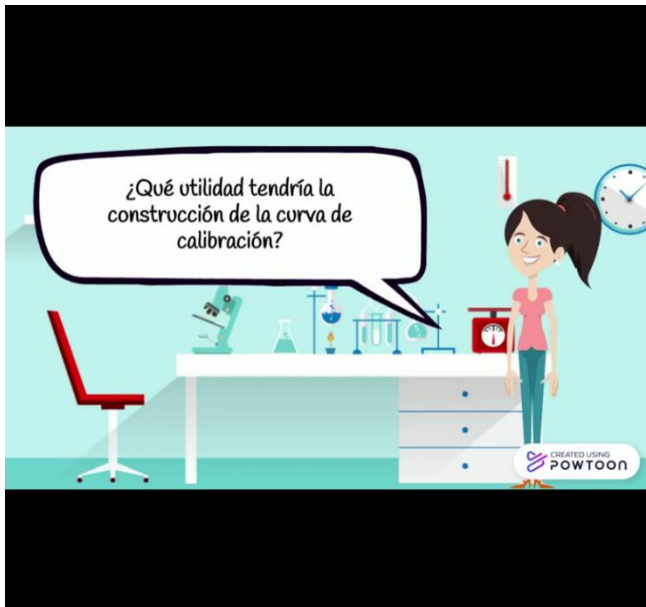
Rewatch Skip Submit



OPEN ENDED QUESTION

Según sus conocimientos, ¿De qué forma construiría una curva de calibración para los colorantes Azul brillante FCF y Tartrazina?

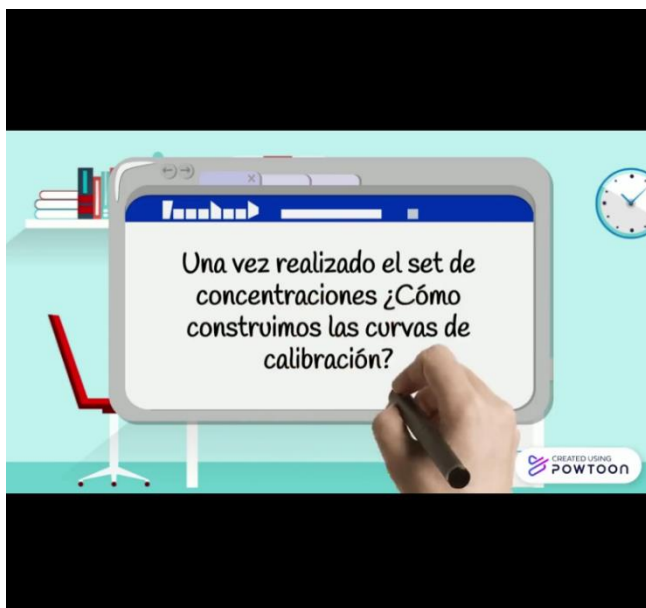
Rewatch Skip Submit



OPEN ENDED QUESTION

¿Qué utilidad tendría la construcción de la curva de calibración?

Rewatch Skip Submit



OPEN ENDED QUESTION

Una vez realizado el set de concentraciones ¿Cómo construimos las curvas de calibración?

Rewatch Skip Submit

○ **Parte 2**



OPEN ENDED QUESTION

¿Qué tipo de información nos puede entregar un espectrofotómetro?

Rewatch Skip Submit



OPEN ENDED QUESTION

Considerando que necesitamos medir sustancias coloreadas. ¿Qué sustancia utilizarías como blanco?

Rewatch Skip Submit

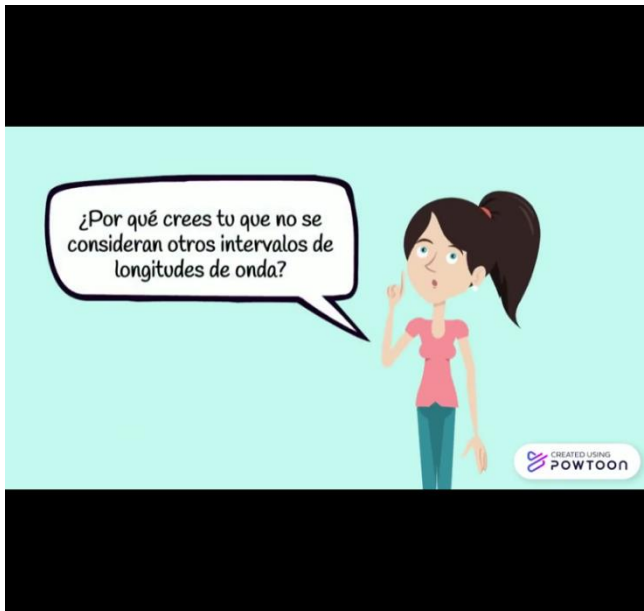


OPEN ENDED QUESTION

Según los procedimientos realizados hasta el momento, ¿Qué datos necesitamos para la resolución de la problemática?

Rewatch Skip Submit

• **Prelaboratorio n°3:**



OPEN ENDED QUESTION

¿Por qué crees tu que no se consideran otros intervalos de longitudes de onda?

Rewatch Skip Submit



OPEN ENDED QUESTION

Según la imagen anterior ¿Qué ocurre con el colorante Tartrazina en la longitud de onda de 629 nm?

Rewatch Skip Submit



OPEN ENDED QUESTION

¿Qué podemos hacer con las soluciones de nuestra curva si el instrumento nos arroja valores de absorbancias dentro del error del equipo?

Rewatch Skip Submit



*Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química*

LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA INSTRUMENTAL

“ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS”

SESIÓN N°1: TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

Introducción:

En la industria alimentaria es común el uso de sustancias químicas como los colorantes alimentarios para hacer más atractivos los productos provocando un aumento del consumo de ellos, es por eso que es común encontrar diversos colorantes presentes desde las golosinas hasta las verduras enlatadas. El análisis químico de los alimentos sirve como una herramienta para conocer cuanta cantidad de estos aditivos alimentarios consume la sociedad de forma regular y con tanta normalidad. Para ello, surge esta investigación con la finalidad de cuantificar los colorantes artificiales presente en golosinas por medio de la espectrofotometría UV – Vis, puesto que este tipo de sustancias coloreadas se pueden determinar de manera sencilla a través de este método.

Para realizar un correcto trabajo de muestreo y preparación de la muestra es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Muestreo:

El proceso en el cual se obtiene una fracción representativa de la muestra. Suele ser la etapa más difícil de un análisis cuantitativo, ya que, es posible que pueda limitar la exactitud del procedimiento.

2. Preparación de la muestra para el análisis:

2.1. Gravimetría de la muestra

En la mayoría de los análisis se debería utilizar una balanza analítica para medir masas con una alta exactitud. Una balanza analítica es un instrumento para determinar masas que tiene una capacidad máxima que varía entre 1 g hasta unos cuantos kilogramos, con una precisión de al menos una parte en 10⁵ al máximo de su capacidad. Este instrumento se debe manejar con cuidado y se deben considerar las siguientes reglas generales para trabajar con balanzas analíticas independientes de la marca y modelo:

1. Centrar lo mejor posible la carga en el platillo



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

2. Proteger la balanza de la corrosión, colocando objetos como metales y plásticos no reactivos y materiales vítreos o semejantes al vidrio.
3. Revisar las precauciones especiales para masar líquidos.
4. Consultar si la balanza necesita ser calibrada.
5. Mantener la balanza y su cubierta escrupulosamente limpias. Limpiar con un pincel o una brocha de pelo de camello para remover el material derramado o el polvo.
6. Esperar que los objetos calientes regresen a una temperatura ambiente antes de pesarlos.
7. Utilizar pinzas, dedos o papel cristal para manipular objetos y evitar la transferencia de humedad hacia ellos.

2.2. Disolución de la muestra

Considerando que el análisis se realizará con una disolución de la muestra, es ideal utilizar un disolvente que logre disolver completamente la muestra, incluyendo el analito de manera rápida y total. La disolución debe ser suficientemente suave para evitar las pérdidas del analito. Sin embargo, existe una gran cantidad de sustancias para analizar que son insolubles en solventes comunes, como por ejemplo los minerales de silicato, polímeros de alta masa molecular y algunos especímenes de tejido animal. Con tales sustancias, se deben seguir pasos que implican una química más agresiva, por lo que, puede ser necesario calentar la muestra en disoluciones acuosas de ácidos fuertes, bases fuertes, agentes oxidantes o reductores o una combinación de estos reactivos, entre otros procesos químicos. Seguido de este paso se puede llevar a medición la muestra a menos que se necesite eliminar interferencias antes de hacer las mediciones.

2.3. Eliminación de interferentes.

Lograda la disolución de una muestra para convertir el analito en una forma adecuada para llevar a cabo la medición, el siguiente paso es eliminar todas las sustancias presentes en la muestra que puedan interferir en el proceso de medición, sustancias que son conocidas como interferencias o interferentes. Antes de llevar a cabo la medición es necesario diseñar un esquema que permita la eliminación de todas estas sustancias ya mencionadas. Sin embargo,



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

no existen reglas específicas para este procedimiento, por lo que, este paso puede ser uno de los más laboriosos en un análisis. (Skoog, Holler, & Crouch, 2016)

Objetivos

Objetivo general: Extraer colorantes presentes en una muestra de dulce verde de la marca “Skittles”

Objetivos específicos:

- Analizar información expuesta en el prelaboratorio
- Responder preguntas del prelaboratorio
- Determinar método analítico cuantitativo para trabajar la muestra
- Masar la muestra de dulces
- Extraer analitos presentes en la muestra
- Separar interferentes de la muestra

Parte experimental:

- Acceder al siguiente enlace que contiene el video interactivo y responder las preguntas: <https://edpuzzle.com/media/6051705f6358ee429c10d93d>
- La muestra que deberán trabajar corresponde a los dulces verdes presentes en los dulces “Skittles” (figura 1). A partir de la determinación del método analítico y la visualización del prelaboratorio, realiza los pasos del método cuantitativo hasta la separación de interferentes.

Figura 32

Dulces Skittles original



Tabla 15

Materiales y reactivos



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

MATERIALES	REACTIVOS
Pocillos de plástico	Dulce Verde "Skittles"
Balanza analítica	Agua nanopura
Pinzas	
Matraz Erlenmeyer 250 mL	
Agitador magnético con calefactor	
Filtro de agua Brita	
Jeringa 60 mL	
Filtro de jeringa tamaño de poro 0,45 μm	
Matraces de aforo 1000 mL	
Matraces de aforo 10 mL	

Procedimiento:

- Toma de muestra:** Cada grupo de laboratorio tendrá a disposición un paquete de dulces "Skittles" del cual deberán extraer todos los dulces de color verde.
- Preparación de la muestra:** Debido que el colorante se encuentra principalmente en la capa exterior del dulce, no deben realizar ninguna preparación para su disolución.
- Gravimetría:** A través de una balanza analítica, se deben masar los dulces de cada uno de los paquetes. Se deben masar en su totalidad y de forma independiente cada uno de ellos.
- Disolución de la muestra:** Durante el prelaboratorio se explicaron los pasos a seguir para la extracción de los analitos de la muestra. De acuerdo con la preparación para el laboratorio, realiza la disolución de la muestra.
- Separación de interferentes:** Para separar los interferentes de los analitos de interés se utilizarán dos procesos de filtrados y así cerciorarse de eliminar la mayor cantidad de interferentes presentes y obtener una disolución que se pueda medir en el espectrofotómetro.



LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA INSTRUMENTAL
“ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS”

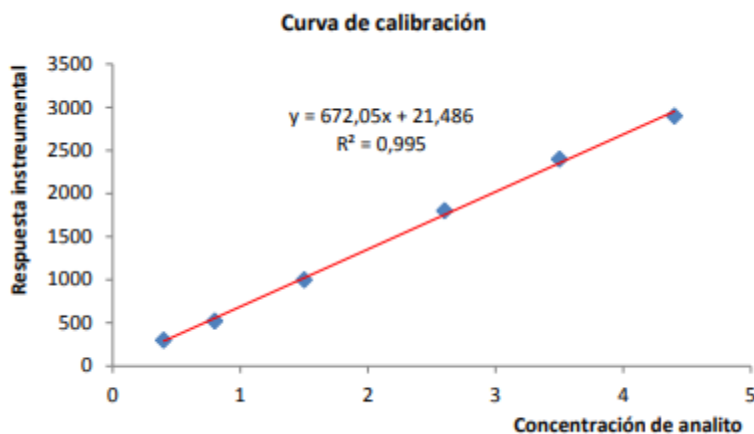
SESIÓN N°2: CURVAS DE CALIBRACIÓN Y MEDICIONES

Introducción:

En diversos análisis químicos se debe medir la respuesta el procedimiento analítico con la utilización de concentraciones conocidas del o los analitos (denominados patrones o estándares) para luego interpretar las respuestas a concentraciones desconocidas. Con este fin, se prepara una curva de calibración, que a través de un gráfico (figura 2) se representa la respuesta de un método analítico en función de concentraciones conocidas del analito (Harris, 2007).

Figura 33

Ejemplo de Curva de calibración



La espectrofotometría se define como el conjunto de técnicas que utilizan la luz para medir concentraciones químicas. Se basa en el análisis de la cantidad de radiación electromagnética (en el rango de UV-Vis) que puede absorber o transmitir una muestra en función de la cantidad de sustancia presente. La parte de la molécula responsable de la absorción se llama cromóforo. El color observado se llama el complementario del color absorbido (tabla 2).



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

Tabla 16
Colores de luz visible

Longitud de onda de máxima absorbancia (nm)	Color Absorbido	Color observado
380 – 420	Violeta	Amarillo verdoso
420 – 440	Azul violáceo	Amarillo
440 – 470	Azul	Naranja
470 – 500	Verde azulado	Rojo
500 – 520	Verde	Púrpura
520 – 550	Verde amarillento	Violeta
550 – 580	Amarillo	Azul violáceo
580 – 620	Naranja	Azul
620 – 680	Rojo	Verde azulado
680 – 780	Púrpura	Verde

Objetivos

Objetivo general: Analizar mediante un espectrofotómetro los analitos extraídos de la muestra de dulces verdes.

Objetivos específicos:

- Preparar una solución de partida con los estándares analíticos de Azul Brillante FCF y Tartrazina
- Construir una curva de calibración que permita medir las concentraciones de los analitos de interés
- Determinar los máximos de absorción de los colorantes
- Determinar la absorbancia de los colorantes en los máximos de absorción



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

Parte experimental:

- Acceder a los siguientes enlaces que contiene el video interactivo y responder las preguntas:
 - o <https://edpuzzle.com/media/60517107cceede424f3fce21>
 - o <https://edpuzzle.com/media/605170fd8c1cc34263c4c47a>
- A partir de la determinación del método analítico y la visualización del prelaboratorio, realiza los pasos del método cuantitativo que proceden luego de la sesión n°1, hasta antes del análisis de los resultados.

Tabla 3

Materiales y reactivos

MATERIALES	REACTIVOS
Matraz de aforo 10 mL	Estándar analítico Tartrazina con 99,9% de pureza
Balanza analítica	Estándar analítico Azul Brillante FCF con 99,9% de pureza
Agitador magnético	Agua nanopura
Espátula	Agua destilada
Pocillo de plástico	
Piseta	
Gradilla	
Micropipetas	
Espectrofotómetro UV-Vis, Shimadzu 2600.	
Cubeta de cuarzo para espectrofotómetro 1 cm de paso óptico (figura 3)	



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

Figura 34

Imagen referencial cubeta de cuarzo 1 cm



Procedimiento:

1. **Mediciones:** Según las etapas del método cuantitativo en este paso se procede realizar la calibración del método y las mediciones:
 - a. **Curvas de calibración:** Durante el prelaboratorio n°1 parte 1 se les mostró una introducción a las curvas de calibración y la confección de ellas. A lo largo del primer bloque se deben confeccionar las curvas de ambos colorantes de interés: Azul Brillante FCF y Tartrazina
 - b. **Mediciones:** Una vez generadas las soluciones de la curva de calibración se procederá a realizar las mediciones correspondientes para la posterior aplicación de la Ley de Lambert-Beer. Durante este proceso se realizarán las mediciones de los máximos de absorción de los estándares y del dulce verde, luego la medición de las curvas de calibración y se termina con la medición de la muestra, siendo estas dos últimas mediciones en las longitudes de onda obtenidas en la primera medición.



*Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química*

LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA INSTRUMENTAL

“ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS”

SESIÓN N°3: APLICACIÓN LEY DE LAMBERT-BEER

Introducción:

Dentro de los métodos de absorción se desprenden dos conceptos; la transmitancia y la absorbancia. Para entender aquellos conceptos se debe tener en cuenta que un haz de luz atraviesa un medio que contiene el analito, donde la muestra absorberá una parte de la radiación incidente y dejará pasar el resto, como se muestra en la siguiente figura.

La transmitancia (T) es la fracción de radiación incidente transmitida por el medio, en consecuencia, de la interacción de los fotones y los átomos y moléculas absorbentes, donde la intensidad del haz disminuye de P_0 a P , la cual se expresa de la siguiente forma:

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

La transmitancia a menudo se representa como porcentaje (%T):

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100\% \quad (2)$$

La absorbancia (A) está relacionada con la transmitancia, ya que, a medida que la transmitancia disminuye la absorbancia aumenta, por lo tanto, la absorbancia aumenta cuando la atenuación del haz incidente se hace mayor. La absorbancia de un medio está definida por la siguiente ecuación: (Skoog, Holler, & Crouch, 2016)

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} \quad (3)$$

Ley de Lambert – Beer

Cuando la radiación electromagnética pasa a través de una delgada capa de muestra de espesor dx experimenta una disminución de la intensidad del haz, esta disminución



fraccional de la intensidad es proporcional al espesor de la muestra y a la concentración del analito, como se muestra en la siguiente expresión matemática:

$$\frac{-dP}{P} = \alpha C dx \quad (4)$$

Donde P es la intensidad del haz incidente en la capa delgada de muestra y α es una constante de proporcionalidad. Realizando un trabajo matemático a la ecuación 6 se obtiene la siguiente expresión:

$$\log \frac{P_0}{P} = abC \quad (5)$$
$$A = abC$$

Donde a es la absorptividad la cual posee unidades de $\text{cm}^{-1} \text{conc}^{-1}$. Cuando la concentración (C) se expresa en molaridad, la absorptividad a se reemplaza por la absorptividad molar ϵ que también se le conoce como coeficiente de absorptividad molar, en la ecuación y b corresponde a la longitud del paso óptico que está dado en centímetros generalmente.

$$A = \epsilon bC \quad (7)$$

Esta relación lineal de la absorbancia y la concentración del analito se conoce como la Ley de Lambert – Beer. (Harvey, 2000)

Mezcla de absorbentes

Es posible realizar cálculos cuantitativos cuando existe una mezcla de absorbentes que están solución que poseen espectros que se sobreponen. Según la Ley de Lambert – Beer, la absorbancia total a una determinada longitud de onda, es igual a la suma de las absorbancias de todas las especies absorbentes presentes en la solución. Para el caso de una solución con dos especies absorbentes se puede expresar la absorbancia de la siguiente forma: (Christian, 2009)

$$A = \epsilon_x b C_x + \epsilon_y b C_y$$

Donde los subíndices se refieren a las especies x e y respectivamente. Cuando se quiere realizar una determinación de las sustancias x e y, se presentarán dos incógnitas, donde el procedimiento será escoger dos longitudes de onda, donde una sea el máximo de absorción de la especie “x” y la otra sea el máximo de absorción de la especie “y”, planteando un sistema de ecuaciones como el siguiente:



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

$$\begin{cases} A_1 = A_{x1} + A_{y1} = \varepsilon_{x1}bC_{x1} + \varepsilon_{y1}bC_{y1} \\ A_2 = A_{x2} + A_{y2} = \varepsilon_{x2}bC_{x2} + \varepsilon_{y2}bC_{y2} \end{cases}$$

Donde A_1 y A_2 son absorbancias a una determinada longitud de onda para cada especie x e y .

Objetivos

Objetivo general: Aplicar la Ley de Lambert-Beer para determinar la masa de los colorantes presentes en las muestras de dulces.

Objetivos específicos:

- Graficar los resultados obtenidos en la sesión de laboratorio anterior
- Realizar una regresión lineal para los gráficos de las curvas de calibración
- Determinar las concentraciones de los colorantes artificiales Azul brillante FCF y Tartrazina, mediante la Ley de Lambert – Beer.
- Determinar la masa de los colorantes artificiales Azul brillante FCF y Tartrazina presentes en un dulce verde “Skittles”.
- Comparar los resultados obtenidos con la ingesta diaria admisible
- Reflexionar sobre los resultados obtenidos

Parte experimental:

- Acceder a los siguientes enlaces que contiene el video interactivo y responder las preguntas:
 - o <https://edpuzzle.com/media/605170ecd506c6426ac79c2e>
 - o <https://edpuzzle.com/media/60527f82e5fd7742cd5248ca>
- A partir de la determinación del método analítico y la visualización del prelaboratorio, realiza los pasos del método cuantitativo que proceden luego de la sesión n°2, finalizando con el análisis de resultados.

Tabla 4

Materiales

MATERIALES
Computador
Microsoft office Excel



Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Facultad de Ciencias Básicas
Departamento de Química

Procedimiento:

- 1. Cálculos e interpretación de los resultados:** Esta etapa corresponde a la última de las etapas del análisis cuantitativo, en la cual luego de realizar todas las etapas anteriores, se podrá resolver la problemática expuesta. Los resultados que se deben obtener en este laboratorio es la concentración de los colorantes alimentarios artificiales Azul Brillante FCF y Tartrazina presentes en dulces verdes de la marca “Skittles”. Para conseguir dichos resultados los cálculos a realizar tienen relación principalmente con la aplicación de la Ley de Lambert-Beer.

Referencias:

- Christian, G. (2009). *Química Analítica*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- El-Samragy, Y. (2016). *Food additive* . Cairo.
- Grumezescu, A., & Holban, A. (2018). Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes: Handbook of Food Bioengineering. London : Academic Press .
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo* . Reverté.
- Harvey, D. (2000). *Modern Analytical Chemistry*. California: McGraw-Hill.
- Skoog, D., Holler, J., & Crouch, S. (2016). *Principles of Instrumental Analysis*. Boston: CENGAGE Learning.