

Sistema de medición del color como parámetro de calidad en la industria de alimentos

Color measurement systems and their importance in the food industry

Magda Piedad Valdés-Restrepo¹ ; Johannes Delgado Ospina²
Liliana Londoño-Hernández¹; Robert Augusto Rodríguez Restrepo¹

Recibido para publicación: 02 de marzo de 2023 - Aceptado para publicación: 05 de abril de 2023

RESUMEN

El color en los alimentos es una de las principales características que permite establecer la calidad de los mismos. Técnicamente se define como respuesta mental al estímulo que una radiación visible produce en la retina que se transmite al cerebro por el nervio óptico, por lo cual está relacionado estrechamente con el sistema nervioso y de esta manera, dicho atributo en los alimentos marca la preferencia de un individuo por los mismos. Dada su importancia, se han desarrollado diferentes sistemas que permitan medir de manera objetiva el color en los alimentos, evaluando los cambios obtenidos en un producto a causa del procesamiento y durante su almacenamiento, logrando determinar entre otros, su vida útil. Considerando lo anterior, esta revisión se presenta con el objetivo de reconocer los principales métodos de determinación del color de los alimentos, y las aplicaciones del concepto en la Industria de Alimentos.

Palabras clave: Aditivo, colorantes sintéticos, industria alimentaria, pigmentos, números E..

ABSTRACT

Color is one of the main characteristics that allows to establish the quality of food. Technically, it is defined as a mental response to the stimulus that a visible radiation produces in the retina that is transmitted to the brain by the optic nerve, so it is closely related to the nervous system and thus, this attribute in food marks the preference of an individual. Given its importance, different systems have been developed to objectively measure color in food, evaluating the changes obtained in a product due to processing and storage, determining, among other things, its shelf life. Considering the above, this review is presented with the objective of recognizing the main methods for determining color of food, and its applications in the food industry.

Keywords: Additive, synthetic colorants, food industry, pigments, E numbers.

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

²Universidad de San Buenaventura Cali, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

*Autor para correspondencia: Magda Piedad Valdés Restrepo
Email: magda.valdes@unad.edu.co

Cómo citar

Valdés-Restrepo, M.P., Delgado Ospina, J., Londoño-Hernández, L., Robert Augusto Rodríguez Restrepo, R.A. 2023. Sistema de medición del color como parámetro de calidad en la industria de alimentos. *Temas Agrarios* 28(1): 69-81. <https://doi.org/10.21897/ta.v28i1.3200>



INTRODUCCIÓN

El color en los alimentos se rige por los cambios químicos, físicos y fisiológicos que ocurren durante el crecimiento, la maduración, el manejo y el procesamiento poscosecha (Pathare *et al.*, 2013), el color es el principal atributo de calidad para los bioprocesos en la industria alimentaria y para el consumidor al momento de seleccionar un producto, no obstante, el color es afectado por diferentes factores como la iluminación, el observador, el espectro de luz, la presencia de pigmentos y brillo de la muestra analizada (Rettig y Hen, 2014). El color tiene un efecto psicológico en el individuo, realiza asociaciones como qué, alimentos de colores intensos presentarán un sabor intenso y son dados a optar por alimentos coloridos; la mayoría de las investigaciones para evaluar el impacto psicológico que tiene el color sobre el individuo se han realizado empleando bebidas, por ser productos líquidos donde la intensidad del color se puede fácilmente manipular (Spence, 2015).

Si bien los sentidos del gusto, el olfato y la visión son distintos, los estímulos visuales alteran la percepción del resto de los sentidos, debido a que la percepción de los estímulos físicos depende de la interpretación de las sensaciones (Delwiche, 2012). El color desde una perspectiva visual es una percepción subjetiva entre la psicología, lo físico, fisiológico y cultural (Spence *et al.*, 2014; Spence, 2015; Garzón-García *et al.*, 2018).

En la antigüedad numerosos filósofos se arriesgaron a realizar conjeturas acerca de la naturaleza del color; Aristóteles (384-322 A.C.) afirmaba que cuatro colores formaban todos los colores, los cuales eran, fuego, tierra, agua y cielo. Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) definió una escala de colores, blanco, amarillo para tierra, azul para cielo, rojo

para fuego, verde para agua y negro para la oscuridad y observó que con la mezcla de estos obtenía más colores. Para Isaac Newton (1642-1519) la luz era color, él observó que, al pasar un haz de luz por un prisma, esta se fragmentaba en siete colores, observó también que los objetos absorben unos colores y reflejan otros. Por su parte Moses Harris (1730 – 1788) fue un entomólogo que creó un sistema natural de colores a partir de tres colores primarios amarillo, azul y rojo, a su vez mezcló estos colores formando tonalidades de naranja, violeta y verde y creó lo que se conoce como círculo cromático de Harris. Con el paso del tiempo, Johan Goethe (1749-1832) estudió el impacto y las reacciones que los colores ocasionan en el ser humano, asociando cada color a emociones (psicología del color). Sin embargo, fue Albert Munsell en 1905, que fue más allá del color dándole escalas numéricas y parámetros, es así como realizó un “árbol de color” el cual está ordenado según tres parámetros, matiz, valor y croma, un sistema que es aceptado mundialmente desde su época hasta la actualidad (Cochrane, 2014; Ruck y Clifford, 2015). Con el avance en las investigaciones en la teoría del color y la creciente necesidad de estandarizar la medida del mismo, para 1931 la Commission Internationale de l'Eclairage o Comisión Internacional Internacional de la Iluminación – CIE estableció el estándar de medición del color. Este estándar se basa en el espacio de color CIE y en las longitudes de onda de cada color (Wrolstad y Smith, 2017).

Estos sistemas de medición desarrollados han permitido realizar una medida estandarizada del color y han sido usados en desarrollos tecnológicos, permitiendo obtener y analizar imágenes dando resultados cuantitativos, logrando así medir el color de manera no destructiva y objetiva de las tonalidades en los diferentes productos de la industria de alimentos (Padrón *et al.*,

2016). Por lo anterior, la presente revisión se centra en la importancia del color y los avances tecnológicos realizados en su medición en la industria de alimentos.

Desarrollo el tema

1. La luz

La luz es una forma de radiación electromagnética que viaja en ondas, este tipo de energía conforma el espectro electromagnético, en donde, la longitud de onda larga lleva menos energía mientras que la longitud de onda corta lleva mayor energía (Raynal, 2011). Se distinguen varios tipos de radiación electromagnética: la onda de radio, microondas, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. El espectro visible o espectro de color es el único que puede captar el ojo humano dentro de espectro electromagnético, está comprendido entre los 380 nm y 780 nm (violeta, azul, celeste, verde, amarillo, naranja y rojo) (Slincy, 2016). Los colores son longitudes de ondas que viajan por toda la atmosfera, pero por sí solo la longitud de onda no es color, esta debe ingresar al cristalino del ojo hasta llegar a los conos y bastoncillos, los cuales capturan la luz, envían una señal al cerebro y procesa esta señal en un color (Davidovits, 2019).

El color que se observa en una superficie es el resultado de la reflexión de la luz que incide sobre la superficie. Los colores absorbidos desaparecen en el interior del objeto, los reflejados llegan al ojo humano. De ese modo si un cuerpo absorbe toda la radiación visible se verá negro (corresponde con la ausencia de luz) y si refleja toda la radiación visible se verá blanco (corresponde con la suma de todos los colores (Caivano, 2021). El color rojo de una fruta, es, por tanto, resultado de la reflexión de las longitudes de onda correspondientes a ese color (entre 780 y 618 nm) y a la absorción de las demás longitudes de onda.

Los organismos fotosintéticos como las plantas absorben longitudes de ondas específicas de la luz visible dependiendo del tipo de pigmento que posean; la clorofila a, clorofila b y carotenoides son los tres pigmentos fotosintéticos de mayor importancia. El conjunto de longitudes de onda que los pigmentos no absorben, lo reflejan y la luz reflejada es la que se ve como color (Virtanen *et al.*, 2020). La luz también juega un papel crítico en la calidad de los alimentos siendo sensibles a diversas longitudes de onda, debido a que esta conlleva a reacciones de degradación y oxidación provocando destrucción de nutrientes, compuestos bioactivos y pérdida del color de los alimentos (Duncan y Chang, 2012).

2. Atributos de color

Se reconocen tres atributos para identificar un color determinado, el primero tono (colores rojo, verde y amarillo) que denota la luz monocromática, segundo, pureza del color blanco o gris compuesto por una sola longitud de onda, tercero intensidad o brillantez de un color. Según la interacción óptica con la luz los alimentos se pueden clasificarse en transparentes, opacos y translucidos (Liao *et al.*, 2021).

3. Sistemas de medición

La percepción del color es un fenómeno psicofísico donde se relaciona la fisiología de la visión, la psicología del observador y la energía espectral radiante de una fuente de luz visible. Para entender la fisiología de la visión se debe reconocer que en la retina humana hay diferentes tipos de fotorreceptores llamados bastones, sensibles al blanco y al negro, y los conos, los cuales son selectivos a la luz en un intervalo de longitudes de onda. La absorción máxima de los conos es: rojo ($\lambda \sim 650$ nm), verde ($\lambda \sim 530$ nm), y azul ($\lambda \sim 430$ nm). El efecto del color se da cuando la luz procedente de una fuente de luz o de un objeto iluminado por una fuente entra en contacto con las

células fotorreceptoras de la retina, enviando información al nervio óptico del cerebro, donde es interpretado el color. Esta teoría de la percepción tricromática o tridimensional del color es la base fundamental de la teoría tricromática del color donde cada estímulo es representado en un espacio de color (Wrolstad y Smith, 2017; Mapelli *et al.*, 2020). El espacio de color es una representación matemática para asociar los valores triestímulos con cada color y se puede decir que existen tres tipos: los orientados al hardware, el orientado al ser humano, y el espacio instrumental. Algunos espacios de color se orientan para ayudar a las personas a seleccionar los colores y otros para facilitar el procesamiento de datos en los equipos (Wu y Sun, 2013).

Espacios de color orientados al “hardware”. Los espacios orientados al hardware están orientados para la adquisición, almacenamiento y visualización del color. Estos pueden percibir cantidades bajas de color por lo cual se utilizan para medir las variaciones del color en productos alimenticios durante su procesamiento. El espacio más común orientado al hardware es el Rojo, Verde, Azul (RGB por sus siglas en inglés) que define las coordenadas en estos tres ejes y generalmente es usado por las cámaras. Existen otros espacios como la luminancia, fase, y cuadratura (YIQ) o el Cian, Magenta, Amarillo, Negro (CMYK) que son utilizados generalmente para transmisión de televisión e impresión, por lo que no son utilizados en la industria alimentaria (Wu y Sun, 2013).

Espacios de color orientados al ser humano. Los espacios orientados al ser humano están relacionados con los conceptos de matiz, sombra y tono y están basados en el tono – saturación (HS) como el Matiz, Saturación, Intensidad (HSI), el Ton, Saturación, Luminosidad (HSL), o el Tono, Saturación, Brillo (HSB). El tono se puede definir como el estímulo visual que parece ser similar o diferente al estímulo de los

colores percibidos rojo, amarillo, verde, azul o una combinación de dos de los mismos. La saturación es la intensidad de un matiz específico señalada en proporción de su luminosidad. Mientras que la luminosidad es un atributo del color relacionado con el aspecto del mismo, la cual indica que un color es más luminoso mientras más se acerque al blanco. A diferencia del espacio RGB, los espacios HS se definen en coordenadas cilíndricas, debido a que se desarrollan a partir del concepto de la percepción visual de los ojos humanos. Estos espacios son más utilizados en estudios de aceptación sensorial, pero debido a su baja sensibilidad no son recomendados para medir o evaluar variaciones de color por procesamiento (Wu y Sun, 2013).

Espacios de color orientados al instrumento. Los espacios instrumentales se utilizan en la mayoría de los equipos desarrollados para medir el color (Wu y Sun, 2013). A diferencia de los espacios orientados al hardware, las coordenadas de color de los espacios instrumentales son siempre las mismas en todos los medios de salida, en general, los espacios instrumentales han sido por la “Commission Internationale de L’Eclairage-CIE” (Albertazzi y Poli, 2014). Se han desarrollado dos sistemas para evaluar el color, basados en la medición espectral de una muestra, el primero fue creado en 1931 empleando valores triestímulos (X, Y, Z) y el segundo creado en 1976 empleando espacios de color (L^* , a^* , b^*), siendo los más utilizados en la actualidad para medir color. Los valores triestímulos parte del hecho que tres colores primarios rojo, azul y verde al mezclarse entre ellos se derivan más colores, por tanto, X, Y, y Z representan el color mediante coordenadas tricromáticas que se obtienen al multiplicar los valores de iluminante, reflectancia o transmisión del objeto (Rettig y Hen, 2014). Este sistema se emplea principalmente en la industria de textiles, alimentaria y farmacéutica, siendo un sistema sensible para medir los colores oscuros y el amarillamiento (Cheng *et al.*, 2018).

Sistema de medición Munsell. La notación Munsell se aplica para cualquier color excepto los colores neutros, tiene la forma HC/V, donde H corresponde a la matriz (tinte) de Munsell, V es el valor de Munsell y C es la croma de Munsell, suficientes para describir los posibles colores (Twomey *et al.*, 2021); este sistema suele emplearse en experimentos de campo para evaluar el color del suelo. El tinte o matriz, representa la similitud o diferencia entre colores, Munsell asignó a cinco (5) colores una letra: amarillo (Y), azul (B), rojo (R), verde (G) y Púrpura (P), a su vez se encuentran tintes intermedios, los pares GY, YR, PB, BG y RP, es decir, 10 tonos principales y cada tono principal precedido

por el número 5 y cada uno se divide en 10, dando como resultado 100 tonos, los tonos intermedios se identifican con 7,5 RP, 10P y así sucesivamente formando el círculo de tonos (Figura 1). El croma es el grado de desviación de un color primario lo que se conoce como brillo de un color y varía en una escala entre 0 a 14, siendo los números más altos los más cercanos al color "puro"; el valor o luminosidad, se encuentra en el eje vertical que va en una escala de 0 a 10, donde cero (0) negro, 10 es blanco y los números intermedios varían en escala de gris (Von y Howard, 2004). Los colores neutros no tienen ni croma ni tonalidad y se designan mediante N/V (Setchell, 2012).

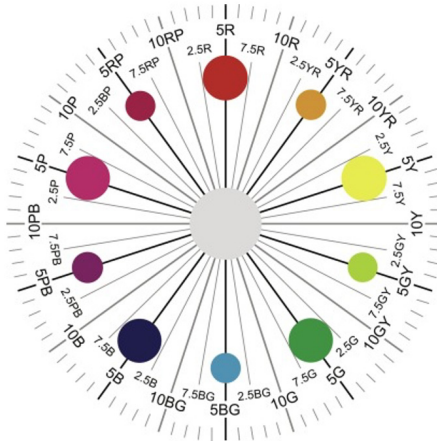


Figura 1. Círculo de tonos de Munsell, tomado de: Setchell, (2012). Capítulo 4: Diseño de color.

Sistema de medición de Hunter. Las mediciones de color en la industria alimentaria se realizan frecuentemente por el sistema Hunter (L^* , a^* y b^*) (Figura 2), donde L^* es una medida de brillo/blancura que varía de 0 a 100 (negro si $L^* = 0$; blanco si $L^* = 100$), a^* es un indicador de colores verde y rojo (que tanto es verde y que tanto es rojo) que varía de $-a^*$ y $+a^*$ ($-a^*$ = verde, $+a^*$ = rojo) y b^* es un indicador de colores de azul al amarillo que varía de $-b^*$ y $+b^*$ ($-b^*$ = azul, $+b^*$ = amarillo) (Segura *et al.*, 2017).

Para determinar la diferencia de color entre coordenadas, se emplea la siguiente ecuación: $\Delta E = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$, donde ΔE

indica la magnitud de diferencia de colores pero no indica si es color es correcto.

4. Medición de color en alimentos

Los sistemas de medición son necesarios en los alimentos para detectar cambios obtenidos como resultados del procesamiento y almacenamiento; se emplean como índice de calidad, por ejemplo, en jugos de frutas para evaluar los cambios de color producto de la degradación de pigmentos causadas por reacciones enzimáticas y no enzimáticas (Sampedro *et al.*, 2010); también es importante tener en cuenta la

influencia del pH presente en los alimentos, entendido como el potencial de hidrogeniones, una mezcla de alimentos con diferentes pH, pueden alterar la conservación del producto, dañar la estructura o variar el color y por tanto, acortar su vida útil (Liu *et al.*, 2022). La medición del color en los alimentos se puede realizar por dos métodos: instrumental o de forma visual - sensorial. En el análisis visual, la evaluación es realizada por un panel mediante el sentido de la visión (ojo humano) con ayuda de referentes, paletas de colores según la muestra o estándares presentes en escalas o atlas de color (Sistema Munsell, Sistema Ostwald, entre otros) (Delmoro *et al.*, 2010). Una de las principales ventajas es que el análisis visual del color puede llegar a ser una técnica rápida y económica para evaluar la calidad de un producto, sin embargo, la respuesta obtenida es subjetiva y no garantiza su estandarización (Mapelli *et al.*, 2020). El método instrumental consiste en la medición de la transmitancia y absorbancia de una muestra mediante equipos como espectrofotómetros, colorímetros u otros (Pathare *et al.*, 2013). Las ventajas de realizar una evaluación instrumental es principalmente la reducción de la variable de subjetividad de los métodos sensoriales, así mismo, la poca manipulación de la muestra, la posibilidad de automatización y de adquirir una gran cantidad de datos en poco tiempo. Los instrumentos usados se pueden agrupar en dos categorías principales: los que miden directamente los valores triestímulos, llamados colorímetros, y los que miden la magnitud radiométrica o fotométrica que caracteriza el objeto a partir del cual se calculan los valores triestímulos (espectrofotómetro y espectrorradiómetro) (Mapelli *et al.*, 2020).

4.1 Cartas de color. Es un método directo, económico y sencillo de medir, sin

embargo, se presenta sesgo al sistema visual humano, por tanto, subjetividad. Adicionalmente, requieren condiciones de iluminación específicas durante la determinación. Su uso en la industria alimentaria permite principalmente la determinación del avance de la maduración de frutas y verduras mediante la comparación del color del producto con cartas específicas que relacionan un color o conjunto de colores con un grado de maduración (Ratprakhon *et al.*, 2020), por ejemplo, la medición de la coloración de yemas de huevo basado en el contenido de carotenoides se emplea una escala de abanico Roche que va de 1 a 15 (Pérez, 2013).

4.2 Colorímetros. Un colorímetro es un dispositivo triestimular que utiliza tres filtros rojo, verde y azul (Padrón *et al.*, 2016), lo que significa que miden directamente el color de las fuentes de radiación primaria (que emiten luz) y las fuentes de radiación secundaria (que reflejan o transmiten luz externa), obteniendo los valores triestímulos X, Y, Z de forma óptica y no matemática (Mapelli *et al.*, 2020). El colorímetro cuantifica el color con base al espacio de color CIELab obteniendo valores numéricos midiendo la cantidad de luz reflejada por un objeto (Padrón, 2016), para esto un observador y un iluminante estándar preestablecido por lo que los valores obtenidos pueden ser diferentes de un equipo a otro (Mapelli *et al.*, 2020). En este sentido, el colorímetro compara la cantidad de luz que atraviesa una solución/muestra con la cantidad de luz que puede atravesar una muestra de un disolvente puro. El equipo tiene una fotocelda que es capaz de detectar la cantidad de luz que atraviesa la solución investigada. La corriente producida por la fotocelda depende de la cantidad de luz que incide en ella una vez atraviesa la solución y por tanto a mayor concentración del color en la solución mayor es la absorción

de luz. Los colorímetros pueden clasificarse en dos tipos: visuales y fotoeléctricos. Así mismo, los colorímetros visuales se clasifican en visuales de absorción/comparadores de color o colorímetros verdadero o triestímulo. Los colorímetros de absorción comparan el color de la muestra con el patrón y determina la similitud entre ambas. Mientras que el colorímetro verdadero hace hincapié en la equivalencia visual o en la estimación psicofísica (Choudhury, 2014).

4.4 Espectroradiómetro. La medición radiométrica de la distribución espectral se obtiene de una fuente de radiación primaria o secundaria. A diferencia del espectrofotómetro, el Espectroradiómetro tiene una fuente de luz externa al equipo, por lo cual es variable, y por tanto también pueden ser utilizados para medir la transmitancia o la reflectancia de un objeto (Mapelli *et al.*, 2020). El espectroradiómetro mide las cantidades radiométricas de las fuentes de luz en función de la longitud de onda, lo cual implica que debe comparar la fuente de la muestra con una fuente de referencia adecuada con una distribución de potencia espectral conocida como las lámparas de tungsteno normalizadas (Choudhury, 2014).

4.5. Análisis Digital de Imágenes. Los instrumentos tradicionales para medir el color, tales como el colorímetro, espectrofotómetro y espectroradiómetro requieren de una uniformidad cromática para que los resultados sean reproducibles. Sin embargo, en muestras pequeñas dicha uniformidad es difícil de lograr en muchas ocasiones, por lo cual se recomienda el uso de análisis digital de imágenes para medir el color (Wu y Sun, 2013). Para esto se debe contar con una (1) cámara digital o un dispositivo de visión artificial con un sistema de iluminación, un sistema para captar las imágenes y convertir la señal

analógica en digital, y un (1) computador con un software para procesamiento de imágenes que permita interpretar los resultados. Para esto la cámara toma las imágenes y las almacena en su dispositivo, el cual registra el color en los tres colores básicos: rojo, verde y azul o RGB por sus siglas en inglés, de acuerdo con el carácter tridimensional del color. Esta metodología desarrollada para medir el color presenta varias ventajas como: tener el color total del objeto, evaluar la distribución del color dentro de la muestra, además de reducir la manipulación de la misma. En los últimos años se han desarrollado varios sistemas para medir el color a través del estudio de imágenes, entre los cuales se encuentra el Sistema DigiEye que consiste en una cámara digital Nikon D-80 conectada a una cámara con iluminación controlada (VeriVide DigiEye®, Leicester, Reino Unido) y a un computador con el software DigiPix (Jain *et al.*, 2020; Mapelli *et al.*, 2020).

4.6. Imágenes-hiperespectrales. Analiza y determina la calidad de una muestra alimenticia de forma rápida, su mayor empleo se realiza en alimentos como frutas y hortalizas, esta técnica recopila información a lo largo del espectro electromagnético, en donde la formación de imágenes espectrales se divide en bandas (Retting y Hen, 2014).

5. Aplicaciones del color en la Industria de Alimentos

El color es el primer atributo para evaluar la calidad de los alimentos por los consumidores, y, por tanto, es vital para la aceptación de los productos en el mercado. Así mismo, el color puede usarse para evaluar la duración de un tratamiento o las condiciones de operación de los mismos. Entre algunos estudios (León *et al.*, 2016), utilizaron un método basado en el análisis

digital de imágenes para evaluar el índice de fermentación de granos de cacao, encontrando que este puede ser un método rápido y de bajo costo que permite determinar la calidad del producto. Así mismo, Garzón-García *et al.* (2018) utilizaron una metodología basada en el espacio RGB con un sensor de color para medir el pardeamiento de Yacón, encontrando que esta medición de color permite determinar el grado de oscurecimiento del producto identificando el tiempo de vida útil del mismo. Considerando estos argumentos, el concepto del color se ha utilizado para desarrollar nuevos colorantes en la industria de alimentos o como atributo para evaluar la calidad de diversos productos.

5.1. Colorantes

En la industria alimentaria, el color es la característica visual más importante, la cual se pierde parcial o totalmente durante el procesamiento por lo que se deben agregar colorantes naturales o sintéticos (Rymbai *et al.*, 2011), estos son incorporados en los procesos debido a que son de bajo costo, alta capacidad de coloración y estabilidad tanto en almacenamiento como en el proceso (Corradini, 2019). La manipulación del color tiene como propósito incrementar el valor del producto y su aceptabilidad ante el consumidor, ya que la función de un pigmento es impartir color, mejorar la apariencia del producto y recuperar el color de un producto cuando éste se ha perdido durante el proceso industrial (Mc, 2016).

producto cuando éste se ha perdido durante el proceso industrial (Mc, 2016). La percepción de sabor y el color influye en el consumidor, es por ello que los colorantes en la industria de alimentos se utilizan en marketing para aumentar la visibilidad de un empaque o producto (Lawrence *et al.*, 2016; Kraser y

Hernández, 2020), por ejemplo, el color marrón se asocia a la caramelización o al incremento del sabor a chocolate, el verde a sabores ácidos como el limón (Spence, 2015), sin embargo, se ha demostrado que las personas consumirán más caramelos si estos vienen en presentaciones coloridas.

Los colorantes alimentarios desde la antigüedad se han derivado de fuentes naturales pigmentantes vegetales (cúrcuma, azafrán, flores, bayas entre otras), animales, minerales y de microorganismos (Aberoumand, 2011). Entre los pigmentos obtenidos de microorganismos más empleados en la industria alimentaria se destacan la cantaxantina, prodigiosina, antoxantina, violaceína, ficocianina, betacaroteno, riboflavina, melanina y licopeno (Sen *et al.*, 2019). Para que los pigmentos microbianos pueden ser empleados en la industria alimentaria deben ser estables a los factores extrínsecos y ambientales como temperatura, pH, luminosidad y matrices alimentarias, donde la microencapsulación podría ayudar a mejorar la solubilidad y estabilidad de las matrices alimentarias y aumentar la vida útil del producto (Rios y Gil, 2021).

De los colorantes permitidos, los más empleados en la industria alimentaria son los provenientes de los grupos de las vitaminas, pigmentos como la clorofila, carotenoides especialmente licopeno, α caroteno y β caroteno, este último junto con la riboflavina pueden añadirse a los alimentos sin necesidad de declararlos (Sánchez, 2013). Sin embargo, suelen ser costosos en comparación con los colorantes sintéticos y susceptibles a la oxidación (Mahesha *et al.*, 2020).

El color azul no tiene cabida en los alimentos, por tanto, es el color menos apetecible, sin embargo, esto ha sido un

punto clave para las empresas a la hora de empacar un producto. Las antocianinas pueden producir el color azul de uso alimentario, siendo uno de los colores más difíciles de obtener de cualquier fuente de forma natural (Nabais *et al.*, 2020); aunque este color también puede obtenerse de las ficocianinas (*Spirulina* spp.), los azules de origen alimentario son limitados especialmente el azul cian ($\lambda_{\max} = 630$ nm) convirtiéndose en un desafío para la industria alimentaria (Denish *et al.*, 2021), sin embargo, los colorantes producto de la fermentación microbiana son producidos a bajo costo con altos rendimientos y fácil extracción (Panesar *et al.*, 2015; Sen *et al.*, 2019) además, los pigmentos producidos por microorganismos como bacterias, hongos y microalgas ya proporcionan ficocianinas y carotenoides (Laurent, 2018), lo que los hace llamativos para la industria.

5.1.1. Legislación

Debido a la ambigüedad en los colores, las legislaciones entre los países presentan diferencias respecto al empleo de los colorantes en los alimentos, en la Unión Europea se emplean colorantes que están prohibidos en el Reino Unido o en Estados Unidos, esto hace que se dificulte la comercialización de algunos productos, además deben usarse conforme a las especificaciones y restricciones aprobadas (He y Hwang, 2016). Para facilitar la identificación de estos colorantes, la Unión Europea ha asignado un código, que empieza por la letra E (Europa) y un número, E1-colorantes, E2-conservantes, E3-antioxidantes etc. Con el fin de estandarizar una identificación independiente del lenguaje de la etiqueta del producto. Entre los E, más empleados para modificar o dar color están los colorantes naturales liposolubles como la clorofila (E140 y 141) colores verdes, carotenoides (E160) del

naranja al rojo y las xantofilas (E161) color amarillo; colorantes naturales hidrosolubles como cúrcuma (E100), riboflavina (E101), ácido carmínico (E162) y rojo de remolacha (E162) y una amplia gama de colorantes sintéticos.

Entre los colorantes más empleados en la industria alimentaria se tiene el azul brillante FCP (E133) grado alimenticio, empleado en fármacos, pasteles confitería, bebidas, helados y repostería; colorante Indigotina B2 o Carmín de índigo (E132), empleado en recubrimientos alimenticios, gomas de mascar y algunas bebidas con aroma; Verde número 3 (E143), empleado en productos lácteos, repostería salsas, pastas y mayonesas; Rojo Alura AC (E129) usado en bebidas no alcohólicas aromatizadas, bebidas carbonadas, vinos, yogures, flanes, salsas, algodón de azúcar, productos cárnicos, mermeladas, golosinas y pastelería; colorante amaranto (E123), empleado en vinos y refrescos amargos, helados, conservas, algunos alimentos enlatados y productos de confitería, sin embargo, ha sido prohibido por los Estados Unidos, Alemania, Singapur y China; tartracina (E102) o amarillo 5, empleado en productos de repostería, helados, gelatinas y bebidas, su valor comercial persiste porque pueden ser mezclados con otros colorantes artificiales como Verde (E142) y Azul brillante (E133) los cuales generan tonalidades verdosas (Sánchez, 2013).

5.2. Evaluación de la Calidad de los Alimentos

La calidad es una característica de un producto que define la preferencia de un consumidor, la cual puede evaluarse a través de diferentes factores externos (tamaño, forma, color, olor, textura) o internos

(composición química, caracterización microbiológica), sin embargo, uno de lo más utilizados es el color debido a que hace parte de la primera percepción. Gracias a los desarrollos tecnológicos se han propuesto diferentes metodologías para evaluar la calidad de los alimentos a través del color entre las cuales se destacan la clasificación electrónica, los ojos electrónicos, los biosensores (Dharaiya *et al.*, 2018) y los equipos para medición de la madurez de frutas basados en radiofrecuencia (Lazaro *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

El color y los pigmentos naturales o artificiales están ligados a los alimentos y estos a los sentidos, de manera natural el olor, sabor, color, textura entre otras características, se rigen por los cambios físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos durante el crecimiento del órgano de interés, sin embargo, estas características cambian durante el procesamiento de las materias primas, pero es el color la característica que mayoritariamente influye en la aceptabilidad del consumidor respecto a un producto.

Conflictos de intereses

La preparación y revisión del presente manuscrito contó con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

Aberoumand, A. 2011. A review article on edible pigments properties and sources as natural biocolorants in foodstuff and food industry. *World J Dairy Food Sci* 6(1):71–8.

Albertazzi, L. y Poli, R. 2014. Multi-leveled objects: color as a case study, *Front. Psychol.* 5:592. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00592>

Caivano, J. L. 2021. Black, white, and grays: Are they colors, absence of color or the sum of all colors?. *Color Res Appl* 47(2):252-270. <https://doi.org/10.1002/col.22727>

Cheng, N., Barbano, D.M. y Drake, M. A. 2018. Hunter versus CIE color measurement systems for analysis of milk-based beverages, *Journal of Dairy Science* 101 (6):4891-4905, ISSN 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14197>

Choudhury, A. K. R. 2014. Colour measurement instruments, In *Principles of Colour and Appearance Measurement*. Pp. 221-269. <https://doi.org/10.1533/9780857099242.221>

Cochrane, S. 2014. The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 47:26–41. <https://doi.org/10.1016/j.shsa.2014.03.004>

Corradini, M.G. 2019. Synthetic Food Colors, Editor(s): Laurence Melton, Fereidoon Shahidi, Peter Varelis, *Encyclopedia of Food Chemistry*, P. 291-296, 2019. ISBN 9780128140451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21606-5>

Davidovits, P. 2019. Physics in Biology and Medicine. ISBN 978-0-12-813716-1. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03726-9>

Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A. y Pranzetti, V. 2010. El color de los alimentos: determinación de color en mieles. *Invenio* 13(25):145-152. 2010. ISSN: 0329-3475. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=877/87715116010>

Delwiche, J.F. 2012. You eat with your eyes first. *Physiol Behav* 107(4): 502–504. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.07.007>

- Denish, P. Fenger, J.A. Powers, R. Sigurdson, G. Grisanti, L. Guggenheim, K. Laporte, S. J. Li, J. Kondo, T. Magistrato, A. Moloney, M. Riley, M. Rusishvili, M. Ahmadiani, N. Baroni, S. Dangles, O. Giusti, M. Collins, T. Didzbalis, J. y Robbins, R. 2021.** Discovery of a natural cyan blue: A unique food-sourced anthocyanin could replace synthetic brilliant blue. *Science Advances* 7(15):eabe7871. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abe7871>
- Dharaiya, C., Jana, A. y Rani, R. 2018.** Modern Techniques to Evaluate the Quality of Food Products, International Conference on Emerging Issues in Agricultural, Environmental and Applied Sciences for Sustainable Development, pp. 62–75. ISBN: 978-93-88237-24-6
- Duncan, S.E. y Chang, H.H. 2012.** Implications of light energy on food quality and packaging selection. *Advances in food and nutrition research* 67:25-73. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394598-3.00002-2>
- Garzón-García, A. M., Dussán-Sarria S. y Melo-Sevilla, R. E. 2018.** Estudio de la Variación de Parámetros de Color del Yacón utilizando un Prototipo de Medición de Color y Temperatura. *Información tecnológica* 29(6):75-82. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600075>
- He, X. y Hwang, H.M. 2016.** Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment. *Journal of Food and Drug Analysis* 24(4):671-681. ISSN 1021-9498. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.06.001>
- Jain, A., Pradhan, B. K., Mahapatra, P., Ray, S. S., Chakravarty, S. y Pal, K. 2020.** Development of a low-cost food color monitoring system, *Color. Research and Application* 46(2): 430–445. <https://doi.org/10.1002/col.22577>
- Kraser R. B. y Hernández S. A. 2020.** Colorantes alimentarios y su relación con la salud:¿cómo abordar esta problemática desde el estudio de las disoluciones? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 17(1):1202. [10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1202](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1202)
- Laurent D. 2018.** Chapter 4 - Microbial Pigments From Bacteria, Yeasts, Fungi, and Microalgae for the Food and Feed Industries, Editor(s): Alexandru Mihai Grumezescu, Alina Maria Holban, In *Handbook of Food Bioengineering. Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes* 113-132. ISBN 9780128115183, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00004-1>
- Lawrence, L., Garber, J.R., Hyatt, E.M. y Nafees, L. 2016.** The Effects of Food Color on Perceived Flavor: A Factorial Investigation in India. *Journal of Food Products Marketing* 22(8):930-948. <https://doi.org/10.1080/10454446.2014.885864>
- Lazaro, A., Boada, M., Villarino, R. y Girbau, D. 2019.** Color measurement and analysis of fruit with a battery-less NFC sensor. *Sensors (Switzerland)* 19(7):1741. <https://doi.org/10.3390/s19071741>
- León-Roque, N., Abderrahim, M., Nuñez-Alejos, L., Arribas, S. M. y Condezo-Hoyos, L. 2016.** Prediction of fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) based on color measurement and artificial neural networks”. *Talanta* 161:31–39, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.08.022>
- Liao, C., Sawayama, M. y Xiao, B. 2021.** Crystal or Jelly? Effect of Color on the Perception of Translucent Materials with. *Photographs of Real-world Objects* 22(2):6. <https://doi.org/10.1101/2021.10.18.464695>

- Liu, D., Zhang, C., Pu, Y., Chen, S., Liu, L., Cui, Z. y Zhong, Y. 2022.** Recent Advances in pH-Responsive Freshness Indicators Using Natural Food Colorants to Monitor Food Freshness. *Foods* 11(13):1884. <https://doi.org/10.3390/foods11131884>
- Mahesha, M. P., Marianne, N. L. y Francisco J. B. 2020.** 4 - Pulsed electric field (PEF) as an efficient technology for food additives and nutraceuticals development, Editor(s): Francisco J. Barba, Oleksii Parniakov, Artur Wiktor, Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable Food for Tomorrow, pp. 65-99. ISBN 9780128164020, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816402-0.00004-5>
- Mapelli-Brahm, P., Rodríguez-Pulido, F. J., Stinco, C. M., Heredia, F. J. y Meléndez-Martínez, A. J. 2020.** Applications of visible spectroscopy and color measurements in the Assessments of carotenoid levels in foods, In M. Rodríguez-Concepción & R. Welsch (Eds.) *Plant and Food Carotenoids*. 2083, pp. 375–386. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_8
- Mc Laurence, W. 2016.** Fluorinated Coatings and Finishes Handbook: The Definitive User's Guide, Second Edition. 630. 2016. ISBN 978-0-323-37126-1. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-01971-5>
- Nabais, P., Oliveira, J., Pina, F., Teixeira, N., De Freitas, V., Brasil, N.F., Clemente, A., Rangel, M., Silva, A.M.S. y Melo, M.J. 2020.** A 1000-year-old mystery solved: Unlocking the molecular structure for the medieval blue from *Chrozophora tinctoria*, also known as *folium*. *Sci. Adv.* 6(16):eaaz7772. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz7772>
- Padrón, P.C.A., Padrón, L.G.M., Montes, H.A.I. y Oropeza, G.R.A. 2016.** Procesamiento Digital de Imágenes: Determinación del color en muestras de alimentos y durante la maduración Delaware frutos. P. 103, 2016. ISBN: 5800119845746 - ASIN: B01MU1K0OF.
- Panesar, R. Kaur, S. y Panesar, P.S. 2015.** Producción de pigmentos microbianos utilizando residuos agroindustriales: una revisión. *Curr Opin Food Sci* 1:70–6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.002>
- Pathare, P. B., Opara, U. L. y Al-Said, F.A.J. 2013.** Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food Bioprocess Tech* 6(1):36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pérez-Rodríguez, L. 2013.** La medición del color: técnicas y fundamentos para el estudio de la ecología de las aves. *Revista de anillamiento SEO/Birdlife* 31-32:4-20, 2013.
- Ratprakhon, K., Neubauer, W., Riehn, K., Fritsche, J. y Rohn, S. 2020.** Developing an Automatic Color Determination Procedure for the Quality Assessment of Mangos (*Mangifera indica*) Using a CCD Camera and Color Standards *Foods* 9(11):1709. <https://doi.org/10.3390/foods9111709>
- Raynal-Villaseñor, J.A. 2011.** Cambio climático global: una realidad inequívoca, Ingeniería, investigación y tecnología. 12(4):421-427.
- Rettig, M. y Hen, A. 2014.** El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur* 42(2):57-66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Rios-Aguirre, S. y Gil-Garzón, M.A. 2021.** Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas* 24(51):e1836. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Ruck, L. y Clifford, T.B. 2015.** Quantitative analysis of Munsell color data from archeological ceramics. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 3:549-557, 2015., ISSN 2352-409X. <https://doi.org/10.1016/j.jasep.2015.08.014>

- Rymbai, H., Sharma, R.R. y Srivastav, M. 2011.** Biocolorants and Its Implications in Health and Food Industry—A Review. *J. of Pharm Tech Research* 3(4):2228–2244.
- Sampedro, F. Fan, X. y Rodrigo, D. 2010.** 3 - High hydrostatic pressure processing of fruit juices and smoothies: research and commercial application, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Case Studies in Novel Food Processing Technologies. pp 34-72, 2010. ISBN 9781845695514. <https://doi.org/10.1533/9780857090713.1.34>
- Sánchez, J. R. 2013.** La química del color en los alimentos. *Química Viva*, 12(3):234-246. ISSN: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86329278005.pdf>
- Segura, L.I., Salvadori, V.O. y Goñi, S.M. 2017.** Characterization of liquid food colors from digital images, *International Journal of Food Properties* 20: sup1, S467-S477, <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1299758>
- Sen, T., Barrow, C.J. y Deshmukh, S.K. 2019.** Microbial Pigments in the Food Industry—Challenges and the Way Forward. *Front. Nutr* 6(7). <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00007>
- Setchell, J.S. 2012.** 4 - Colour description and communication, Editor(s): Janet Best, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Colour Design (Second Edition), Woodhead Publishing, P. 99-129, 2012. ISBN 9780081012703. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101270-3.00004-7>
- Sliney, D. 2016.** What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye* 30:222–229. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.252>
- Spence, C. 2015.** On the psychological impact of food colour, *Flavour*. 4(21). <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0031-3>
- Spence, C., Smith, B. y Auvray, M. 2014.** Confusing tastes and flavours, In: Stokes D, Matthen M, Biggs S, editors. *Perception and its modalities*. Oxford: Oxford University Press. p. 247–274. <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199832798.003.0011>
- Twomey, C.R., Roberts, G., Brainard, D.H. y Plotkin, J.B. 2021.** What we talk about when we talk about colors. 118(39):e2109237118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109237118>
- Virtanen, O., Constantinidou, E. y Tyystjärvi, E. 2020.** Chlorophyll does not reflect green light – how to correct a misconception, *Journal of Biological Education* 56(5)552-559. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858930>
- Von, M. y Howard L. 2004.** 15 - Color, Dyes, Dyeing, and Printing, Editor(s): Von Moody, Howard L. Needles, In *Plastics Design Library, Tufted Carpet*, William Andrew Publishing. pp. 155-175, 2004. ISBN 9781884207990. <https://doi.org/10.1016/B978-188420799-0.50016-6>
- Wrolstad, R.E. y Smith, D.E. 2017.** Color Analysis. In: Nielsen, S.S. (eds) *Food Analysis*. Food Science Text Series. Springer, Cham. pp. 545–555. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31
- Wu, D. y Sun, D. W. 2013.** Colour measurements by computer vision for food quality control - A review, *Trends in Food Science and Technology* 29(1):5–20, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>