

Parámetros para la evaluación visual e instrumental del color dental en estudios in-vitro. Revisión de la literatura

Julián Andrés Ruíz–Pineda 1
Valentina Gaona–Amador 2
Carolina Torres–Rodríguez 3

Parameters for visual and instrumental assessment of tooth colour in in-vitro studies. Literature review

RESUMEN

Objetivo: establecer los parámetros para la evaluación visual e instrumental del color dental en estudios *in-vitro* a partir de la literatura científica publicada entre 2015 y 2021. **Métodos:** se realizó la búsqueda en las bases de datos: PubMed, Web of Science, Science Direct, Scopus, Scielo y Lilacs; también en el motor de búsqueda Google Académico y las bibliotecas de las editoriales Wiley y Springer. Las palabras clave utilizadas fueron *tooth, color, in-vitro, color perception, shade matching, thresholds, appearance, surrounding, "CIELAB" y "CIEDE2000"*. Teniendo en cuenta los criterios de elegibilidad, se seleccionaron los estudios de acuerdo al título, resumen y texto completo. **Resultados:** la búsqueda arrojó un total de 37 publicaciones que se agruparon en tres tópicos: 1. toma de color visual: condiciones ambientales, observadores y nivelación; 2. toma de color instrumental: instrumentos; y 3. procesamiento de datos: cálculo de la diferencia de color y umbrales de perceptibilidad (PT) y aceptabilidad (AT). **Conclusiones:** los aspectos más importantes en la evaluación visual son la iluminación, el ambiente para registro (sitio, entorno y fondo alrededor de la muestra), las condiciones geométricas de visualización, los observadores y el uso de guías. En la evaluación instrumental es relevante elegir el aparato apropiado de acuerdo con su precisión y reproducibilidad, como los espectroradiómetros y los espectrofotómetros de uso clínico. Se presenta el procesamiento de datos para establecer las variaciones de cada coordenada, las diferencias de color (ΔE): CIELAB y CIEDE2000, los umbrales y los lineamientos.

Palabras clave: diente; color; técnicas *in-vitro*; ambiente; percepción del color; procesamiento automatizado de datos; umbral diferencial.

ABSTRACT

Objective: To establish the parameters for the visual and instrumental evaluation of tooth color in *in-vitro* studies based on the scientific literature published between 2015 and 2021. **Methods:** The search was carried out in the databases of PubMed, Web of Science, Science Direct, Scopus, Scielo, Lilacs; search engine Google Scholar and publishers' library of Wiley and Scielo, using the keywords "tooth", "color", "in vitro", "color perception", "shade matching", "thresholds", "appearance", "surrounding", "CIELAB", and "CIEDE2000". The literature was selected according to the title, abstract and full text taking into the eligibility criteria. **Results:** It yielded a total of 37 publications, which were grouped into three topics: 1. visual color acquisition: environmental conditions for color acquisition, observers and levelling. 2. instrumental color sampling: instruments. 3. Data processing: Calculation of color difference and perception thresholds (PT) and acceptability thresholds (AT). **Conclusions:** The most important aspects in the visual assessment are lighting, the environment for color registration (site, environment and background around the sample), the geometric conditions of visualization, the observers and the use of guides. Regarding the instrumental assessment of color, the appropriate devices must be chosen according to its precision and reproducibility, being the spectrophotometers and spectroradiometers the most precise ones. It is presented how the data processing is carried out to establish the variations of each coordinate, the color differences (ΔE): CIELAB and CIEDE2000, thresholds and guidelines.

Key words: Tooth; Color; In vitro techniques; Color perception; Electronic data processing; Differential threshold.

1. Estudiante de Pregrado. Facultad de Odontología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contacto: juaruizpi@unal.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-7033-7547>

2. Estudiante de Pregrado. Facultad de Odontología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contacto: vgaonaa@unal.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4238-8045>

3. Odontóloga. Especialista en Rehabilitación Oral. PhD en Materiales Dentales. Profesora titular. Departamento de Salud Oral. Facultad de Odontología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contacto: ctorresr@unal.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-1416-8472>

CITACIÓN SUGERIDA:

Citación sugerida: Ruíz–Pineda JA, Gaona–Amador V, Torres–Rodríguez C. Parámetros para la evaluación visual e instrumental del color dental en estudios in-vitro. Revisión de la literatura. *Acta Odont Col.* 2022; 12(2): 61–77. <https://doi.org/10.15446/aoc.v12n2.101164>

 <https://doi.org/10.15446/aoc.v12n2.101164>

Recibido	Aprobado
01/03/2022	17/06/2022
Publicado	
15/07/2022	

Introducción

El color es una respuesta psicofisiológica que proviene de la interacción de tres factores importantes: el observador, la fuente luminosa y el objeto. Estos factores deben controlarse para realizar un juicio visual adecuado. Cuando la luz blanca es emitida, esta viaja hasta incidir en un objeto, lo cual provoca diferentes fenómenos ópticos como transmisión, reflexión, dispersión y absorción. A partir de estos fenómenos se determina el color final de un objeto (1, 2).

En estudios *in-vitro* previos se ha observado que los medios de almacenamiento y la técnica de evaluación de color pueden afectar su determinación (3-5), por lo que es necesario hacer la evaluación tanto visual como instrumental. La técnica visual utiliza colores estándares aceptados y conocidos como referencia (guías de color) y las compara con el diente a ser evaluado. La técnica instrumental consiste en medir el color utilizando un instrumento.

Actualmente, se tienen dificultades para establecer los protocolos para la toma de color visual e instrumental en estudios *in-vitro*. Esto, debido a que es un procedimiento complejo por la cantidad de factores que pueden alterar el proceso: la amplia información reportada en la literatura, la falta de estandarización y, por último, la validez de los métodos y los actuales avances tecnológicos e instrumentales. Así, el presente estudio es una revisión de literatura cuyo objetivo es establecer los aspectos para tener en cuenta cuando se realiza la toma de color visual e instrumental en dientes humanos en estudios *in-vitro*, el procesamiento de los datos y, adicionalmente, proponer los lineamientos para futuros estudios en el Biobanco de Dientes de la Universidad Nacional de Colombia.

Métodos

En primer lugar, se consultaron las bases de datos bibliográficas Pubmed, Web of Science, Science Direct, Scopus, Google Académico, Wiley, Scielo, Lilacs y Springer. Las palabras clave utilizadas fueron *tooth, color, in vitro, color perception, shade matching, thresholds, appearance, surrounding*, CIELAB y CIEDE2000. Para ello, se usaron ecuaciones de búsqueda con los conectores booleanos AND y OR (Véase Tabla 1).

Los límites de inclusión fueron artículos experimentales que abordaran mediciones de color dental en dientes humanos extraídos, revisiones de literatura acerca de técnicas de evaluación de color (visual e instrumental) y artículos en bola de nieve. También, libros y literatura gris, publicados entre 2015 y 2021, con texto completo en idioma inglés o español. Por su parte, los criterios de exclusión fueron publicaciones referentes a mediciones de color *in-vivo* y en laboratorio, blanqueamiento, encía, materiales de restauración y dientes no humanos.

Posteriormente, tres evaluadores realizaron la selección, primero por título, luego por resumen y finalmente, por texto completo. Los criterios de elegibilidad fueron objetivo, métodos usados para la medición (instrumental y visual), aspectos estudiados (percepción, selección de color, umbrales, apariencia, ambiente y cálculo de la diferencia de color), resultados y conclusiones. De los 97 artículos escogidos, se incluyeron 37 y se

descartaron 60, ya que no respondían a los criterios de elegibilidad y, además, porque no contenían información relevante o resultaban ser estudios clínicos (Véase Figura 1). Los artículos seleccionados se almacenaron en Mendeley y se clasificaron en una matriz de Excel por base de datos.

Consideraciones éticas

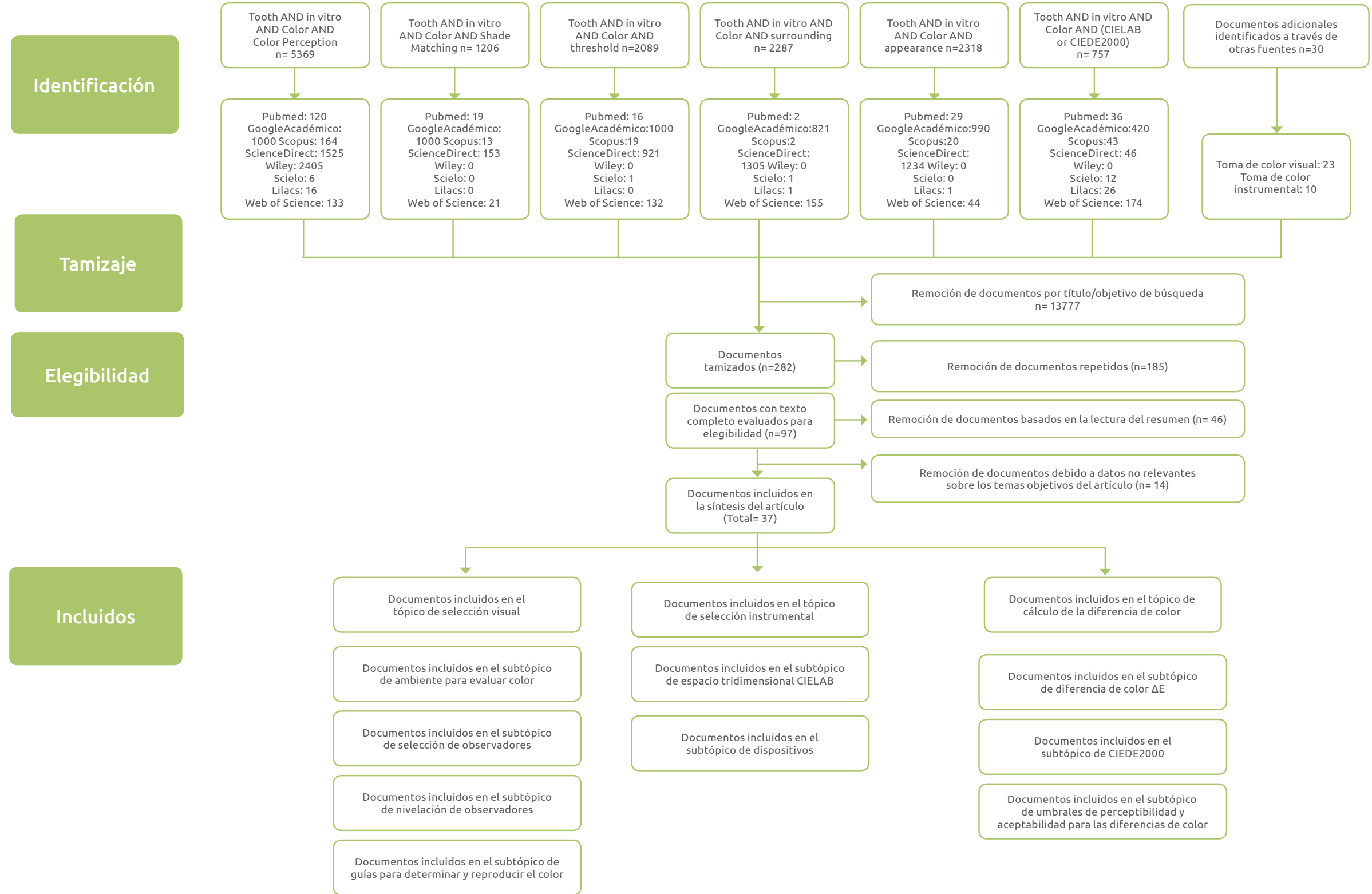
Esta revisión de literatura se rige bajo los principios de integridad científica. No se han manipulado ni omitido datos relevantes de los materiales de investigación. Así mismo, se mantiene la imparcialidad frente a los resultados encontrados. Los documentos incluidos en la realización de este artículo han sido debidamente citados y referenciados, cumpliendo así con las responsabilidades de en cuanto a divulgación de resultados de investigación con integridad.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda estructurada realizada en las bases de datos PubMed/ Google Académico/ Scopus/ Science Direct/ Lilacs/ Wiley/ Scielo/ Web of Science.

Búsqueda	Temas y Términos
1	Percepción: "Tooth" [Mesh] AND "Color" [Mesh] AND "Color Perception" [Mesh]
2	Selección de color: "Tooth" [Mesh] AND "Color" [Mesh] AND "Shade Matching"
3	Umbrales: "Tooth" [Mesh] AND "Color" [Mesh] AND "threshold"
4	Apariencia: "Tooth" [Mesh] AND "Color" [Mesh] AND "appearance"
5	Ambiente: "Tooth" [Mesh] AND "Color" [Mesh] AND "surrounding"
6	Cálculo de la diferencia de color: "Tooth" [Mesh] AND "Color" [Mesh] AND "(CIELAB OR CIEDE2000)"

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Resultados de la búsqueda.



Resultados

Toma de color visual

Condiciones ambientales para la toma de color

La medición del color se ve altamente influenciada por el entorno en el cual se realiza el registro. Con base en los resultados de la búsqueda, los factores más influyentes son:

Iluminación

Existen factores que alteran la percepción de la luz como la localización geográfica, los cambios de horario y los factores meteorológicos. En ese sentido, es importante crear un ambiente con una intensidad de luz adecuada, debido a que las variaciones en la misma reducen la capacidad para evaluar el color y pueden “eliminar” las diferencias entre el diente y las guías de color (1).

Para determinar el color dental, acorde a la norma ISO/TR 28642:2016, el iluminante debe ser del tipo D (*daylight*), con una temperatura del color de 6500°K (CIE D65); asimismo, debe contar con un Índice de Reproducción Cromática (IRC) mayor a 90 (1, 2). Además, requiere estar espectralmente equilibrado en el rango visible (380–780 nm) de la luz estándar “día” y una luminancia controlada de 1000-2000 lux (lx) (1, 2, 6). Al respecto, la literatura menciona que, si se usa una luz de al menos 1500 lx, se podría superar la iluminación ambiental, lo que resulta de utilidad en casos en los cuales la medición del color se realiza en un cuarto iluminado (1). Por último, se recomienda usar el iluminante seleccionado previo precalentamiento y siguiendo las indicaciones de tiempo de uso del fabricante.

Algunos autores han analizado el uso de otros iluminantes y su efectividad a la hora de evaluar el color —como las luces *daylight* con dispositivos correctores de luz o con filtros polarizados— concluyendo que los correctores de luz afectan la evaluación del color mientras que los filtros polarizados no (7, 8). Otra opción reportada en la literatura es la utilización de luces de mano, diseñadas específicamente para medir color en odontología, las cuales han demostrado ser una buena alternativa para vencer la influencia del entorno, pues ofrecen buenos resultados en la toma de color (1, 8, 9).

Ambiente para registro del color

Un sitio adecuado para la toma de color es un cuarto totalmente oscuro en el que la luz externa no interfiera con el iluminante ni con la capacidad visual del observador. La mejor opción es el uso de cabinas de luz que cumplen altos estándares de consistencia y calidad para visualización de color, porque se adecuan a las especificaciones técnicas para la toma de color visual expuestas en la norma ISO/TR 28642:2016. Igualmente, se elimina la implementación de cualquier color brillante que afecte la capacidad visual del observador (2).

La superficie donde se colocan las muestras dentro de la cabina de luz se denomina fondo (2). Se sugiere que este abarque 10 cm alrededor del diente en el campo visual del observador (1, 6) y que sea de color gris neutro. La literatura también reporta que se puede

emplear un fondo negro para detectar ligeras diferencias de color (10, 11), pues tiene buena tasa de éxito al momento de correlacionar el color dental (12); esto sería favorable en estudios *in-vitro* que requieran determinar pequeños cambios de color.

Condiciones geométricas y distancia del observador

Las condiciones geométricas se definen como el ángulo formado entre la posición del iluminante y la del observador a la muestra, lo cual se expresa en términos de geometría de iluminación/geometría de observación. A la fecha, se han empleado varios tipos de geometrías ópticas para medición visual del color en odontología; sin embargo, los más aceptados en la literatura son: $0^\circ/45^\circ$ o $0^\circ/d$ y $45^\circ/0^\circ$ o $d/0^\circ$, en donde d indica difusa, el numerador hace referencia a la geometría de iluminación y el denominador a la geometría de observación (1, 2, 13). Se recomienda el uso de la geometría óptica $45/0^\circ$ o $d/0^\circ$ en investigación, ya que con ello se evitan reflejos y la influencia de factores externos y, asimismo, se puede medir el color real (6, 13).

Aunque la norma menciona la posición del observador estándar a 50 cm del objeto (2), algunas investigaciones aconsejan situar al observador a una distancia entre 25-35 cm de la muestra (1, 13). Lo anterior, porque la información percibida de una muestra con un tamaño de 2 cm o menos mejora a una distancia de 25 cm debido a diferencias en las células sensoriales de la retina (14). Por el contrario, al ubicarse a 50 cm de la muestra, el observador procesa mucha información superflua, lo que sacrifica precisión para la coincidencia de tonos entre la muestra y la guía de color (1, 14).

Observadores

El observador (preferiblemente capacitado) analiza las muestras tomando como referencia las guías de color dental establecidas y aceptadas internacionalmente. Este análisis visual resulta ser subjetivo y, en cierto punto, inconsistente, puesto que múltiples variables físicas, fisiológicas y psicológicas (edad, género, experiencia, alteraciones visuales y fatiga ocular, etc.) pueden interferir en su habilidad para diferenciar el color (15). Estudios con fines investigativos requieren un número mínimo de observadores, pruebas específicas para evaluar su agudeza visual, así como métodos de nivelación y entrenamiento, los cuales se describen a continuación.

Número

Se reconoce que la repetibilidad de mediciones de un solo observador y la reproducibilidad de mediciones entre múltiples observadores es muy baja, por lo que al menos 20 observadores deben participar en este procedimiento. Idealmente, si el estudio planeado estratifica los observadores en varios grupos (odontólogos, técnicos dentales, auxiliares, estudiantes, pacientes o personas sin experiencia), se debería contar con 20 observadores por grupo (6).

Selección

Todos los observadores deben ser evaluados previamente para detectar deficiencias en la percepción de color y sus habilidades para diferenciar el mismo. Para ello, existen dos pruebas generales de discriminación de color y una específica en odontología (2, 6, 16). La primera es el test de Ishihara, que hace uso de placas pseudoisocromáticas con el fin de detectar deficiencias para los colores rojo-verde y algunos tipos de discromatopsia adquirida (2, 16); su resultado se obtiene de acuerdo con la cantidad de errores presentados. La segunda es el test de Farnsworth-Munsell 100 Hue (FM), una prueba estándar de discriminación de tonos, también conocida como pruebas de disposición de colores. En esta, los observadores deben organizar las muestras de color por similitud en una serie secuencial entre varios matices de un color determinado, de acuerdo con el valor y croma que aumenta o disminuye de forma gradual (2, 13, 16). A su vez, la prueba específica de discriminación de color en odontología consiste en hacer coincidir pares de tonos de dos guías de colores del mismo sistema (guía VITA Classical) en un lapso de 10 minutos; la primera guía debe tener su nomenclatura original y la segunda personalizada. La prueba se puede repetir con intervalos de, al menos, siete días entre ellas, en cuyo caso se cuenta la puntuación obtenida más alta de las dos.

Así, después de aplicar estas pruebas, los participantes son clasificados con relación a su experiencia y, dependiendo del objetivo del estudio, los diferentes grupos pueden ser incluidos (2, 16). Para ser participantes en estudios de color en odontología, los observadores deben, como mínimo, demostrar una visión y una discriminación normales o superior del color. En ese sentido, se debe realizar la prueba de Ishihara y la prueba específica de discriminación de color en odontología. No es necesario realizar la prueba FM debido a que existe correlación entre esta y la prueba específica (16).

Nivelación

Una vez elegidos, mínimo, 20 observadores con discriminación normal o superior del color, estos deben someterse a una nivelación, que consiste en diversas metodologías de enseñanza como lecturas informativas, seminarios, programas web o sistemas de formación en línea y ejercicios en cabinas de visualización (8, 17) o con luces de mano, con o sin filtro polarizador (8). Se ha encontrado en varios estudios que los anteriores sistemas tienen un efecto positivo en la selección visual del color, pero deben ser practicados regularmente (17–20). Con respecto a la experiencia del observador, algunos autores mencionan que es significativa en el rendimiento para la toma de color (21), aunque otras investigaciones exponen lo contrario (22). Incluso, existe un ensayo piloto, con nivel 3 de evidencia, de un protocolo de entrenamiento para personas con alteraciones en la visión del color que ha demostrado resultados significativos (23).

En la literatura se debate frecuentemente sobre el género y la experiencia. Algunos trabajos comentan que ambos no son significativos (24) y afirman que el género no influye en la evaluación del color (25, 26); por el contrario, hay investigaciones que aseveran que las mujeres tienen mayor precisión en la evaluación visual del color (15, 26, 27); otros autores señalan que la experiencia sí es significativa (28). Por todo lo anterior, se necesita mayor evidencia para llegar a una conclusión.

Por último, una alternativa válida para entrenarse en color es el programa de formación web gratuito (Dental Color Matcher) de la Society for Color and Appearance in Dentistry (SCAD), que tiene, entre otros, ejercicios de prueba de visión tipo test de Ishihara, lecturas para capacitación con información de color en odontología, ejercicios de combinación de colores y una evaluación final de 12 preguntas (8).

Toma de color instrumental

Instrumentos

Con el avance de la tecnología, se han producido instrumentos para la medición de color dental que permiten determinarlo de manera objetiva, precisa y rápida, lo cual reduce las imperfecciones e inconsistencias de la toma de color visual. Los espectrorradiómetros y espectrofotómetros son el *gold standard* para estudios *in-vitro*.

Por un lado, los espectrorradiómetros (Spectracam®, CS-2000) brindan mediciones precisas y altamente repetibles debido a que no hay pérdida en la emisión de fotones. En estos, el color se mide desde la distancia, lo que disminuye el error relacionado con la curvatura de la superficie, la pérdida de borde y la translucidez (13, 29, 30). De esta manera, se obtiene la toma de color sin contacto con la muestra coincidiendo con la geometría de la evaluación visual (13, 29).

De otra parte, los espectrofotómetros de uso clínico (Vita EasyShade®, SpectroShade-TMMicro® y CrystalEye) y los colorímetros (Shade eye-NCC®) han demostrado ser confiables, con una buena reproducibilidad y repetibilidad al evaluar el color dental; es decir, obtienen mejores resultados en la determinación del color en comparación con el método visual (13, 21, 31-33). Los espectrofotómetros son los más utilizados en la práctica odontológica, puesto que permiten igualar y reproducir en gran proporción el color dental debido a su configuración de iluminación y de medición. Es importante entender cómo funciona el instrumento, para evitar procedimientos erróneos como calcular el ángulo incorrecto al sujetar el instrumento o la deshidratación del diente (31).

De otro lado, los colorímetros muestran buena repetibilidad en la medición del color, pero solo captan la luz reflejada en colores específicos del sistema RGB (rojo, azul y verde) y, adicionalmente, tienen filtros de corrección espectral que limita la información de la luz que llega a la superficie del detector (33). Aunque son los instrumentos más utilizados, los espectrofotómetros y colorímetros presentan deficiencias en la toma de color, porque miden el color por contacto y se basan en la reflexión de la luz, lo cual genera errores de medición por la superficie curva de los dientes (30); igualmente, se pierde reflexión y una fracción considerable de la luz causada por la translucidez que incide en el borde del diente (33). Al presentar una ventana pequeña de medición, algunos de los fotones que inciden en la muestra son remitidos fuera, pasando desapercibidos por el sensor, lo que ocasiona errores en la medición del color (29).

La literatura ha descrito la combinación de cámaras fotográficas —referencias Nikon®, Canon® o Shofu EyeSpecial® con aditamentos de iluminación (Ring-flash o Twin-flash)— y polarizadores, para obtener imágenes digitales en un ambiente óptimo, así como el

uso de programas para su análisis (29, 32, 34). Los sistemas de imágenes digitales, como la combinación de cámara fotográfica y uso de *softwares*, permiten la toma de color sin contacto con la muestra y demuestran ser innovadores. Estos sistemas funcionan capturando la luz en los colores primarios (rojo, azul y verde) similar a los colorímetros. Las cámaras de mejor calidad cuentan con sensores que filtran los tres colores en cada píxel, lo que hace más precisa su medición en los *softwares* (29, 32). Un estudio comparó la cámara SLR digital junto a un software gráfico con el espectrofotómetro Vita Easyshade Compact* y encontró que las mediciones de L* y b* obtenidas por el sistema digital se correlacionaron con los obtenidos con el espectrofotómetro (35).

Procesamiento de datos

Una vez obtenidos los datos de la medición instrumental, se procede a medir las variaciones de las coordenadas L*, a*, b*, C* y el ángulo del matiz h° del espacio Cielab; también las diferencias de color tanto del CIELAB como del CIEDE2000 y se determinan los umbrales de perceptibilidad y aceptabilidad.

Espacio CIELAB

El espacio tridimensional de color CIELAB ayuda a especificar los estímulos de color por medio de 3 ejes: L*: luminosidad (0=negro y 100=blanco), a*: (+a*=rojo y -a*=verde) y b* (+b*=amarillo; -b*=azul). Las coordenadas L*, a* y b* son ejes cartesianos que permiten obtener un punto en el espacio tridimensional de color. Por otra parte, CIE L*C*h° es una expresión de CIELAB que, en algunos casos, puede tener un mayor interés práctico (1). En este, el color es definido por la luminosidad (eje L*), el croma o saturación (eje C*) y el ángulo de matiz (eje h°). Las coordenadas L* y C* se obtienen a partir de las siguientes fórmulas matemáticas (13, 36):

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Fórmulas de diferencias de color (ΔE): CIELAB y CIEDE2000

Se define delta E (ΔE) como la distancia dentro del espacio CIELAB entre dos estímulos diferentes que se encuentren en entornos idénticos y con las mismas condiciones de iluminación. Para calcular la diferencia de color existen dos fórmulas: CIELAB (ΔE*_{ab}) y CIEDE2000 (ΔE₀₀). La primera utiliza la siguiente fórmula que ha sido usada en múltiples campos y aplicaciones (13, 33):

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

La fórmula CIEDE2000 [1:1:1] fue diseñada para que las diferencias de color fueran homogéneas en cuestiones perceptuales; no obstante, su uso no coincide con los juicios visuales desarrollados en la evaluación subjetiva del color (13, 36). Por esta razón, surge la fórmula CIEDE2000 [2:1:1] que corrige la uniformidad en pequeñas diferencias de color existentes, los efectos de la dependencia de la luminosidad, el croma, el tono, la interacción entre el tono y el croma, así como la escala a lo largo del eje a^* , para mejorar la uniformidad en los tonos grises. La literatura asegura que la fórmula de diferencia de color CIEDE2000 ofrece mayor ajuste en cuanto a las diferencias de color percibidas por juicios visuales, lo que proporciona mejores resultados en percepción y aceptación (33, 36). En consecuencia, sugieren el uso de la métrica de diferencia de color CIEDE2000 [2:1:1] (3, 10). Sin embargo, ninguna fórmula actualmente ha sido 100 % eficiente (34). Para calcular CIEDE2000 (ΔE_{00}) se utiliza la siguiente fórmula (33):

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

Umbral de perceptibilidad y aceptabilidad

Principalmente, existen dos umbrales utilizados para la toma de color en odontología: el umbral de perceptibilidad (PT) y el de aceptabilidad (AT). El primero consiste en la diferencia de color más pequeña que puede ser detectada o percibida por un observador (6). De esta manera, el valor 50:50 % de PT corresponde a la diferencia de color que puede ser notada, en condiciones controladas, por el 50 % de los observadores frente al 50 % que no notan diferencia de color. Los valores de diferencia de color percibidos por los observadores pueden ser aceptados o no por los mismos. Por su parte, AT consiste en si esa diferencia de color percibida es aceptada por el observador o necesita corrección de color. Así, un 50:50 % AT se refiere a la diferencia de color que es aceptable por el 50 % de los observadores frente al 50 % de los observadores que consideran necesaria una corrección de color (2). En odontología, cuando el umbral de PT y AT es igual o menor de 50:50 % se considera una coincidencia de color casi perfecta y aceptable (2).

La aplicación de estos umbrales en investigación es de suma relevancia para la interpretación de resultados *in-vitro* como evaluadores de control de calidad. Utilizando la fórmula de diferencia de color CIELAB y CIEDE2000, múltiples estudios reportaron diversos valores de PT y AT, por lo que se requirió un enfoque sistemático y la estandarización (6), definiendo los valores de 50:50 % PT: ΔE_{ab}^* : 1.77 y ΔE_{00} : 0.81 y los valores de 50:50 % AT: ΔE_{ab}^* : 2.66 y ΔE_{00} : 1.77 (13, 23).

Discusión

Esta revisión reunió la información en tres tópicos: medición visual e instrumental y procesamiento de datos. En cada uno se especificaron los aspectos reportados según la literatura, teniendo en cuenta las normas ISO y la información proporcionada por los autores. De este modo, se estableció que los parámetros más difíciles de estandarizar son

los de toma de color visual, ya que no se evidenció en la búsqueda un protocolo, pero sí se mencionan parámetros como ambientes estandarizados y geometría óptica para la toma de color. Además, resalta la importancia de contar con un número mínimo de observadores previamente evaluados, entrenados y nivelados con el fin de otorgar resultados estadísticamente representativos. Para el investigador es importante procurar seguir estos parámetros para lograr una secuencia clara y repetible.

Sobre el género y la experiencia, son diversas las diferencias que se encuentran en la literatura. Algunos autores afirman que el género no influye en la precisión para la toma de color (24, 26); por el contrario, otras investigaciones mencionan que las mujeres son más precisas que los hombres (15). También, existen estudios que comparan los efectos de la nivelación en la selección de color obteniendo buenos resultados, pero indican que estos deben ser practicados metódicamente (17-20). Por otro lado, la experiencia sí es un determinante significativo en el rendimiento a la hora de la toma de color (21). En consecuencia, la combinación de la experiencia y la nivelación constante de los observadores permitirá mediciones visuales más precisas y confiables.

Respecto a la toma de color instrumental, esta comprende una secuencia diferente debido a que es un dispositivo el que realiza la medición; por tal razón, el investigador debe comprender el funcionamiento y las limitantes de cada instrumento. La literatura, frecuentemente, menciona el uso de espectrofotómetros de uso clínico, que, aunque no son los instrumentos ideales, presentan gran porcentaje de reproducibilidad y repetibilidad y, además, son más económicos que los espectroradiómetros. La innovación encontrada son los sistemas digitales que no son aprobados formalmente, porque faltan estudios que validen su precisión y reproducibilidad.

Hasta la fecha, se han descrito distintos métodos para procesar los datos obtenidos en cuanto a las diferencias de color, entre ellas destacan las fórmulas CIELAB delta E, CIEDE2000 [1:1:1] y CIEDE2000 [2:1:1]. Estas han sido ampliamente descritas en la literatura; sin embargo, todavía no existe algún cálculo que se ajuste al 100%. Por esta razón, se sugiere utilizar CIEDE2000 [2:1:1], porque tiene mayor acercamiento en cuanto a los juicios visuales y también permite mejores resultados en cuanto a perceptibilidad y aceptabilidad. Como resultado final se propone lo siguiente:

Lineamientos para la toma de color visual en investigación in-vitro:

1. Ambiente para registro del color: organizar el sitio de toma de color de acuerdo con las especificaciones descritas:
 - a. Cuarto oscuro.
 - b. Cabina de luz color mate neutral (gris claro) con iluminante D65-6500°K e IRC>90.
 - c. Soporte de muestra que cumpla la geometría óptica 45/0° con fondo gris neutro o negro.
2. Limpieza del espécimen: realizar la desinfección y limpieza de los dientes con pasta de profilaxis manteniendo la humedad relativa del diente.

3. Guías de color: utilizar guías previamente desinfectadas, almacenadas correctamente y no expuestas al sol (37). Se recomienda usar la guía Vita Classical® por facilidad de uso.
4. Posición del observador y distancia del objeto: el observador debe observar el diente a 45° y a una distancia de ± 30 cm (13).
5. Selección del color de la muestra: para tomar el color es necesario observar el tercio medio, pues representa un sitio promedio del diente. Es importante seguir las instrucciones de la guía seleccionada y su nomenclatura debe ser personalizada.
6. Tiempo de observación: la toma de color puede tomarse de 5 a 7 segundos. Entre tomas, el observador debe mirar una superficie plana de color gris para disminuir la fatiga ocular (1)

Lineamientos para la toma de color instrumental en investigación *in-vitro*:

Basado en el espectroradiómetro, puesto que actualmente es el instrumento más adecuado, se sugiere (38-40):

1. Encender el dispositivo, un PC y el software respectivo.
2. Ubicar espectroradiómetro y la iluminación. El espectroradiómetro debe ubicarse perpendicular y la iluminación, dependiendo del dispositivo, a 45° hacia el objetivo.
3. Alineación y enfoque del sistema óptico.
4. Realizar la respectiva calibración del dispositivo.
5. Seleccionar la configuración de la medición.
6. Ubicar el espécimen y realizar la medición.
7. Recopilar los datos mediante el software y enviarlos al PC para análisis.

A partir de esta revisión, se concluye que los aspectos más importantes a tener cuenta cuando se realiza una toma de color visual son: iluminación, ambiente para registro del color (sitio, uso de cabinas de luz y fondo alrededor de la muestra), las condiciones geométricas de visualización, los observadores, el uso de las guías y, en lo instrumental, elegir el aparato adecuado. Se proponen los lineamientos para toma de color visual e instrumental de acuerdo a la literatura y con los datos obtenidos se deben aplicar las fórmulas de diferencia de color CIELAB y el CIEDE 2000 [2:1:1] y obtener los PT y AT.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia-sede Bogotá, División de investigación (DIB) sección de bibliotecas, por proporcionar los recursos electrónicos para la búsqueda y la adquisición de la literatura. Al doctor Oscar Emilio Pecho Yataco por la asesoría y acompañamiento en la escritura de este artículo.

Contribuciones de los autores

Julián Andrés Ruíz Pineda y Valentina Gaona Amador plantearon el título, los objetivos y la pregunta problema, realizaron la búsqueda de literatura, la propuesta de tópicos, la lectura, así como la aplicación de criterios de inclusión y exclusión y la clasificación por tópicos de la literatura encontrada. Además, elaboraron las tablas y figuras, contribuyeron en la redacción y correcciones del documento y la propuesta de protocolo de toma de color visual e instrumental a partir de la literatura consultada para aplicación en próximos estudios de color *in-vitro*. Carolina Torres Rodríguez propuso la revisión para el Banco de Dientes de la Universidad Nacional de Colombia, los tópicos y asimismo guio el paso a paso de la revisión bibliográfica sistematizada. Realizó correcciones de contenido, redacción, complementó la escritura del documento hasta la versión final, hizo la revisión coherente entre el título, los objetivos, metodología, resultados y conclusiones.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay ningún conflicto de interés de tipo económico, personal o beneficio secundario.

Referencias

1. Goldstein RE, Chu SJ, Lee EA, Stappert R. Understanding Color. In: Goldstein RE, Chu SJ, Lee EA, Stappert R. Goldstein 's Esthetics in Dentistry. Third edition. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc; 2018: 270–292. <https://doi.org/10.1002/9781119272946>
2. ISO/TR 28642:2016. Dentistry — Guidance on colour measurement. In: ISO. second edition. Vernier: ISO; 2016: 10.
3. Torres-Rodríguez C, Santiago-Medina AM, Delgado-Mejía E. Medios de almacenamiento de dientes para estudios de color. *CES Odontol.* 2020; 33(2): 136–146. <https://doi.org/10.21615/cesodon.33.2.12>
4. Suárez-Fajardo IG. Análisis espectrofotométrico del esmalte dental sometido a una sustancia blanqueadora experimental. [Trabajo de grado para optar al título de magíster en odontología]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2017. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63255/1032364398.2018..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. González-García J. Análisis químico del esmalte dental humano tratado con una sustancia remineralizante experimental. [Trabajo de grado para optar al título de especialista en rehabilitación oral]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2015. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55518/53105564.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

6. Paravina RD, Pérez MM, Ghinea R. Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *J Esthet Dent*. 2019; 31(2): 103–112. <https://doi.org/10.1111/jerd.12465>
7. Gasparik C, Grecu AG, Culic B, Badea ME, Dudea D. Shade-Matching Performance Using a New Light-Correcting Device. *J Esthet Dent*. 2015; 27(5): 285–292. <https://doi.org/10.1111/jerd.12150>
8. Clary JA, Ontiveros JC, Cron SG, Paravina RD. Influence of light source, polarization, education, and training on shade matching quality. *J Prosthet Dent*. 2016; 116(1): 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.008>.
9. Najafi–Abrandabadi S, Vahidi F, Janal MN. Effects of a shade-matching light and background color on reliability in tooth shade selection. *Int J Esthet Dent*. 2018; 13(2): 198–206. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29687098>
10. Medeiros JA, Pecho OE, Pérez MM, Carrillo–Pérez F, Herrera LJ, Della–Bona A. Influence of background color on color perception in dentistry. *J Dent*. 2021; 108(103640): 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103640>
11. Pérez MM, Della–Bona A, Carrillo–Pérez F, Dudea D, Pecho OE, Herrera LJ. Does background color influence visual thresholds? *J Dent*. 2020; 102(103475): 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103475>
12. Dudea D, Gasparik C, Botos A, Alb F, Irimie A, Paravina RD. Influence of background/surrounding area on accuracy of visual color matching. *Clin Oral Investig*. 2016; 20(6): 1167–1173. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1620-3>
13. Bona–Della A. Color and Appearance in Dentistry. First edition. Passo Fundo: Springer International Publishing; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42626-2>
14. Klinke T, Bratner S, Hannak W, Boening K, Jakstat H. Influence of Viewing Distance on Visual Color Differentiation In Vitro. *Int J Prosthodont*. 2021; 35(2): 1–17. <https://doi.org/10.11607/ijp.7115>
15. Pecho OE, Ghinea R, Perez MM, Della–Bona A. Influence of Gender on Visual Shade Matching in Dentistry. *J Esthet Restor Dent*. 2017; 29(2): 15–23. <https://doi.org/10.1111/jerd.12292>
16. Simionato A, Pecho OE, Della–Bona A. Efficacy of color discrimination tests used in dentistry. *J Esthet Restor Dent*. 2021; 33(6): 865–873. <https://doi.org/10.1111/jerd.12673>
17. Olms C, Jakstat H. Learning Shade Differentiation Using Toothguide Trainer and Toothguide Training Box: A Longitudinal Study with Dental Students. *J Dent Educ*. 2016; 80(2): 183–190. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2016.80.2.tb06074.x>

18. Ristic I, Stankovic S, Paravina RD. Influence of Color Education and Training on Shade Matching Skills. *J Esthet Restor Dent*. 2016; 28(5): 287–294. <https://doi.org/10.1111/jerd.12209>
19. Alkhudairy R, Tashkandi E. The Effectiveness of a Shade-Matching Training Program on the Dentists' Ability to Match Teeth Color. *J Esthet Restor Dent*. 2017; 29(2): 33–43. <https://doi.org/10.1111/jerd.12286>
20. Corcodel N, Krisam J, Klotz AL, Deisenhofer UK, Stober T, Hassel AJ, et al. Evaluation of small-group education on the shade determination ability of preclinical dental students-A controlled clinical trial. *Eur J Dent Educ*. 2018; 22(3): 582–587. <https://doi.org/10.1111/eje.12355>
21. Kröger E, Matz S, Dekiff M, Tran BL, Figgenger L, Dirksen D. In vitro comparison of instrumental and visual tooth shade determination under different illuminants. *J Prosthet Dent*. 2015; 114(6): 848–855. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.06.004>
22. Yilmaz B, Irmak Ö, Yaman BC. Outcomes of visual tooth shade selection performed by operators with different experience. *J Esthet Restor Dent*. 2019; 31(5): 500–507. <https://doi.org/10.1111/jerd.12507>
23. Wagner S, Rioseco M, Ortuño D, Cortés MF, Costa C. Effectiveness of a protocol for teaching dental tooth color in students with color vision impairment. *J Esthet Restor Dent*. 2020; 32(6): 601–606. <https://doi.org/10.1111/jerd.12451>
24. Aswini KK, Ramanarayanan V, Rejithan A, Sajeev R, Suresh R. The effect of gender and clinical experience on shade perception. *J Esthet Restor Dent*. 2019; 31(6): 608–612. <https://doi.org/10.1111/jerd.12520>
25. Ristić I, Paravina R. Does gender influence color matching quality?. *Balk J Dent Med*. 2016; 20(3): 89–93. <https://doi.org/10.1515/bjdm-2016-0014>
26. Imbery TA, Killough C, Baechle MA, Hankle JL, Janus C. An evaluation of factors affecting dental shade matching in first-year dental students. *J Prosthet Dent*. 2021;1–7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.030>
27. Imbery TA, Tran D, Baechle MA, Hankle JL, Janus C. Dental Shade Matching and Value Discernment Abilities of First-Year Dental Students. *J Prosthodont*. 2018; 27(9): 821–827. <https://doi.org/10.1111/jopr.12781>
28. Jain M, Jain V, Yadav N, Jain S, Singh S, Raghav P, et al. Dental students tooth shade selection ability in relation to years of dental education. *J Fam Med Prim Care*. 2019; 8(12): 4010. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_803_19
29. Chandrasekaran I. In vitro Accuracy of Colors of Dental Shades using Different Digital Camera Systems. [Thesis for the Degree Master of Science]. Ohio: The Ohio State University; 2018. Disponible en: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu1525695073227671&disposition=inline

30. Luo W, Naeeni M, Platten S, Wang J, Sun JN, Westland S, *et al.* The in vitro and in vivo reproducibility of a video-based digital imaging system for tooth colour measurement. *J Dent.* 2017; 67(sup): 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.012>
31. Alshiddil, Richards L. A comparison of conventional visual and spectrophotometric shade taking by trained and untrained dental students. *Aust Dent J.* 2015; 60(2): 176–181. <https://doi.org/10.1111/adj.12311>
32. Moussa R. Dental Shade Matching: Recent Technologies and Future Smart Applications. *J Dent Heal Oral Res.* 2021; 2(1): 1–10. <http://dx.doi.org/10.46889/JDHOR.2021.2103>
33. Pecho OE, Ghinea R, Alessandretti R, Pérez MM, Della-Bona A. Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. *Dent Mater.* 2016; 32(1): 82–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2015.10.015>
34. Mahn E, Tortora SC, Olate B, Cacciuttolo F, Kernitsky J, Jorquera G. Comparison of visual analog shade matching, a digital visual method with a cross-polarized light filter, and a spectrophotometer for dental color matching. *J Prosthet Dent.* 2021; 125(3): 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.02.002>
35. Dhruv A, Kumar S, Anand D, Sundar M, Sharma R, Gaurav A. Shade Selection: Spectrophotometer VS Digital Camera – A Comparative In Vitro Study. *APRD-IP.* 2016; 2(3): 73–78. Disponible en: <https://www.aprd.in/article-details/2823>
36. Gómez-Polo C, Montero J, Gómez-Polo M, Martín-Casado A. Comparison of the CIE Lab and CIEDE 2000 Color Difference Formulas on Gingival Color Space. *J Prosthodont.* 2020; 29(5): 401–408. <https://doi.org/10.1111/jopr.12717>
37. Soares EJ, Tonani R, Contente MMMG, Arruda CNF, Pires-de Souza F de CP. Color stability of denture shade tabs is affected by exposure to daylight and decontamination protocols. *Color Res Appl.* 2018; 43(5): 779–784. <https://doi.org/10.1002/col.22224>
38. Joiner A, Luo W. Tooth colour and whiteness: A review. *J Dent.* 2017; 67(sup): 3–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.006>
39. Konica Minolta. ESPECTRORRADIÓMETRO CS-2000/CS-2000A. Manual de instrucciones. Disponible en: https://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/display/pdf/cs-2000-2000a_instruction_spa.pdf
40. Jadak. SpectraScan® User's Manual. Disponible en: <https://www.jadaktech.com/resources/photo-research-document-library/spectrascan-pr-7xx-series-user-manual/>