



UNIVERSIDAD
Finis Terrae
VINCE IN BONO MALUM

UNIVERSIDAD FINIS TERRAE
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA

ESTABILIDAD DE COLOR IN VIVO A 2 AÑOS: EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE COLOR DE LA ESCALA USPHS

ANDREA LEÓN IZQUIERDO

Tesis presentada a la Facultad de Odontología de la Universidad Finis Terrae,
para optar al título de Cirujano Dentista

Profesor Guía: Dr. Pablo Gutiérrez Da Venezia

Santiago, Chile.

2014

INDICE

-	Introducción _____	1 - 3
-	Marco teórico _____	4 - 26
	1. Color	
	2. Principios de colorimetría	
	a) Fuente de Luz	
	b) Objeto a observar	
	c) Entorno o ambiente	
	3. Color y espacio de color: Sistema Tridimensional	
	a) Sistema orden de color de Munsell	
	b) Dimensiones del color	
	c) Sistema CIE L a b	
	4. Color y su aplicación a la Odontología	
	a) Características ópticas de los dientes	
	5. Criterio clínico USPHS	
	6. Medición del color en Odontología	
	7. Percepción del color	
	8. Estabilidad de color en materiales dentales	
-	Hipótesis _____	27
-	Objetivos _____	28
-	Materiales y métodos _____	29 - 33
-	Resultados _____	34 - 36
-	Discusión _____	37 - 43
-	Conclusiones _____	44
-	Bibliografía _____	45 - 53
-	Anexos _____	54 - 55

RESUMEN

Introducción

Actualmente en la práctica odontológica el proceso de homologación del color es considerado un factor crítico tanto para el dentista como para el paciente¹. Para evaluar el color dental existen métodos que van desde comparaciones subjetivas mediante el uso de guías de papel, hasta mediciones objetivas mediante instrumentos digitales. El color del diente natural tiende a variar con la edad del sujeto, lo cual tiene una implicancia directa en la práctica de la Odontología restauradora. En 1971 Cyvar J y Ryge G¹⁵ publicaron las pautas del Servicio de Salud Pública de Estados Unidos (USPHS) para la evaluación de los materiales restauradores¹⁵. Durante los últimos años los criterios clínicos han sido modificados por diversos autores, sin embargo el parámetro de evaluación de correspondencia entre el color dentario y de los materiales restauradores no ha variado. Las pigmentaciones intrínsecas y extrínsecas a las que está expuesta la pieza dentaria y sus variaciones en el tiempo no han sido evaluadas, cuestionando la sensibilidad y especificidad del método de evaluación de la escala USPHS. El objetivo del presente estudio es evaluar la estabilidad de color de los incisivos centrales superiores in vivo en un plazo de dos años, contrastar los resultados con los rangos de aceptación y de percepción clínica para sugerir límites ópticos objetivos al criterio de color de la escala USPHS.

Material y método

El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Odontología de la Universidad Finis Terrae, Santiago de Chile, durante el periodo que abarcó los años 2013 y 2014. El número total de personas que participaron en este estudio fue de 71 alumnos, extraídos del universo de 90 alumnos que participaron previamente en el estudio "Medición in vivo de la distribución de color en dientes naturales"¹⁰⁴ realizado dos años antes. Cada estudiante aceptó su inclusión en el estudio mediante un consentimiento informado, el cual explicaba el procedimiento que se le realizaría. Una vez aceptado se efectuó una inspección visual de la

cavidad bucal. Las mediciones se registraron con un espectrofotómetro digital Vita Easyshade Compact (Vident Brea, California, Estados Unidos). La pieza dentaria seleccionada para la medición correspondió exclusivamente al incisivo central superior derecho. Se dividió cada pieza dentaria en tres tercios: cervical, medio e incisal, por lo que a cada pieza se le realizó tres mediciones sucesivas. Se obtuvieron las coordenadas de color a través del espectrofotómetro Vita Easy-Shade Compact, el que arrojó los valores L^* , a^* , b^* según el sistema CIE Lab. Los datos obtenidos fueron ingresados a una tabla Excel (Microsoft Office 2007) y luego se realizó el cálculo para medir las diferencias de color (ΔE), entre el año 0 y el año 2. De este modo, el presente estudio se estableció un $\Delta E \geq 2.67$ para el umbral de percepción (UP) y un $\Delta E \geq 3.3$ para el umbral de aceptabilidad clínica (UA).

Resultados

Los resultados demostraron que existen diferencias del color en un periodo de dos años en una muestra de 71 individuos de la población chilena. Se observa que hay un cambio de color que es perceptible por el odontólogo ($\Delta E \geq 2.67$) y clínicamente inaceptable ($\Delta E \geq 3.3$). El tercio incisal fue el que presentó la mayor discrepancia de color, con un valor mayor o igual al umbral de percepción en un 80% de las muestras, y un 73% de diferencia de color inaceptable clínicamente.

Conclusiones

En un plazo de dos años el color dentario varía de forma que se hace perceptible e inaceptable clínicamente. El criterio USPHS en el ítem de homologación de color debiera ser modificado con un criterio más amplio y objetivo. Se plantea determinar un valor universal para el umbral de percepción y de aceptabilidad clínica. Se sugiere una mejor formación en colorimetría para el Odontólogo general y la masificación de instrumentos digitales para la homologación de color.

INTRODUCCIÓN

En la Odontología restauradora actual el proceso de homologación del color es considerado un factor crítico tanto para el dentista como para el paciente¹. Por esta razón se han desarrollado nuevos materiales estéticos directos e indirectos, técnicas y productos para blanqueamiento dental y otros procedimientos cosméticos. Los pacientes ahora demandan no sólo una boca sana, sino también una sonrisa perfecta².

La percepción del color en Odontología es un fenómeno complejo y está influenciado por numerosos factores, incluyendo el tipo de fuente de luz incidente, la absorción y reflexión de luz sobre el diente, el estado de adaptación del observador, y el contexto que el diente es visto³. En la actualidad, existen diversos métodos para evaluar el color dental. Estos van desde comparaciones subjetivas mediante el uso de guías de papel, guías de porcelanas o resinas acrílicas, hasta mediciones objetivas mediante instrumentos de precisión como espectrofotómetros, colorímetros y técnicas de análisis de imagen². Pese a los grandes avances que se han desarrollado en los últimos años, el correcto manejo de las guías de color con los materiales restauradores siempre han sido un desafío para el odontólogo⁴. Además de las características propias de los tejidos dentales, sus variaciones en el tiempo provocadas por factores ambientales, dificultan aún más el proceso. En un estudio in vitro, Ten Bosch JJ y Coops JC, midieron el color dentario utilizando un espectrofotómetro demostrando que el adelgazamiento progresivo del esmalte contribuye al aumento del amarillo⁵. Esto se manifiesta a través de un oscurecimiento progresivo del diente asociado con la edad⁶. En general, el color del diente natural tiene la tendencia significativa en aumentar con la edad del sujeto, generalmente siendo más oscuro y amarillo⁷⁻¹⁴, lo cual tiene una implicancia directa en la práctica de la Odontología restauradora.

En 1971 Cyvar J y Ryge G¹⁵ publicaron las pautas del Servicio de Salud Pública de Estados Unidos (US Public Health Service) para la evaluación de los materiales restauradores que también fue conocido como “el criterio Ryge” o “USPHS”¹⁵. Según este criterio se evalúa las categorías de homologación de color,

descoloración del margen cavo superficial, forma anatómica, adaptación marginal y caries¹⁶. Durante los últimos cuarenta años estos criterios han sido levemente modificados por variados autores, ajustándolos a ciertas necesidades específicas para incorporar otros tópicos de interés. Dentro de estos nuevos criterios se encuentran la textura superficial, sensibilidad postoperatoria, contacto proximal, contactos oclusales, fractura y otros¹⁷.

El artículo original¹⁵ marcó un hito en lo que refiere al inicio de la evaluación objetiva de las restauraciones *in vivo* y las diferencias diametrales que existían en el ambiente oral en comparación con los mecanismos de evaluaciones paramétricas tradicionales aceptados en la época. Además el enfoque de evaluación solucionó diferencias “insolubles” propias de la evaluación clínica subjetiva mediante la incorporación de una escala nominal ordinal, vale decir, con parámetros que aumentaban en severidad dentro de cada parámetro nominal (alfa, bravo y charlie). En la actualidad existen variantes de la escala USPHS que han incorporaron una nueva clasificación con el parámetro delta y otra para evaluar la calidad de la práctica clínica mediante los parámetros romeo (R), sierra (S), tango (T) y victor (V). Pese a estas modificaciones, los parámetros de evaluación del color de los materiales dentales no han variado. Sin embargo, el perfeccionamiento de los materiales restauradores en los últimos cuarenta años, en especial respecto a sus propiedades ópticas, estabilidad de color y durabilidad hacen que este parámetro sea cuestionable hoy en día. Las pigmentaciones intrínsecas y extrínsecas a las que está expuesta la pieza dentaria y sus variaciones en el tiempo no han sido evaluadas, cuestionando la sensibilidad y especificidad del método de evaluación mediante la escala USPHS. Johnston WM y Kao EC demostraron que no existen diferencias colorimétricas al comparar la escala USPHS con la escala visual expandida para la homologación de apariencia (Expanded visual rating scale for appearance match; EVRSAM), al momento de evaluar restauraciones de resina compuesta y el tejido dentario que las rodea¹⁸. Las diferencias mayores o iguales a $\Delta E = 3.7$ son consideradas como una falta en la homologación de color de acuerdo a la escala USPHS, sin embargo otros

factores como la translucidez de los materiales y factores de iluminación ambiental condicionan las evaluaciones¹⁸.

En un estudio que utilizó dientes acrílicos para prótesis removible con una ambientación intraoral, se definió una falta de homologación de color que fue considerada clínicamente inaceptable cuando el 50% de los observadores indicaría la repetición de la restauración cuando se alcanzaba esta diferencia de color. Esto fue definido cuando el ΔE es igual o mayor a 5.5. Además evaluaron la discrepancia de color perceptible, pero que no implica un recambio de la restauración en el 50% de los observadores un valor de ΔE igual o mayor de 2.6¹⁸.

De acuerdo a lo anterior es crítico definir un criterio que indique el recambio de las restauraciones, siempre y cuando el sustrato dentario no cambie sus propiedades ópticas en el tiempo.

El objetivo del presente estudio es evaluar la estabilidad de color de los incisivos centrales superiores in vivo en un plazo de dos años, contrastar los resultados con los rangos de aceptación y de percepción clínica para sugerir límites ópticos objetivos al criterio de color de la escala USPHS.

MARCO TEÓRICO

1.- COLOR

En el año 2001 la Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E) definió el color como “la característica de la percepción visual que puede ser descrita por los atributos de tinte o tono, intensidad o saturación o croma y valor o luminosidad”¹⁹. Sin embargo, el fenómeno del color es más complejo que esto, ya que es una respuesta psicofísica, de la interacción física de la luz con un objeto, y la experiencia subjetiva de un observador individual²⁰. Se han descrito tres factores que pueden influenciar en la percepción del color, estos son: la fuente de luz, el objeto que se está viendo y el observador viendo el objeto²¹.

2.- PRINCIPIOS DE COLORMETRÍA

El efecto cromático de un objeto, depende de tres elementos²²:

- a) La composición espectral de la fuente de luz
- b) Las propiedades físicas del objeto a observar
- c) Las propiedades sensitivas del aparato visual del observador

a) Fuente de Luz

La luz emite energía, la cual se descompone en una gama de longitudes de onda, por esto, la cantidad de energía emitida depende de cada longitud de onda en el espectro de luz visible²³. La luz que ilumina a un objeto afecta a la percepción del color, ya que cada fuente de luz contiene cantidades variables de longitudes de onda visible²³. La luz visible comprende aquellos fotones de longitud de onda que caen en el rango entre 360 y 780 nm. La luz en las longitudes de onda más cortas (400nm) se percibe el color azul, mientras que en las longitudes de onda más largas (700nm) se percibe el color rojo.

La luz es el elemento que más influye en el manejo del color, ya que al igual que el color, tiene calidad y cantidad²². La calidad o temperatura, se mide en

grados Kelvin y la cantidad se refiere a la intensidad y se mide en luxes²². Varios estudios han determinado que la intensidad de luz ideal para el correcto registro de color es de 1.200 – 1.500 luxes²⁵, mientras que la temperatura ideal está entre los 5.500K – 6.500K, que es considerada como la luz blanca de día^{2, 25}. La lámpara incandescente del equipo dental promedio tiene una temperatura de color de 3.800K²⁶. Por esto, no está recomendado la toma de color con la luz del equipo dental, ya que la mayoría de ellas son incandescentes y emiten mucha luz en el espectro rojo – amarillo y poco en el extremo del azul²⁷.

La Comisión Internationale de L'Éclairage (CIE) definió un rango de un iluminante estándar, el cual describe la intensidad de la fuente de luz como función de la longitud de onda²⁴. Uno de los más utilizados para los estudios de color bajo condiciones estandarizadas es el iluminante tipo D65 el cual corresponde aproximadamente al espectro de luz de medio día en Europa occidental/norte. De este modo, fotones del iluminante interactúan con los materiales, donde estos pueden ser absorbidos o dispersos²⁴.

b) Objeto a observar

Existen características estructurales de cada objeto que producen diversos fenómenos físicos, los cuales, a su vez intervienen y modulan la apreciación visual del color²².

c) Entorno o Ambiente

Al conjunto de elementos adyacentes al objeto a medir cuya presencia aporta longitudes de onda diferentes, las cuales pueden interferir con el registro del color verdadero del objeto, modificando el tipo de luz que alcanza finalmente al objeto²².

En boca, la pieza dentaria está rodeada en condiciones óptimas por tres segmentos cromáticos. El límite incisal está marcado por el fondo oscuro de la cavidad bucal, el límite proximal por los dientes colindante rojizos y amarillentos, y el límite cervical por las papilas rojas y la encía²².

3.- COLOR Y ESPACIO DE COLOR: Sistema Tridimensional de Munsell

El color puede ser descrito de forma objetiva de acuerdo al sistema espacio color de Munsell en términos de tono, brillo y saturación²⁸. El tono es el atributo que permite distinguir diferentes familias de color, por ejemplo, rojos, azules y verdes². El brillo indica la claridad o luminosidad de un rango de color que va desde un negro puro a un blanco puro². El croma es el grado de saturación de un color, y describe la fuerza e intensidad de un color².

a) Sistema orden de color de Munsell

Muchos sistemas de color han sido descritos para definir un determinado color de la forma más objetiva posible, pero por diversas razones, dentro de las que destacan la consistencia, flexibilidad y simplicidad, el sistema orden de color de Munsell es el sistema de elección para la homologación de color en Odontología²⁹. El árbol de color es una representación de la organización tridimensional de los colores dentro del sistema de Munsell. El color sólido de Munsell puede ser comparado con una esfera o un cilindro^{30, 31}, como una figura irregular tridimensional que tiene características de ambos (figura N°1)²⁹. Un eje incoloro o acromático se extiende a través en el centro del cilindro, de color blanco puro en la parte superior y negro puro en su base²⁹. Entre ambos extremos van progresando distintos matices de grises²⁹. Los colores están organizados alrededor del eje central, y dentro de cada tono los colores están organizados en escala de acuerdo a su luminosidad / oscuridad (brillo) y su pureza e intensidad (saturación)²⁹. Los colores claros se ubican hacia la parte superior del cilindro y los colores oscuros están hacia la parte inferior. Los colores más puros se encuentran en la superficie externa del cilindro y se van tornando progresivamente más grises a medida que se acercan al eje de brillo. Dentro de cada escala de tono, brillo y saturación, los intervalos fueron determinados para representar un espacio visual igual, bajo una fuente de luz estándar²⁹.

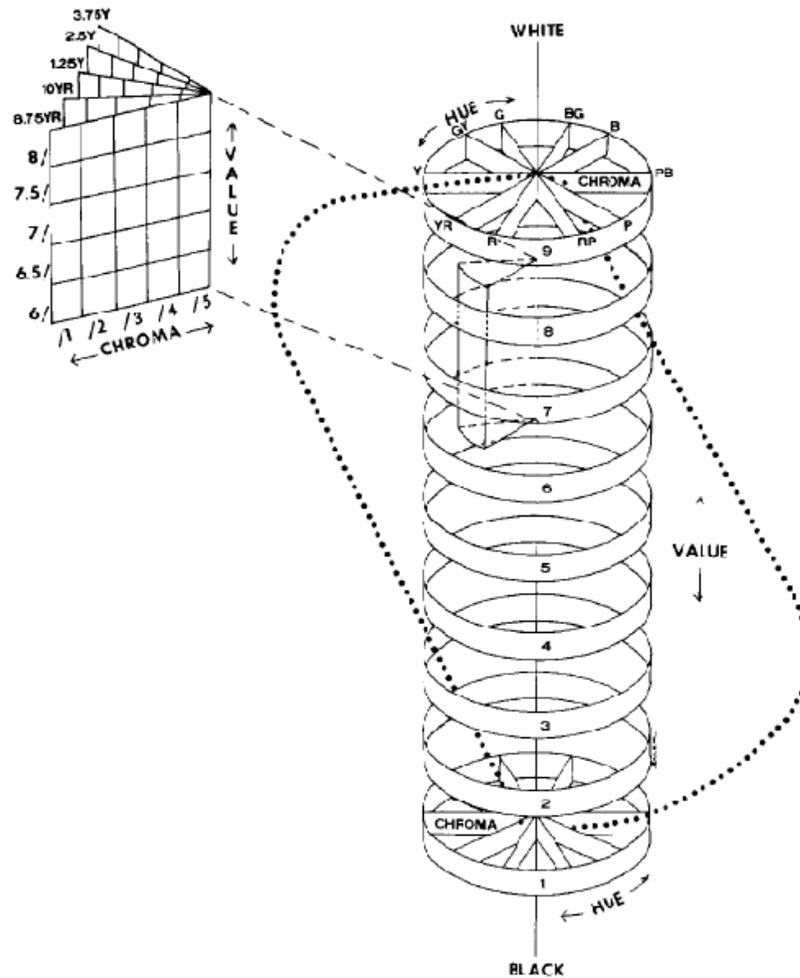


Fig. 1 Una representación idealizada de las tres dimensiones, el Sistema orden de Color de Munsell²⁹

A medida que la tecnología ha ido evolucionando permitiendo la creación de colores puros, éstos han sido fácilmente añadidos a la periferia del cilindro²⁹. La línea de puntos que se extiende a través y más allá del cilindro desde la parte superior izquierda y la parte inferior derecha, delimitan la distorsión básica del cilindro para conformar la línea actual de la percepción sólida de color de Munsell para los tonos de amarillo y azul puro (Fig.1)²⁹.

b) Dimensiones del Color

Las dimensiones de color antes descritas: tono, brillo y saturación, son descriptivas. Debido a su importancia es necesario comprender el concepto de las tres dimensiones³², se presentaran a continuación una descripción de cada una.

El tono es la primera dimensión, es la más fácil de entender, y en palabras de Munsell³³, “es ésa cualidad por la que distinguimos una familia de color de otra, como el rojo del amarillo, el verde del azul o morado”³³. En la rueda de color es fácil determinar esta dimensión y están organizados secuencialmente alrededor del eje central del color sólido de Munsell. Para referirnos a un tono en el sistema Munsell, se utilizan las iniciales: R para rojo, YR para amarillo-rojo (yellow-red), Y para amarillo, y esto se aplica para cada tono. A su vez cada tono es dividido en diez segmentos, igualmente espaciados visualmente (por criterio psicológico) uno de otro²⁹.

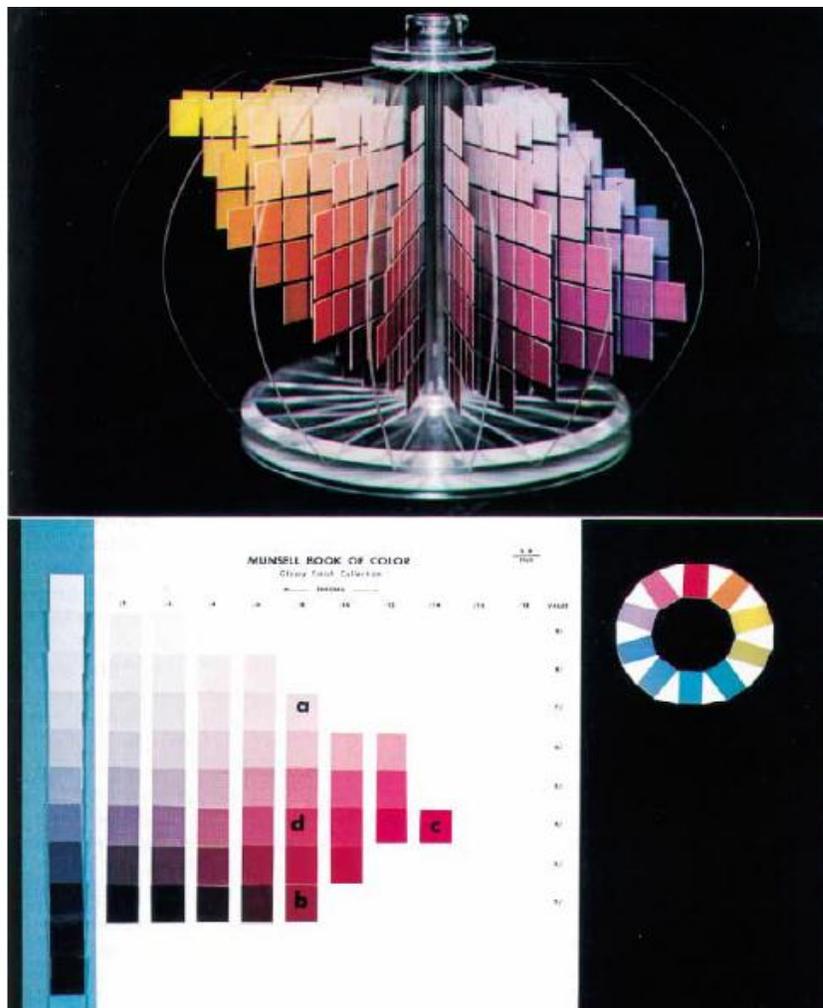


Fig 2. Árbol de color de Munsell²⁹

El brillo, “es ésa cualidad por la cual nosotros distinguimos un color claro de un color oscuro”³³, y está definido mediante un eje acromático en el sistema de color Munsell²⁹. El brillo de un color está determinado por cuan gris se presente y es ajustado respecto a la claridad u oscuridad. El negro en la escala de brillo es asignado con un valor de cero mientras que el blanco con un diez. Un número infinito de gradación de gris es posible a medida que se gradúa desde negro a blanco, pero solamente nueve series de grises son utilizadas en el Sistema Munsell. Sin embargo, el blanco puro (10) y el negro absoluto (0) son valores inalcanzables. Cuando se requiere de una evaluación más precisa el sistema recurre al uso de números fraccionados. De este modo, un brillo “bajo” se refiere a colores oscuros y un brillo “alto” a colores claros²⁹.

La saturación es la tercera dimensión y corresponde a “ésa cualidad por la cual distinguimos un color fuerte de uno débil; la sensación de color de un blanco o un gris; la intensidad de un distintivo tono o la intensidad del color.”³³ De este modo, la saturación describe la cantidad de tono en un color.

c) Sistema CIE L a b

La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), es la organización dedicada a la estandarización en áreas tales como el color y la apariencia²⁸. En 1931 estableció una fuente de luz y un observador estándar, permitiendo el cálculo de valores triestímulo, los cuales se representan del mismo modo al sistema visual humano que responde a un color dado²⁸.

En 1976, la CIE definió un espacio de color, denominado CIE $L^*a^*b^*$, basado en la previamente aceptada teoría de percepción del color basado en tres receptores independientes (rojo, verde y azul) en el ojo humano, transformándose a la fecha en la teoría de color más aceptada y utilizada. En este espacio tridimensional del color, los tres ejes son L^* , a^* , b^* , donde L^* es el brillo, es la medida de la luz sobre un objeto y es cuantificado en una escala donde un negro

perfecto tiene un L^* de valor cero y al reflejar de forma perfecta es un L^* 100. El a^* es la medida del rojo (a^* positivo) o del verde (a^* negativo). El b^* es la medida de amarillo (b^* positivo) o azul (b^* negativo). Las coordenadas a^* y b^* se acercan a cero para colores neutrales (blanco, grises) y aumenta en magnitud para colores más saturados o intensos³⁴.

La ventaja del sistema CIE Lab es que la diferencia de color puede ser expresada en unidades que pueden ser relacionadas a la percepción visual y así tener significancia clínica³⁵.

4.- COLOR Y SU APLICACIÓN A LA ODONTOLOGÍA

El estudio del color es una parte fundamental de la Odontología estética. Sin duda, el color es uno de los parámetros de mayor peso al momento de juzgar la calidad de una restauración realizada por el odontólogo, sobre todo en la región anterior. Alcanzar un perfecto mimetismo con los tejidos y dientes circundantes se convierte en un objetivo primordial para el profesional de la odontología y para el paciente²².

Hoy en día la diversidad de materiales disponibles entregan la oportunidad de restaurar las características de color exclusivas de cada paciente, pero este proceso es complejo, ya que cada diente natural tiene una serie de características ópticas que aumentan la complejidad de la restauración²⁷. El referente estético dental en nuestra sociedad viene determinado por varios factores, pero uno de los que produce más insatisfacción es un color anómalo del diente o que no satisfaga las expectativas estéticas del paciente^{35, 36}.

d) Características ópticas de los dientes

En 1931 Clark B³⁷ fue el primero en someter los dientes naturales a medición y análisis científico del color. Determinó la importancia de las dimensiones del color al estudiar el color de una pieza y la consideración de las tres dimensiones no sólo es un requisito básico sino el más importante. Además

reconoció la necesidad de una aproximación más exacta del color dental, mediante la observación visual del diente humano basado en el sistema Munsell²².

El diente está constituido por tres tejidos, el esmalte, la dentina y la pulpa, cada uno de estos tejidos presenta propiedades ópticas distintas³⁸. El color de una pieza dentaria dependerá de su grosor, composición y estructura en que se dispongan los tejidos, que son los responsables desde el punto de vista óptico. Los tres parámetros de color evolucionan considerablemente a lo largo de la vida, influyendo en el color del diente.

- Naturaleza del color dentario:

La pulpa dental: es un tejido conectivo laxo, bien irrigado e innervado, que se encuentra encerrado en el interior de la cámara pulpar y de los conductos radiculares. Su volumen va disminuyendo con el paso de los años por la continua formación de dentina³⁹. Tiene un color rojizo oscuro y su tamaño es mayor en dientes jóvenes, que tiene gran influencia en el color ya que condiciona un tono rosado, por lo general más visible en las superficies linguales. El estrechamiento progresivo del espacio endodóntico producto del aposicionamiento de dentina secundaria tiene influencia sobre el brillo del diente, el cual va decreciendo con la edad²².

La dentina: es el tejido más importante desde el punto de vista cromático, es la responsable del tono y de la saturación (intensidad) dentaria²². Su menor contenido mineral respecto al esmalte y la elevada proporción de materia orgánica explican la opacidad relativa de la dentina primaria (formada antes de la erupción del diente). La estructura propia del tejido en base a un gran número de cavidades estrechas y largas, los túbulos dentinarios, generan una difracción selectiva de la luz incidente, donde ciertos rayos son reflejados y otros absorbidos. Este efecto es el responsable de la opacidad de la dentina primaria³⁹. Las distintas estructuras microanatómicas propias de la arquitectura tubular, combinadas con la anatomía macroscópica de la dentina generan áreas con diferencias en el índice de

reflectancia, generando un reflejo y dispersión irregular de la luz²². Esto da a lugar a áreas de opacidad densa y de alta saturación de color, confiriendo a la dentina un aspecto policromático. Con la edad la dentina primaria involuciona y se aposicionan otros tipos de dentina, con estructura y propiedades ópticas diferentes que influyen en la cromacidad dentaria⁴⁰.

El esmalte: es el tejido más duro y más mineralizado del organismo. Está constituido por un 95% de minerales, 5% de agua y materia orgánica. El alto contenido mineral, la naturaleza y disposición de los prismas que lo constituyen hace que el esmalte sea duro, brillante, translúcido, prácticamente acromático²². La apariencia óptica del esmalte depende de su composición, estructura, grosor y textura superficial, parámetros que varían de una zona dentaria a otra y que evolucionan a lo largo de la vida²². En un diente joven, el esmalte tiene menor contenido mineral y es muy grueso, creando el efecto óptico de una leve translucidez y alta luminosidad. Además es más permeable y se deshidrata más rápido. Las capas del esmalte tienen menos espacios de aire y están más mineralizadas, este esmalte más profundo es más translúcido⁴¹. En contraste, en el diente anciano el esmalte es más rico en minerales y más delgado, propio del desgaste natural lo que se traduce en una mayor translucidez, incluso transparencia. Estos fenómenos permiten que se haga más evidente el color de la dentina²².

Es esencial comprender la influencia que ejerce cada componente sobre las propiedades básicas del otro. La dentina, es responsable del tono y saturación, reduciendo el brillo propio del esmalte²². Si el esmalte es muy delgado y la dentina es muy saturada, como sucede en la zona cervical del diente, la saturación de la dentina domina la percepción cromática del diente²². A nivel del tercio medio, el esmalte es más grueso por lo que aumenta el brillo y disminuye la saturación. Finalmente, en el tercio incisal, sólo hay esmalte, lo que condiciona las cualidades ópticas únicas de esta zona. A este nivel, el diente se vuelve translucido, prácticamente acromático, además refleja las longitudes de onda más cortas (aspecto azulado con luz reflejada) y transmite las largas (aspecto anaranjado con luz transmitida), fenómeno que se conoce como opalescencia⁴¹.

5.- CRITERIO CLINICO USPHS

El color en un diente natural depende de su capacidad para modificar el color de la luz incidente. El efecto del color total de un diente natural es un resultado de la combinación de luz reflejada por el esmalte y la dentina⁴². Varios problemas pueden ocurrir en la descripción de color en materiales restauradores. Con respecto a la observación humana, la determinación del color es dependiente, entre otras cosas, la exposición previa al objeto, la posición relativa del iluminante al observador y viceversa, y las características de color del iluminante^{43, 44}. La habilidad para homologar color varía entre individuos, también la percepción de color de cualquier individuo puede ser inconsistente de un momento a otro y la coincidencia de color entre dos objetos bajo distintos iluminantes puede variar debido al metamerismo de los materiales⁴⁵.

El criterio clínico USPHS (US Public Health Service) para la evaluación clínica de la estabilidad de color y homologación de color de materiales restauradores fueron establecidos por Cvar y Ryge (1971)¹⁵. Este sistema de evaluación es también conocido como “Criterio de Ryge”, donde las categorías originales buscaban evaluar la homologación de color (coincidencia de color), decoloración marginal cavosuperficial, forma anatómica y caries⁴⁵. Dentro de los criterios, la comparación visual entre la restauración y la estructura dentaria circundante es utilizada para determinar la calidad de la restauración mediante calificaciones (Alfa y Bravo). En el aspecto de homologación de color, el criterio Alfa se aplica para cuando hay ajuste de color y el criterio Bravo corresponde a desajuste de color. Si la homologación de color está fuera de los rangos normales de color dentario, sombra, o translucidez⁴⁵. Durante los últimos 40 años, este criterio ha sido modificado por varios autores, ajustándolos a necesidades especiales, y la lista de criterios ha sido ampliada para incluir otros ítems de interés como la textura superficial, sensibilidad post- operatoria, contacto proximal, contacto oclusal, fracturas y otros⁴⁶. La nueva tabla del criterio USPHS modificado utiliza una escala de puntajes, de cero a cuatro para clasificar el criterio al cual corresponde (detalle en tabla N°1).

TABLA N°1

Tabla modificada: lista del criterio modificado United States Public Health Service (USPHS) usado para la evaluación clínica de las restauraciones⁴⁷

Categoría	Puntaje	Criterio
Adaptación	0	Margen liso
	1	Todos los márgenes cerrados o poseen espacios o defectos menores (esmalte expuesto)
	2	Notoria fisura en el margen, dentina o base expuesta
	3	Separado de un extreme
	4	Separado de ambos extremos
Homologación de color	0	Muy buena homologación de color
	1	Buena homologación de color
	2	Leve desajuste de color o tono
	3	Obvio desajuste de color, fuera del rango normal
	4	Grave desajuste de color
Decoloración marginal	0	No hay evidente decoloración
	1	Leve tinción, puede ser pulido
	2	Obvia tinción, no puede ser pulida
	3	Grave tinción
Aspereza de la superficie	0	Superficie lisa
	1	Ligeramente rugoso o irregular
	2	Rugoso, no puede ser restaurado
	3	Superficie irregular notoria, surcos irregulares
Fractura de la restauración	0	No fracturado
	1	Cracks (líneas) menores sobre la restauración
	2	Fragmentos menores de la restauración (1/4 de la restauración)
	3	Fragmentos moderados de la restauración (1/2 de la

		restauración)
	4	Fragmentos severos (3/4 de la restauración)
	5	De la restauración
Fractura del diente	0	No presenta fractura el diente
	1	Crack menor (línea) en el diente
	2	Fragmentos menores en el diente (1/4 de la corona)
	3	Fragmento moderado del diente (1/2 de la corona)
	4	Fractura coronaria cerca del cemento – línea de esmalte
	5	Corona – fractura radicular (extracción)
Desgaste de la restauración	0	No presenta desgaste
	1	Desgaste
Desgaste de antagonista	0	No presenta desgaste
	1	Desgaste
Caries	0	No hay evidencia de caries continua al margen de la restauración
	1	Caries evidentemente continua con el margen de la restauración
Sensibilidad post - operatoria	0	Asintomática
	1	Leve sensibilidad
	2	Sensibilidad moderada
	3	Dolor severo

A lo largo del tiempo se han realizado una serie de estudios in vivo utilizando el criterio clínico USPHS para evaluar el desempeño clínico de materiales restauradores. Uno de los criterios a evaluar es la “homologación de color”, aspecto que determina cuatro rangos 0, 1, 2, 3 y 4 (detalle en tabla N°1) donde el criterio 3 y 4 indican el cambio de la restauración por un factor estético.

En el estudio de Palaniappan S et al.⁴⁸ compararon el rendimiento clínico, cuantitativamente y cualitativamente según los patrones de desgaste de tres

resinas compuestas híbridas en restauraciones posteriores clase I o II de Kennedy en 3 años. Éstas fueron evaluadas una vez restauradas a los 6, 12, 24 y 36 meses de acuerdo al criterio US Public Health Service (USPHS)⁴⁸. Desde el momento inicial hasta los 36 meses, el color de los tres materiales restauradores disminuyó de forma progresiva y la estabilidad de color de los tres materiales híbridos fue aceptable después de 3 años de servicio clínico. Sin embargo, el autor estableció que la falta de coincidencia entre la estructura dentaria y el material restaurador es más bien una observación subjetiva debido a las condiciones de iluminación, efecto camaleón del material y tinciones de la superficie⁴⁸.

En el estudio de Van Dijken J.W.V⁴⁹ el propósito fue evaluar la durabilidad de un nuevo material de restauración híbrido en cavidades clase III. Las restauraciones fueron evaluadas anualmente con el criterio USPHS levemente modificado⁵⁰. De un total de ciento cuarenta y una restauraciones evaluadas a seis años plazo, dieciséis fueron estimados inaceptables. Siete de éstas fueron reemplazadas; dos por fracturas, tres por caries recidivante y dos debido a inaceptable coincidencia de color⁴⁹. En otras nueve restauraciones con falta de coincidencia de color, las restauraciones no sufrieron recambio⁴⁹. Sin embargo, hubo una diferencia significativa entre los tres materiales. En el primer año de estudio, sólo el 10% de las restauraciones dieron un puntaje de cero, mientras que un 20% recibió un puntaje de inaceptable coincidencia de color⁴⁹. En otro estudio de Van Dijken J. W.V⁵⁰, evaluó la efectividad clínica de un adhesivo aplicado en conjunto con una resina compuesta híbrida de micro relleno en restauraciones clase II⁵⁰. Las restauraciones fueron evaluadas en el momento inicial y anualmente durante un período de seis años utilizando el criterio modificado de USPHS⁵⁰. Se evaluaron ciento once restauraciones, de las cuales catorce fallaron (12,6%), pero ninguna de ellas presentó cambio o falla de la restauración por una falta de coincidencia de color⁵⁰. Por otro lado en el estudio de Jyothi KN et al⁵¹, evaluó y comparó el rendimiento clínico de Giomer (Beautiful II) y RMGIC (Fuji II LC) en lesiones cervicales no cariosas (clase V). La evaluación clínica se ajustó nuevamente al criterio USPHS. Los treinta y dos sujetos fueron evaluados a quince días, seis meses y un año. De las ochenta restauraciones evaluadas,

ninguna presentó descoloración marginal, tinciones ni sensibilidad post operatoria⁵¹. Además en un estudio de Van Dijken J.W.V y Pallesen U⁵², se evaluó la resistencia a la fractura y longevidad de restauraciones clase IV de resina compuesta, resina compuesta modificada con poliácido (compómero; PMRC) cemento de vidrio ionómero modificado con resina (RMGIC). Las ochenta y cinco restauraciones fueron evaluadas en el tiempo durante catorce años según el criterio USPHS levemente modificado en visitas anuales. No hubo restauraciones reemplazadas por insatisfacción de color o descoloración marginal⁵². Por último, en el estudio de Gresnigt M.M.M et al⁴⁷, se evaluó la tasa de supervivencia de carillas directas fabricadas con dos tipos de resina compuesta. Se evaluaron noventa y seis carillas en veintitrés pacientes. Las restauraciones fueron evaluadas en el momento base y luego cada 6 meses, con un período promedio de observación de 41.3 meses, utilizando el criterio modificado USPHS⁴⁷. Este estudio tampoco reportó cambios de restauraciones por falta de correlación de color.

Los estudios citados previamente utilizan el mismo criterio para evaluar la efectividad de las restauraciones en el tiempo. A pesar que demuestran una disminución de color de las restauraciones en el tiempo, no reportan ningún recambio de las restauraciones por una discrepancia de color inaceptablemente clínicamente. Esto determina la subjetividad al momento de indicar el recambio de las restauraciones por un problema estético.

6.- MEDICIÓN DEL COLOR EN ODONTOLOGÍA

Bergen S.F, estableció que el color es uno de los factores que más influye en los resultados estéticos en Odontología⁵³. El registro del color se convierte en un proceso complejo debido a la naturaleza subjetiva del observador en el proceso, por ende ha sido abordada desde diferentes puntos de vista a lo largo del tiempo a modo de limitar sus variables⁵⁴. Se han empleado dos métodos en la medición del color, por un lado los modelos psicofísicos o subjetivos, basados en la comparación del color con patrones o guías de referencia. Por otro, los métodos

objetivos o matemáticos que tratan de representar los colores del espectro visible de una forma numérica^{39, 55}.

La utilización de guías para medir el color es un procedimiento subjetivo y son muchas las variables que influyen en el resultado: la iluminación, la experiencia profesional, la edad, los colores del entorno, el ángulo de visión del diente, la ropa del paciente y la capacidad cromática del individuo^{56,57}. La determinación del color por comparación a estándares dentarios disponibles en guías de color es el método más común aplicado en Odontología⁵⁸. Aunque se han descrito diversas desventajas de las guías de color²², entre las que destacan que los colores no están sistemáticamente colocados según su ubicación en la cavidad bucal^{59, 60}, hay una falta de acuerdo entre diferentes dentistas al escoger un mismo color^{61 - 63}, los resultados no pueden ser transformados al sistema CIE Lab⁶⁴, ninguna guía comercial es idéntica a otra^{65 - 67} y el color estándar de las guías de color varía debido a las difíciles técnicas utilizadas durante su fabricación²². A pesar de estas limitaciones, el uso de las guías de color es un método rápido y barato para medir el color dental^{68 - 70}. Las guías de color son indispensables, tanto para la selección del color de los materiales en clínica como para comunicar al laboratorio. Sin embargo, no existe ninguna escala que consiga reproducir todos los colores existentes en los dientes naturales, por lo tanto, no existe una guía de color ideal²². Las guías más utilizadas son la Vitapan Classical, la Vitapan 3D Master, la guía Linearguide pertenecientes a la casa comercial Vita-Zahnfabrik y la guía dental Chromascop (Ivoclar-Vivadent)²².

- **Métodos Objetivos**

Los procesos de selección de color mediante sistemas instrumentales digitales, buscan eliminar la sensación subjetiva del ojo humano para entregar los datos de forma exacta para la construcción y la fabricación de prótesis dentales²². Actualmente han sido desarrolladas distintas tecnologías para la homologación del color en un esfuerzo para aumentar el éxito de éste proceso⁷¹. Además de optimizar la comunicación, reproducción y verificación del color en la clínica dental, aumentan la eficiencia en la práctica estética restauradora⁷¹. Las ventajas de la

asistencia o ayuda de un computador para determinar el color elimina la influencia del entorno o ambiente, los resultados son reproducibles, fáciles de documentar y el traspaso de la información de forma confiable⁷². Dentro de los aparatos disponibles en el mercado se aplican diferentes principios, pero básicamente, en todos los aparatos de medición del color se emite luz y se mide su reflexión²². Las mediciones duran menos de un segundo y no son perceptibles por el paciente. Dentro de los mecanismos de medición hay dos tipos de aparatos, aquellos que miden solo un punto y otros que registran el diente en áreas²². En el caso de las mediciones puntuales se requieren varias mediciones para registrar todo un diente²².

En 1975, Lemiere y Burk investigaron la frecuencia y distribución del espacio del diente natural usando un espectrofotómetro dental⁷³. Afirmaron que la variabilidad de color de dientes naturales era mayor que las guías de color, actualmente existe la necesidad de poder utilizar estos sistemas digitales de medición de color, facilitando el estudio⁷³.

En la actualidad existen un número importante de sistemas comerciales de punto y área diseñados para ayudar a clínicos y técnicos de laboratorio en el manejo del color en la práctica clínica²². Entre ellos se incluyen colorímetros, espectrofotómetros, analizadores digitales del color e instrumentos híbridos que combinan estas tecnologías²².

- Colorímetros:

Los sistemas de Colorímetros electrónicos de tri-estímulo, analizan tres valores para las proporciones rojo, verde y azul reflejados usando un filtro de color de las mismas características que los receptores del ojo humano. Pueden utilizarse intraoralmente y siguen el sistema CIE Lab²². De acuerdo a Nuñez Díaz P.⁷⁴, utilizando un colorímetro como instrumento de medición estableció que el tono es la medida más objetiva del color⁷⁴. El colorímetro mide la absorción de la luz, basándose en el principio que dicha absorción es proporcional a la densidad del objeto, por lo tanto, a mayor densidad mayor es la absorción. Dentro de las ventajas de los colorímetros, estos incorporan una fuente de luz, así no dependen de las condiciones de luz del entorno, tienen la capacidad de tomar el color en

diferentes zonas de un diente (mediante una punta pequeña) y permiten estandarizar mediante posicionadores la zona del diente en la que medimos el color^{75 - 77}. Presentan el inconveniente de que su posicionamiento se ve dificultado por la superficie convexa de los dientes, lo que complica la correcta adhesión de la punta lectora del colorímetro. Aspecto esencial para poder obtener mediciones fiables⁷⁸.

- Espectrofotómetros:

Los espectrofotómetros están entre los aparatos más precisos, útiles y flexibles para la homologación de color en general y la homologación de color en Odontología⁷⁹. El espectrofotómetro dental es un aparato de medición que emite una luz definida, siendo capaz de medir la calidad y cantidad de luz reflejada por un objeto para clasificarla en un grupo de colores²². Estos miden una cantidad de luz reflejada a partir de un objeto en intervalos de 1 – 25 nm a lo largo del espectro visible^{80, 81}. El espectrofotómetro contiene una fuente de radiación óptica, un medio de dispersión de luz, un sistema óptico para la medición, un detector y el medio para convertir la luz obtenida a una señal así ser analizada⁸². Los programas de software realizan la conversión de curvas espectrales al sistema Munsell y CIE Lab²². En estos aparatos los colores que miden en el Sistema CIE Lab⁸³ no solo sirven para medir el color dental, sino que además son utilizados para valorar la influencia óptica de diferentes aleaciones metálicas y porcelanas en las restauraciones ceramometálicas⁸³, la efectividad de la protección con cemento de vidrio-ionómero modificado con resina⁸⁴, o la influencia del pH y el tiempo en la degradación de las resinas compuestas⁸⁵.

Uno de estos instrumentos es el Vita Easyshade compact© (Vident Brea, California, Estados Unidos), es un espectrofotómetro dental digital integrado igualmente por una unidad inalámbrica con una fuente de luz y un lector, que compara tanto los colores Vitapan Classical como los colores del Vita 3D-Master, que además incorpora tres colores específicos para los dientes blanqueados²². El Vita Easyshade Compact es un dispositivo portátil e inalámbrico, con diseño de pistola de mano que posee una fibra óptica en su extremo²². La pieza de mano presenta fibras ópticas para la iluminación de la superficie y múltiples

espectrómetros para el proceso de medición. De este modo uno de ellos monitoriza la emisión de luz mientras que los otros dos miden la luz dispersa por el diente a dos distancias diferentes al punto donde incide para evitar la dispersión o difusión de la luz en lo posible²². Este instrumento presenta diferentes modos de medición: modo de un solo diente, modo de área dentaria (tercio cervical, medio e incisal), verificación de color rehabilitador (incluye comparación de brillo, saturación y tono) y modo de muestra de color (modo practica/ entrenamiento)⁷¹. En un estudio se compararon cinco aparatos digitales de medición: Shadescan (Cynovad, Montreal, Canada), Vita Easyshade (Vident Brea, California, Estados Unidos), Ikam (DCM, Leeds, UK), IdentaColor II (Identa, Holbaek, Dinamarca) y ShadeEye (Shofu, Kyoto, Japón), cinco grupos de guía de color classical fueron medidos in vitro por dos operadores en cinco ocasiones, mientras que veinticinco incisivos centrales superiores derecho fueron medidos in vivo por un operador. La mejor precisión registrada fue por Easyshade e Ikam, mientras que el rendimiento de los otros instrumentos fue mejor in vitro que in vivo⁸⁶.

7.- PERCEPCIÓN DEL COLOR

Actualmente el concepto de color se ha convertido en un tema importante en la Odontología, ya que diversas áreas tales como prostodoncia, estética y biomateriales utilizan la cuantificación del color para obtener información científica. Estos estudios logran relevancia clínica al establecer parámetros específicos sobre el cambio de color, determinando cuando éste es perceptible y/o aceptable. Es por esto que se hace imprescindible definir valores específicos para el umbral de percepción y/o aceptación, para ser utilizados en la investigación de color dental⁸⁷.

Existen múltiples fórmulas de diferencia de color las cuales están diseñadas para proporcionar una representación cuantitativa de ésta⁸⁸. La fórmula más utilizada sobre la diferencia de color dentro de la investigación dental es derivada del Sistema CIE $L^* a^* b^*$ ⁸⁸ la cual aproxima uniformemente distancias entre las coordenadas de color mientras que cubren en su totalidad el espacio de color visual. La diferencia de color se calcula mediante la fórmula:

$$\Delta E = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)$$

Donde ΔE^* es la diferencia de color entre dos objetos, cuando el valor es más alto la diferencia de color es mayor y por lo tanto más perceptible para el ojo humano. ΔL^* , Δa^* y Δb^* son las diferencias en claridad – oscuridad, coordenada verde – rojo y coordenada azul – amarillo, respectivamente⁸⁷. Definir la diferencia de color (ΔE) entre dos objetos no tiene mayor implicancia clínica³, pero si se establece el umbral de percepción, el cual mide la diferencia de color que es visualmente percibida por el ojo humano y el umbral de aceptación, el cual determina la diferencia de color que es inaceptable clínicamente⁸⁷ tiene una relevancia clínica de gran objetividad. Además, en la literatura se han establecido distintos valores como referencia, tanto para el umbral de aceptación como de percepción³ sin un consenso (Tabla N°2).

Tabla N°2

Tabla modificada del artículo “Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry”: Artículos originales más citados en orden descendiente, a partir de los 48 artículos que han reportado umbral de aceptabilidad (UA) y umbral de percepción (UP)⁸⁷:

Artículo	UP and/ or UA	Tipo de estudio	Artículos citados
Johnston and Kao ¹⁷	UA =3.7 (38%)	In vivo	295
Ruyter et al ⁹⁴	UA = 3.3	In vitro	233
Kuehni ⁹⁵	UP = 1.0 (42%)	In vitro	141
Seghi et al ⁹⁶	UP = 2.0	In vitro	84
Ragain ⁵⁹	UA = 2.7	In vitro	65
O’Brien et al ⁹⁷	UA =2.0	In vitro	59
Douglas et al ¹⁸	UP = 2.6 and AT =	In vivo	66

	5.6		
Da Silva et al⁹⁸	UA = 2.7	In vivo	24

Las mediciones realizadas en este estudio fueron *in vivo* en incisivos centrales superiores, por lo tanto se hace relevante saber que en el estudio de Douglas et al¹⁸ utilizaron dientes para prótesis removible de resina acrílica en un escenario intraoral, en los casos donde la diferencia de color obtenida fue de un ΔE 5.5, el 50% de los sujetos indicó el recambio de restauración por un desajuste de color inaceptable clínicamente, y cuando ΔE fue de 2.6 el 50% de los observadores percibieron un cambio de color¹⁸. En cambio en el estudio de Da Silva et al⁸⁹ el valor promedio de diferencia del color ΔE aceptado para coronas metal cerámicas fue de 2.69 ± 0.98 , este fue comparado con el umbral de aceptación clínica reportado por Douglas et al^{17, 18}. Sin embargo, fue menor que el umbral establecido por Douglas et al¹⁸ y Johnson y Kao¹⁷. Aunque estos estudios fueron realizados *in vivo* existieron diferencias en el proceso metodológico. El número de evaluadores en el estudio de Da Silva et al⁸⁹ fue menor que el estudio de Douglas et al¹⁸, el cual utilizó veintiocho evaluadores de la población general de prostodoncia y odontólogos generales con variados grados de conocimiento sobre color. Los evaluadores en el estudio de Da Silva et al⁸⁹ podrían haber tenido un mejor conocimiento y experiencia en la ciencia del color en Odontología por haber realizado estudios previos en el tema. El estudio de Douglas et al¹⁸ y el estudio de Da Silva⁸⁹ comparan el incisivo central maxilar, pero los materiales fueron diferentes. Douglas utilizó dientes protésicos y Da Silva utilizó dientes naturales⁸⁹. Los dientes naturales tienen mayor variación de color en la gradación de color desde incisal a cervical, a diferencia de los dientes protésicos⁸⁹, aproximándose a la realidad clínica. Por otro lado Ragain⁵⁷ examinó la diferencia de color aceptable para restauraciones dentales, y redujo el umbral promedio donde el 50% de los observadores indicaron el valor de aceptabilidad a un $\Delta E = 2.7$. En cambio, en el estudio *in vivo* por Da Silva et al⁸⁹ redujo el umbral de aceptabilidad clínica a un ΔE de 2.67, valor que siguieron utilizando autores correspondiendo a un 9% de la literatura desde el 2008⁸⁹. Sin embargo, Ruyter et al⁹⁰, realizó un estudio que

pretendía sentar un precedente en el tema. Para esto utilizaron tres tipos de resinas compuestas evaluando la diferencia de color después de 1440 horas en agua y oscuridad. Establecieron que un $\Delta E = 3.3$ unidades de diferencia de color es considerado inaceptable para el 50% de los observadores utilizando muestras de resina compuesta dental⁹⁰.

De acuerdo a lo anterior, se puede observar que actualmente en la literatura no existe un consenso para determinar el umbral de percepción y aceptación de manera universal. Lo cual además se ve influenciado por el tipo de material estudiado.

8.- ESTABILIDAD DE COLOR EN MATERIALES DENTALES

Todavía es un desafío lograr equiparar y mantener en el tiempo el color exacto entre el diente y la restauración⁹¹. Sin embargo, las alteraciones del color en los materiales estéticos es la mayor causa de recambio de restauraciones en piezas anteriores⁹¹. Las alteraciones del color en las resinas compuestas tienen un carácter multifactorial y está asociado con la descoloración intrínseca y tinción extrínseca del material⁹¹. Los factores intrínsecos son propios de la estabilidad química de la matriz de resina y de la interface matriz/partícula⁹¹. Los factores extrínsecos son relacionados con la absorción de soluciones que tiñen el material, esto se genera debido a pigmentos propios de los alimentos de la dieta del paciente, higiene y hábitos de fumador⁹². Las interacciones fisicoquímicas, tales como luz visible, irradiación ultravioleta (UV), temperatura y humedad, promueven alteraciones intrínsecas del color en la resina compuesta a medida que pasa el tiempo⁹³. Además se han desarrollado distintos métodos de envejecimiento artificial que han sido utilizados, como instrumentos para investigar que ocurre con el material restaurador al paso del tiempo, realizando el estudio en un corto periodo de tiempo. Mediante estas técnicas se han observado las alteraciones posibles en las propiedades ópticas de las resinas compuestas y su mecánica^{91,94,95}. El envejecimiento artificial acelerado (AAA; accelerated artificial aging) consiste en someter a los materiales restauradores, entre ellos las resinas compuestas, a intervalos de larga exposición de rayos UV-B, humedad y

alteraciones con la temperatura⁹⁶. En teoría, el ciclo térmico simula el envejecimiento in vivo de los materiales restauradores sometidos bajo exposición cíclica de temperaturas frías y calientes⁹⁶. De acuerdo a Pires-de-Souza et al⁹⁷, 300 horas de AAA corresponden aproximadamente a 1 año de uso clínico⁹⁷.

En el estudio de Drubi- Filho et al⁹⁸, se evaluó la estabilidad de color de las resinas compuestas sometidas bajo diferentes periodos de envejecimiento acelerado artificial. Tres tipos de resina compuesta fueron evaluados, de los cuales todos presentaron cambios de color en un tiempo menor a 32 horas (4 ciclos de 8 horas) con un $\Delta E \geq 3.3$. Por otro lado, en el estudio Yong-Keun Lee et al⁹⁹, evaluaron los cambios de color, parámetros de translucidez y radio de contraste después de fotocurado, el pulido, y termo-ciclo en resinas compuestas de nano relleno. Se realizaron 2000 ciclos en agua destilada en 5 y 55°C. El valor de la diferencia de color después del termo-ciclo fue menor al límite establecido, es decir menor a 3.3 unidades, aunque todas las muestras mostraron un cambio y disminución del color⁹⁹. Sin embargo, en otro estudio Yong-Keun Lee et al¹⁰⁰, determinaron que el cambio de color de la resina compuesta después de 5000 ciclos en el proceso de envejecimiento artificial acelerado no sería aceptable clínicamente¹⁰⁰. Puesto que el cambio de color de los tres materiales de resina compuesta estuvieron sobre o igual al límite establecido de 3.3 unidades¹⁰¹. En cambio Tornavoi DC et al¹⁰¹, evaluaron tres resinas compuestas que fueron procesadas en termo-ciclo durante 382 horas de envejecimiento, equivalente a 10 años. Se concluyó que todas las resinas compuestas presentaron un color inaceptable ($\Delta E \geq 3,3$) después del termo- ciclo¹⁰¹. Por último en el estudio de Catelan A et al¹⁰², se evaluaron 300 muestras de tres tipos de resinas compuestas que luego fueron sometidas a un proceso de envejecimiento por 252 horas, inmersas en diferentes soluciones de tinción¹⁰². Se observó que los procedimientos de envejecimiento causaron una diferencia de color significativa en los materiales ($p \geq 0,01$). Además que todo método artificial de envejecimiento causó un cambio de color, pero la única solución que presentó una discrepancia de color fuera del valor aceptable clínicamente ($\Delta E \geq 3,3$) fue el vino tinto.

Se puede observar que diversos estudios confirman que el cambio de color en un material restaurador es inmediato a través del proceso de envejecimiento artificial acelerado, desde el primer ciclo se presenta cambios de color en el material restaurador.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA

No existen variaciones de los parámetros de color al transcurso de dos años que sean perceptibles e inaceptables clínicamente, en una muestra de la población chilena.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la variación de color de los incisivos centrales superiores en un plazo de dos años en una muestra de la población chilena mediante el uso de un espectrofotómetro dental, y contrastarlo con los rangos de aceptación y percepción.

ESPECÍFICOS

- Determinar el porcentaje de incisivos centrales superiores donde el cambio de color se manifiesta por sobre o en el umbral de percepción (UP) en un plazo de dos años.
- Determinar el porcentaje de incisivos centrales superiores donde el cambio de color se manifiesta por sobre o en el umbral de aceptabilidad (UA) en un plazo de dos años.
- Comparar los resultados del estudio con los rangos de aceptación y percepción establecidos en la literatura.
- Comparar los resultados del estudio con el criterio USPHS, y criticar su efectividad.
- Comparar los resultados con estudios de color sobre materiales restauradores estéticos que hayan sido sometidos a procesos de envejecimiento artificial acelerado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Odontología de la Universidad Finis Terrae, Santiago de Chile durante el periodo que abarcó los años 2013 - 2014. El número total de personas que participaron en este estudio fue de 71 alumnos voluntarios de la facultad de Odontología, extraídos del universo de 90 alumnos que participaron en el estudio “Medición in vivo de la distribución de color en dientes naturales”¹⁰³ realizado hace dos años. La edad promedio fue de 22.5 años, el rango de edad se encontraba entre los 21 y 30 años. A cada estudiante se entregó un consentimiento informado explicando el procedimiento que se le realizará. Una vez aceptado y firmado por el participante del estudio se le realizó una inspección visual de la cavidad bucal. Se excluyeron aquellos alumnos cuya situación bucal hubiese cambiado en el transcurso de estos dos años, es decir, que presentaran cualquier tipo de elemento que alterara o dificultara la medición de una pieza íntegra como restauraciones o sellantes en cualquiera de las caras de las piezas evaluadas, fractura coronaria, lesiones cervicales no cariosas, hipoplasias, hipocalcificaciones, aparatos fijos de ortodoncia, individuos con antecedentes de blanqueamientos dentales de cualquier tipo. Hubo también otros casos en que fueron excluidos alumnos que no desearan participar del estudio, en periodo de internado y aquellos que se retiraron o terminaron la carrera, donde no fue posible su ubicación. Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro digital, Vita Easyshade Compact (Vident Brea, California, Estados Unidos). Como lo indica el fabricante previo a las mediciones de los pacientes, se conectó el espectrofotómetro a la red eléctrica para realizar la calibración de forma automática sobre su fondo blanco estándar (Fig. 3).

Figura 3. Vita Easyshade Compact (Vident Brea, California).



Una vez realizada la calibración se realizó la medición en el modo de zona dental, para medir zona cervical, central e incisal. Luego de esto se cubrió el visor con un protector plástico provisto por el fabricante por razones de bioseguridad. El procedimiento para realizar mediciones precisas fue localizando la punta de medición perpendicular y enrasada a la superficie del diente (Fig. 4).

Figura 4. Posicionamiento del Vita Easyshade Compact en la superficie dentaria.



La punta de medición se apoyó en una zona de la superficie del esmalte con dentina subyacente en la línea media y en el eje mayor del diente bajo presión

uniforme. Para corroborar una adecuada medición, se verificó el mensaje “OK” en la pantalla que significa que la medición fue realizada de forma correcta (Fig. 5). En caso de algún fallo durante la medición, el aparato emite una señal acústica prolongada y aparece una “X” sobre la zona dental correspondiente en la pantalla.

Figura 5. Correcta medición de los tres segmentos del diente.



Una vez medidas correctamente todas las zonas, se indican los resultados para los colores del Vita 3D-Master y Vitapan Classical. Las mediciones fueron realizadas por dos operadores calibrados, uno en el año 0 y otro en el año 2. La pieza dentaria seleccionada para la medición correspondió exclusivamente al incisivo central superior derecho. Se dividió cada pieza dentaria en tres tercios: cervical, medio e incisal (Fig. 6), por lo que a cada pieza se le realizó tres mediciones sucesivas. Se obtuvieron las coordenadas de color a través del espectrofotómetro Vita Easy-Shade Compact, el que arrojó los valores L^* , a^* , b^* , C^* , h° pertenecientes al diagrama de cromaticidad del sistema CIE establecido en 1976 (Fig. 7). Los datos obtenidos fueron ingresados en un computador personal utilizando una tabla Excel (Microsoft Office 2007).

Figura 6. Esquematación de la división del diente en sus tercios Incisal (I), Medio (M) y Cervical (C).



Figura 7. Ejemplo de los valores L^* , a^* , b^* , C^* , h° obtenidos de un tercio del diente.



Se realizó el cálculo ΔE para medir las diferencias de color del grupo incisivo, entre el año 0 y año 2. De Esta manera, determinar el porcentaje del umbral de aceptación y percepción clínica. La fórmula de diferencia de color utilizada se muestra a continuación:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Para el presente estudio se estableció un ΔE de 2.67 como el límite en que un color puede ser diferenciado de otro por parte de un odontólogo entrenado³. De este modo todo valor mayor o igual a 2.67 (umbral de percepción; UP)⁸⁹, sin

importar su magnitud escalar, es visualmente distinto a otro. En este estudio, se utilizó el valor 3.3 como referencia para el umbral de aceptabilidad clínica (UA). De éste modo todo valor con un ΔE mayor o igual a 3.3 se considera clínicamente inaceptable y un valor menor es aceptable clínicamente. Se utiliza como línea base el estudio de Ruyter et al⁹⁰ debido a que su metodología fue utilizada con materiales dentales, relacionándose con el tema a tratar en éste estudio.

RESULTADOS

Los resultados del estudio demostraron que existen diferencias del color en un periodo de dos años en una muestra de 71 individuos de la población chilena. El promedio de esta diferencia con sus respectivas desviaciones estándar de cada tercio del incisivo central superior, se muestran en la Tabla N°3 (detalle de resultados finales se muestran en anexo N°1).

Tabla N° 3. Promedio de la diferencia de color (ΔE) y desviación estándar (DS) de cada tercio (cervical, medio e incisal) en el incisivo central superior.

Tercio	ΔE (x)	DS (ΔE)	N
Cervical	5,77	4,27	71
Medio	4,58	2,84	71
Incisal	7,84	5,64	71

Se observa en los resultados que hay un cambio de color que es perceptible por el odontólogo ($\Delta E \geq 2.67$), y un cambio de color que no es perceptible por el odontólogo ($\Delta E \leq 2.67$). Además de aquellos valores que son clínicamente inaceptables se consideran con un $\Delta E \geq 3.3$ y un cambio de color aceptable clínicamente de $\Delta E \leq 3.3$. Los resultados se muestran en el Grafico N°1, 2 y 3.

Gráfico N°1. Tercio cervical. Porcentaje del umbral de percepción y aceptabilidad clínica en incisivos centrales superiores.

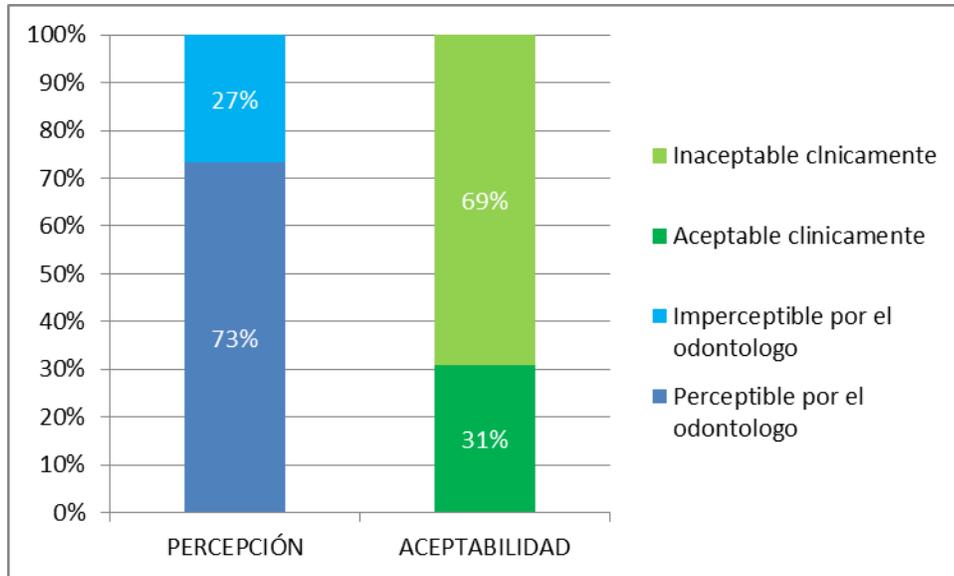


Gráfico N°2. Tercio medio. Porcentaje del umbral de percepción y aceptabilidad clínica en incisivos centrales superiores.

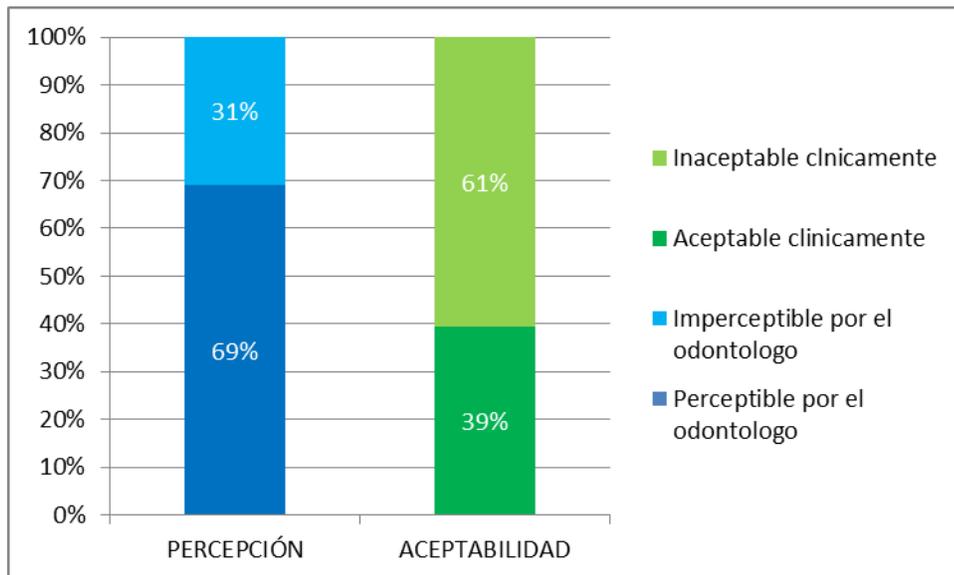
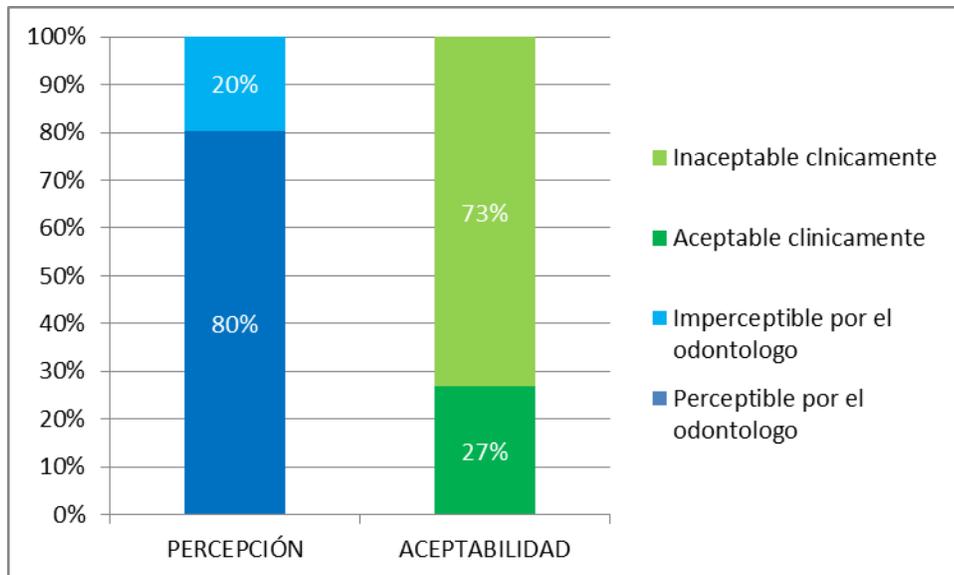


Grafico N°3. Tercio incisal. Porcentaje del umbral de percepción y aceptabilidad clínica en incisivos centrales superiores.



DISCUSIÓN

En el presente estudio se rechaza la hipótesis planteada ya que se demostró que existen variaciones del color dentario en un periodo de dos años en una muestra de la población chilena.

Para lograr los análisis correspondientes del estudio, se utilizó la fórmula de diferencia de color derivada del Sistema CIE Lab, que hasta la fecha es la teoría de color más aceptada y utilizada. Ésta se fundamenta en la teoría de percepción del color basado en tres receptores independientes (rojo, verde y azul) en el ojo humano³⁴. Para esto se utilizan los ejes L*, a* y b que corresponden al brillo, escala de rojo – verde y escala amarillo – azul respectivamente³⁴. La ventaja del sistema CIE Lab es que la diferencia de color puede ser expresada en unidades que pueden ser relacionadas a la percepción visual y así tener significancia clínica³⁴.

El instrumento de medición utilizado en este estudio fue el espectrofotómetro dental Vita Easyshade Compact. Este aparato realiza mediciones objetivas y reproducibles, lo cual permite utilizar los datos obtenidos hace dos años y los conseguidos en esta ocasión en igualdad de condiciones. Además es un instrumento de medición al cual no le influyen las condiciones externas en la toma de color, como la luz ambiental, color de ropa del paciente, hora del día, entre otros. Los resultados son reproducibles, de fácil documentación y traspaso de la información de forma confiable⁷². Además los programas del software realizan la conversión de curvas espectrales al sistema Munsell y CIE Lab²², por lo tanto permiten mejorar la comunicación de los datos utilizando un sistema más universal y objetivo. El Vita Easyshade Compact es uno de los aparatos digitales para la homologación de color más confiable y preciso, como se demuestra en el estudio de Dozic A et al⁸⁶ en comparación a otros instrumentos digitales para la homologación de color. Debido a estas características, el espectrofotómetro dental Vita Easyshade Compact (Vident Brea, California,

Estados Unidos) permitió una medición de igual forma en los diferentes periodos de tiempo. Considerando que el concepto de color y estética es complejo donde influyen diferentes factores en el proceso de homologación de color, hoy en día se hace esencial tener un instrumento de medición digital en la clínica. Obteniendo un registro de color que sea objetivo, constante y reproducible.

Con respecto a los aspectos metodológicos del estudio, si bien el universo fue de 90 estudiantes de Odontología el total final de la muestra fue de 71. Pues no se logró ubicar a todos los estudiantes debido a que se encontraban en periodo de internado fuera de la facultad universitaria y por retiro de la carrera, por ésta razón el porcentaje de dropout fue de un 21,2% del universo total. A pesar de ello la muestra evaluada fue de 71 individuos la cual fue suficientemente significativa para realizar los análisis propuestos en la presente investigación. De los 71 individuos, fueron 26 hombres y 45 mujeres con una edad promedio de 22.5 años. Además este estudio utilizó una línea de investigación de tipo descriptivo, ya que los datos obtenidos fueron estudiados en base a la fórmula de diferencia de color (ΔE), para ser posteriormente analizados. Al resolver la fórmula aplicada para la diferencia de color, se obtenían los resultados del estudio.

En este estudio se logró determinar que el grado de variación del color en un periodo de dos años, fue mayor en tercio incisal, luego el tercio cervical y el que menos varió en el tiempo fue el tercio medio. Con esto se puede determinar que cada dos años el color dentario cambiará, siendo el tercio incisal la variación más notoria. Desde el punto de vista clínico el cambio de color dentario en el tiempo, es un factor importante a considerar, puesto que si realizamos restauraciones estéticas al paso de dos años ya será notorio el cambio de color. Sin considerar el cambio de color propio de la restauración, pero sí del tejido dentario que la rodea, éste habrá cambiado y al compararlo con la restauración se observará una diferencia entre el material y el tejido dentario.

Asimismo en el presente estudio, se observó un cambio perceptible de color en 158 mediciones en total ya sea en el tercio cervical, medio o incisal del incisivo central superior. Este cambio se hace perceptible por cualquier individuo cuando el $\Delta E \geq 2.67$ determinando así el umbral de percepción (UP), de igual forma que en el estudio del 2008 de Da Silva et al⁸⁹. Al establecer un valor específico de umbral de percepción se obtuvo que el tercio incisal presentó el mayor número de individuos con un cambio de color perceptible, en un 80% de los casos. El tercio cervical se presentó en un 73% de los individuos, y el tercio medio fue el que presentó el menor porcentaje con un 69% de UP. El cambio de color perceptible es mayor en los tres tercios del incisivo central superior con respecto al número de individuos en que el cambio de color no es perceptible, por lo tanto después de un periodo de dos años, el color mayoritariamente cambia y es perceptible por el odontólogo general. Es de importancia destacar que después de dos años no sólo existe un cambio de color en la estructura dentaria sino que éste es perceptible al ojo humano en un alto porcentaje. Por ende al realizar una restauración estética, el tejido dentario circundante cambiará de color y será perceptible por el paciente a los dos años. Cabe señalar que en este estudio se establece un valor definido y claro para evaluar la percepción, valor que debiera aplicarse en la clínica para establecer un parámetro objetivo al momento de medir el cambio de color. Conociendo los parámetros de percepción podremos estar mejor informados al momento de tomar una decisión en el recambio de la restauración estética.

Igualmente se obtuvieron 144 mediciones en total ya sea en el tercio cervical, medio o incisal donde el cambio de color es inaceptable clínicamente. Esto ocurre cuando el cambio de color presenta un $\Delta E \geq 3.3$, lo cual significa que el cambio de color es perceptible y que además no es aceptable clínicamente (umbral de aceptabilidad). En el caso de un material restaurador estaría indicado su recambio por razones estéticas. En el presente estudio se observó que en los tres tercios del incisivo central superior hubo mayor porcentaje de individuos en los cuales el cambio de color estaría en el rango de inaceptabilidad clínica. El tercio incisal presentó el mayor porcentaje de UA con un 73%, luego siguió el tercio

cervical con un 69% y finalmente el tercio medio con un 61% de UA. Se determinó que el tercio incisal presentó un mayor número de individuos donde el cambio de color es perceptible e inaceptable clínicamente después de un periodo de dos años. Y el tercio que presenta menor número de individuos en que el cambio es perceptible e inaceptable clínicamente es el tercio medio. En este estudio se establece un umbral de aceptabilidad de un $\Delta E \geq 3.3$, al igual que en el estudio de Ruyter et al⁹⁰. A raíz de lo anterior, se recomienda establecer un número fijo para el valor de ΔE definiendo así el umbral de aceptabilidad, de tal manera de aplicarlo objetivamente en la clínica al momento de decidir si se debe o no cambiar la restauración estética. Además, es importante señalar que si el cambio de color en dos años fue inaceptable clínicamente para la gran mayoría de las muestras, la diferencia de color del tejido dentario será notoria e inaceptable clínicamente si está situada con una restauración estética alrededor, por lo tanto, su recambio estará indicado en base a una comparación subjetiva entre ambas estructuras.

Cuando se habla de estética se entiende que es un concepto ambiguo, ya que la percepción del color es diferente entre un individuo y otro. Esto explica que a veces el cambio de color que es perceptible e inaceptable clínicamente para una persona puede que para otra no. Consecuentemente si no existe un criterio objetivo éste puede ser cuestionable entre individuos. El criterio que actualmente se utiliza es el USPHS (US Public Health Service) el cual se define como sistema para la evaluación clínica de materiales restauradores dentales⁴⁷. Se realizan comparaciones visuales entre la restauración y la estructura dentaria vecina así determinar calificaciones (alfa, bravo y charlie) de acuerdo si la restauración y la estructura dentaria vecina son una combinación perfecta o no, si la homologación de color está fuera de los rangos normales de color dentario, sombra o translucidez⁴⁵. Este criterio se basa en una simple comparación y no determina un valor específico de ΔE , por lo que responde a una lógica subjetiva. Además no considera que el tejido dentario vecino también puede cambiar de color en el tiempo. Es así como, basándose en este estudio y en el criterio USPHS, si se

tiene una restauración estética ésta se debe reemplazar en el plazo de dos años por un factor estético.

Al mismo tiempo, múltiples estudios analizan la estabilidad de color de las restauraciones estéticas en el tiempo utilizando para la investigación el termociclo. El ciclo térmico consiste en una simulación del envejecimiento in vivo de los materiales restauradores sometidos bajo exposición cíclica de temperaturas frías y calientes⁹⁶. Estos estudios determinan un cambio de color inmediato al momento de ser instalada la restauración en el ambiente bucal. Según el estudio de Drubi – Filho et al⁹⁸ a las 32 horas los materiales de resinas compuestas evaluadas presentaron un cambio de color. En otro estudio de Tornavoi DC et al¹⁰¹ evaluaron tres resinas compuestas, después del termo–ciclo realizado equivalente a un plazo de 10 años presentaron un cambio de color inaceptable ($\Delta E \geq 3.3$) en todas las resinas. Por otro lado, en el estudio de Van Dijken y Pallesen U⁵⁴ evaluaron 85 restauraciones clase IV de resina compuesta en un plazo de 14 años por el criterio modificado USPHS, los cuales no presentaron restauraciones reemplazadas por color no aceptable y descoloración. Esto explica por qué el criterio USPHS es subjetivo, es más bien una observación visual que puede ser interpretada de maneras diferentes según el momento y el individuo. Con los resultados de este estudio se puede asegurar que el color dentario cambia al cabo de dos años independiente de la estabilidad de color del material restaurador. Además el análisis realizado por los estudios antes mencionados^{54, 98, 101} para determinar el momento de cambiar o no la restauración, se centra en la variación de color del material restaurador y no existe una observación del tejido dentario. El cambio de color del sustrato no está considerado dentro de la lógica que utilizan. A pesar de las modificaciones de color que se relatan no hay cambios de restauración por un problema estético, entonces cual es realmente el criterio que se utiliza hoy en día en la clínica. Por estas razones se debería replantear el criterio USPHS para considerar otros aspectos que no han sido incorporados, estableciendo un criterio más objetivo, amplio y claro. Así al momento de decidir si cambiar o no una restauración por un problema estético, no sería una decisión tan subjetiva y ligera.

Tomando en cuenta la variación de color de la estructura dentaria y las expectativas del paciente. Si el cambio de color dentro del concepto estético del paciente no es un problema, éste no considerará necesario el recambio de restauración. También hay que tomar en cuenta que el criterio USPHS modificado se basa en un puntaje de cero a cuatro, en donde el criterio se basa en calificaciones como bueno y leve ajuste de color, obvio y grave desajuste de color. Al final la decisión queda en la opinión del odontólogo ya que no hay un valor específico de ΔE .

Es importante tener en consideración que el material restaurador estético cambia de color desde el momento en que es situado en el ambiente bucal, ya sea por factores intrínsecos o extrínsecos. Existen diversos estudios que comprueban esto^{99 – 103}. De esta manera se explica que una de las razones de recambio más comunes de las restauraciones estéticas, es por un factor o problema estético y cada vez un parámetro más importante al momento de evaluar la calidad de la restauración para el paciente. A raíz de lo anterior, el odontólogo al momento de realizar una restauración estética debiera explicar e informar de mejor manera al paciente sobre los cambios de color inherente del tejido dentario y la restauración al paso del tiempo. Variación de color que después generará una diferencia entre la restauración y el diente. De ésta forma no se determinará un cambio de restauración en un corto plazo de tiempo, para así extender la vida útil de la restauración.

Debido a las exigencias de belleza en la sociedad es cada vez más necesario un aprendizaje profundo sobre el color para el odontólogo general. De modo de obtener una restauración cumpliendo no sólo con las características funcionales propias de la rehabilitación, sino también con los parámetros estéticos correspondientes. Como se expuso anteriormente es importante para el paciente la estética al momento de juzgar una restauración. Es por eso que se debe perfeccionar las técnicas para garantizar una buena atención dental.

Para este estudio las mediciones fueron realizadas en tejido dentario natural el cual presenta características ópticas propias que son de gran importancia cromática.

Cabe destacar la importancia de aplicar el enfoque de las tres dimensiones de Munsell²⁹, concepto fundamental para entender el color. Las tres dimensiones del sistema espacio color se definen por: el tono que es el atributo que permite distinguir diferentes familias de color², el brillo indica luminosidad de un rango de color desde un negro puro a un blanco puro y la saturación es el grado de intensidad de un color, describe la fuerza e intensidad de un color². Esto sugiere que, en el área clínica se debiera aplicar estos conceptos, ya que al entender y comprender las tres dimensiones del color se puede lograr una buena selección de éste, obteniendo un color natural de la estructura dentaria al momento de rehabilitar.

CONCLUSIONES

En un plazo de dos años el color dentario varía siendo esta diferencia de color perceptible e inaceptable clínicamente. La mayoría de la población presenta un cambio perceptible (UP; umbral de percepción) y clínicamente inaceptable (UA; umbral de aceptabilidad).

El criterio USPHS en el ítem de homologación de color, debiera ser planteado nuevamente. Creando un razonamiento más amplio, preciso y claro. Contemplando la discrepancia de color del sustrato y no sólo del material restaurador. Además fijando un número específico de diferencia de color (ΔE) tanto para el umbral de percepción como de aceptación clínica.

Se plantea determinar un valor universal para el umbral de percepción y de aceptabilidad clínica, el cual sea aplicable tanto en el material restaurador como en la estructura dentaria.

Para el odontólogo general se hace necesario un mejor entendimiento del color debido a las exigencias estéticas de la sociedad actual, además del uso en la clínica dental de métodos objetivos como instrumentos digitales para la homologación de color. Así la Odontología estética se debiera considerar como parte del tratamiento para lograr una atención dental de mejor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rubiño M, García JA, Jimenez del Barco L, Romero J. Colour Measurement of human teeth and evaluation of colour guide. *Color Res Appl.* 1994; 19:19– 22.
2. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent.* 2004; 32: 3 – 12.
3. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent.* 2008; 36S: S2 – S7.
4. Burnham RW, Hanes RM, Bartleson CJ. *Color: A guide to basic facts and concepts*, New York. John Wiley & Sons. 1963..
5. Ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J of Dent Res.* 1995; 74: 374 – 380.
6. Morley J. The esthetics of anterior tooth aging. *Current Opinion in Cos Dent.* 1997; 4: 35 – 39.
7. Odioso LL, Gibb RD, Gerlach RW. Impact of demographic, behavioral, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. *Compend of Cont Educ in Dent.* 2000; 21 (29): S35 – S41.
8. Zhao Y, Zhu J. In vivo color measurement of 410 maxillary anterior teeth. *The Chinese J Dent Res.* 1998; 3: 49 – 51.
9. Hasegawa A, Motonomi A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color of natural tooth crown in Japanese people. *Color Res and Appl.* 2000; 25: 43 – 48.
10. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent.* 2002; 87: 149 – 152.
11. Goodkin RJ, Keenan K, Schawabacher WB. Use of a fiberoptic colorimeter for an in vivo color measurement of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent.* 1987; 58: 535 – 542.
12. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent.* 2000; 83: 418 – 423.
13. Hassan AK. Effect of age on colour of dentition of Baghdad patients. *East Mediterran Health J.* 2000; 6: 511 – 513.

14. Cook WD, McAree DC. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition. *J Biomed Mat Res.* 1985; 19: 469 – 488.
15. Cvar J, Ryge G. Criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. San Francisco: US DHEW Document, US PHS 790244, Printing Office; 1971.
16. Bayne SC, Schmalz G. Reprinting the classic article on USPHS evaluation methods for measuring the clinical research performance of restorative materials. *Clin Oral Invest.* 2005; 9: 209-214.
17. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989; 68: 819-822.
18. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* 2007; 97: 200-8.
19. CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). Improvement to industrial colour-difference evaluation 142. Viena: CIE Central Bureau Public ;2001.
20. Bridgeman I. The nature of the light and its interaction with matter. In: McDonald R, editor. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H Charlesworth & Co Ltd. 1987; p.1 – 34.
21. Hill AR. How we see color. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H Charlesworth & Co Ltd. 1987.
22. Gómez C. Estudio clínico sobre el color dental en la población de Castilla y León. Tesis para optar al título de Doctorado en Odontología. Salamanca, España. Universidad de Salamanca, Facultad de Medicina. 2012.
23. Hill AR. How we see colour. In: McDonald R, editor. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd. 1987; p. 97 – 115.
24. Hunt RWG. *Measuring colour.* 3rd.ed. Kingston-upon-Thames: Fountain Press; 1998.
25. Martínez Vásquez de Parga JA, Nieto Alcalde S, Romeo Rubio M, Cañada Madinazcoitia L. Factores que determinan la percepción del color en Odontología. *Revista Internacional de Prótesis Estomatológica.* 2004; 6 (3): 218 – 225.

26. Miller A. Shade selection and laboratory communication. *Quintessence Int.* 1993; 24: 305-309.
27. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003 Oct; 23 (5):467 – 79.
28. McLaren K. Colour space, colour scales and colour difference. In: McDonald R, editor. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd. 1987; p. 97 – 115
29. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *The journal of Prosthetic Dentistry.* 2001 Nov; 453-457.
30. Judd DB, Wyszecki G. *Color in business, Science and Industry.* 2a.ed. New York, John Wiley & Sons. 1963.
31. Nickerson D. *Color measurement.* U.S.: Department of Agriculture Miscellaneous Publication; 1946 march.
32. Clark EB. Analysis of tooth color. *J. Am. Dent. Assoc.* 1931; 18: 2093.
33. Munsell AH. *Color Notatio.* 11a.ed. Baltimore: Munsell Color Company, Inc.; 1961.
34. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mat.* 1997; 13: 179 – 185.
35. Qualtrough AE, Burke FJT. A look at dental esthetics. *Quintessence international.* 1994; 25: 7 – 14.
36. Hernandez Z, Celemin A. Estudio del color en la población española según sexo y edad. *Gaceta Dental: Industria y Profesionales.* 2009; 203: 160 – 175.
37. Clark EB. An analysis of tooth color. *J Am Dent Assoc.* 1931; 18: 2093 – 2103.
38. Touati B, Miara P, Nathanson D. Transmisión del color y de la luz. En: *Odontología estética y restauraciones cerámicas.* Barcelona: Masson S.A.; 1999. pp.39 – 60.

39. Llamas Cadaval R, Villa A. Biología de la pulpa y de los tejidos periapicales. En: Llamas Cadaval R, Villa A. Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas. Barcelona; Madrid. Masson. 2001. pp. 4 – 13
40. Geller W. Polishing porcelain makes a crown smoother, more translucent, and improves the color. Quintessence Dent Technol. 1983; 7: 384.
41. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. J Dent. 2004; 32 Suppl 1: S3-12.
42. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric Analysis of Color Differences Between Porcelain Systems. J Prosthet Dent. 1986; 56: 35 – 40.
43. Billmeyer FW, Saltzman M. Principles of Color Technology. New York: John Wiley and Sons. 1981.
44. Wyszecki G, Stiles WS. Color Science: Concepts and Methods, En: Wyszecki G, Stiles WS. Quantitative Data and Formulae, New York: John Wiley and Sons: 1982. pp. 83 – 173.
45. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res. 1989 May; 68 (5): 819 – 822.
46. Stephen CB, Schmalz G. Reprinting the classic article on USPHS evaluation methods for measuring the clinical research performance of restorative materials. Clin Oral Invest. 2005; 9: 209 – 214.
47. Gresnigt MMM, Kalk W, Ozcan M. Randomized controlled split – mouth clinical trial of direct laminate veneers with two micro – hybrid resin composites. J Dent. 2012; 40: 766 – 775.
48. Palaniappan S, Elsen L, Lijnen I, Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Three –year randomized clinical trial to evaluate the clinical performance, quantitative and qualitative wear patterns of hybrid composite restorations. Clin Oral Invest. 2009; 14(4): 441- 458.
49. Van Dijken JWV. Durability of new restorative materials in class II cavities. J Adhesive Dent. 2001; 3: 65 – 70.

50. Van Dijken JWV. A 6 – year prospective evaluation of a one-step HEMA – free self – etching adhesive in class II restorations. *Dental Materials*. 2013; 29: 1116 – 1122.
51. Jyothi KN, Annapurna S, Kumar A. S, Venugopal P, Jayashankara CM. Clinical evaluation of giomer – and resin modified glass ionomer cement in class V noncarious cervical lesions: An *in vivo* study. *J Conserv Dent*. 2011 Oct- Dec; 14 (4): 409 – 413.
52. Van Dijken JWV, Pallesen U. Fracture frequency and longevity of fractured resin composite, polyacid – modified resin composite, and resin – modified glass ionomer cement class IV restorations: an up to 14 years of follow – up. *Clin Oral Invest*. 2010; 14: 217 – 222.
53. Bergen SF. Color in esthetics. *N Y State Dent J*. 1985; 51: 470 – 471.
54. Devigus A. La medición del color en Odontología. Quintessence (ed. Esp). 2004; 17:281 -6.
55. Zelanski P, Fisher MP. *Elementos básicos del color*. Madrid: H. Blume. 2001.
56. Yap AU, Sim CP, Loh WI, Teo JH. Human eye versus computerized color matching. *Oper Dent*. 1999; 24:358-63.
57. Ragain JC, Johnston WM. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res Appl*. 2000; 25: 278 – 85.
58. Van der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Kortsmid WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent*. 1990; 63: 155 – 62.
59. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II Practical applications for the organization of color. *J Prosthet Dent*. 1973;29: 556-566.
60. O´Brien WJ. A new small – color difference equation for dental shades. *J Dent Res* 1990; 11 (69): 1762 – 1990.
61. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent*. 1998; 80: 642 – 8.
62. Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent*. 1970; 24: 166-173.

63. Donahue JL. Shade color discrimination by men and woman. *J Prosthetic Dent.* 1991; 5 (65): 699 – 703.
64. Van der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PCF. A new method for matching tooth colors with color standard. *J Dent Res.* 1985; 64: 837-841.
65. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analisys of human teeth. *J Dent Res.* 2002; 81 (8): 578-582.
66. Miller LL. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc.* 1987; 26E-40E.
67. Yap AU. Color attributes and accuracy of Vita – based manufacturers´ shade guides. *Oper Dent.* 1998 Sep – Oct; 23 (5): 266-71.
68. Moklis GR, Matis BA, Cochran MA, Eckert GJ. A clinical evaluation of carbamide peroxide and hydrogen peroxide whitening agents during daytime use. *J Am Dent Assoc.* 2000 Sept; 131 (9): 1269-77.
69. Kihn PW, Barnes DM, Romberg E, Peterson K. A clinical evaluation of 10 percent vs. 15 percent carbamide peroxide tooth-whitening agents. *J Am Dent Assoc.* 2000 Oct; 131 (10): 1478-84.
70. Heymann HO, Swift EJ, Bayne SC, May KN, Wilder AD, Mann GB, et al. Clinical evaluation of two carbamide peroxide tooth-whitening agents. *Compend Contin Educ.* 1998 Apr; 19 (4): 359-62.
71. Stephen JC, Trushkowsky RD, Rade DP. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010; 38S e2 – e16.
72. Stephen JC, Alessandro Devigus, Rade DP, Adam JM. *Fundamentals of color, shade matching and communication in esthetic dentistry.* 2a.ed. Chicago: Quintessence Pub Co; 2011.
73. Lemiére PA, Burk B. *Color in dentistry.* Hartford, CN: JM Ney.; 1975.
74. Nuñez Diaz P, del Río Highsmith J. Estudio comparativo entre sistemas de medición del color en Odontología. *Gaceta Dental.* 2007 mar; 179: 164-75
75. Li Y. Tooth color mesasurement using Chroma Meter: techniques, advantages, and disadvantages. *J Esthet Restor Dent.* 2003; 15 : 33 – 41.
76. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent.* 2002; 88: 585 – 590.

77. Wee AG, Kang EY, Johnston WM, Seghi RR. Evaluating porcelain color match of different porcelain shade-matching systems. *J Esthet Dent.* 2000; 12: 271-80.
78. Brook AH, Smith RN, Lath DJ. The clinical measurement of tooth colour and stain. *Int Dent J.* 2007 Oct; 57 (5): 324-30.
79. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused- to- metal crowns: a clinical comparison. *International J Perio Rest Dent.* 2004; 24: 222-31.
80. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available color measuring devices. *British Dental Journal.* 2007; 203: 675 – 80.
81. Kielbassa AM, Beheim - Schwarzbach NJ, Neumann K, Zantner C. In vitro comparison of visual and computer-aided pre – and post – tooth shade determination using various home bleaching procedures. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2009; 101: 92 – 100.
82. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, Polyzois GL. Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *Journal of Prosthetic Dentistry.* 2009; 101: 92 – 100.
83. Kourtis SG, Tripodakis AP, Doukoudakis AA. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. *J Prosthetic Dentistry.* 2004 nov; 92 (5): 477-485.
84. Cefaly DF, Seabra BG, Tapety CM, Taga EM, Valera F, Navarro MF. Effectiveness of surface protection of resin modified glass ionomer cements evaluated spectrophotometrically. *Operative Dentistry.* 2001; 26: 401 – 405.
85. Ortengren U, S Langer, Goransson A, T Lundgren. Influence of pH and time on organic substance release from a model dental composite: a fluorescence spectrophotometry and gas chromatograph/mass spectrophotometry analysis. *European J of Oral Sciences.* 2004; 112: 530-537.

86. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color measuring devices. *Journal of Prosthodontics*. 2007; 16: 93 – 100.
87. Ghazal K, Brain P, Samira S, Alma D, Cornelis J.K, Albert JF. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *Journal of Dentistry*. 2013; 42: 637-644.
88. Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color difference. *Col Res Appl*. 1979; 4: 83 – 91.
89. Da Silva JD, Park SE, Weber H-P, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent*. 2008; 99: 361 - 368.
90. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent materials*. 1987; 3:246-51.
91. Souza AB, Silame FD, Alandia – Roman CC, Cruvinel DR, García Lda F, Pires-de-Souza Fde C. Color stability of repaired composite submitted to accelerated artificial aging. *Gen Dent*. 2012; 60: e321 – e325.
92. Janda R, Roulette JF, Kaminsky M, Steffin G, Latta M. Color stability of resin matrix restorative materials as function of the method of lightactivation. *Eur J Oral Sci*. 2004; 112: 280-285.
93. Ferracane JL, Moser JB, Greener EH. Ultraviolet Light –induced yellowing of dental restorative resins. *J Prosthet Dent*. 1985; 54: 483 – 487.
94. Imazato S, Tarumi H, Kato S, Ebisu S. Water sorption and colour stability of composites containing the antibacterial monomer MDPB. *J Dent*. 1999; 27: 279 – 283.
95. Sarafianou A, Iosifidou S, Papadopoulus T, Eliades G. Color stability and degree of cure of direct composite restoratives after accelerated aging. *Oper Dent*. 2007; 32: 406-411.
96. Burger KM, Cooley RL, Garcia-Godoy F. Effect of thermocycling times on dentin bond strength. *J Esthet Dent*. 1992; 4(6): 197-8.

97. Pires-de-Souza Fde C, Casemiro LA, Garcia Lda F, Cruvinel DR. Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *J Prosthet Dent.* 2009; 101: 13-18.
98. Drubi – Filho B, Garcia Lda F, Cruvinel DR, Souza AB, Pires-de-Souza Fde C. Color stability of modern composites subjected to different periods of accelerated artificial aging. *Braz Dent J.* 2012; 23(5): 575-580.
99. Lee Y-K, Lim B-S, Rhee S-H, Yang H-C, Powers JM. Changes of optical properties of dental nano-filled resin composites after curing and thermocycling. Wiley Periodicals, Inc. *J Bio Mater Res Part B: Appl Biomater.* 2004; 71B: 16 – 21.
100. Lee Y-K, Yu B, Lim HN, Lim JI. Difference in the color stability of direct and indirect resin composites. *J Appl Oral Sci.* 2011; 19 (2): 154-60.
101. Tornavoi DC, Agnelli JA, Panzeri H, Dos Reis AC. Color change of composite resins subjected to accelerated artificial aging. *Indian J of Dent Res.* 2013; 24 (5).
102. Catelan A, Fraga Briso AL, Sundfeld RH, Goiato MC, Dos Santos PH. Color stability of sealed composite resin restorative materials after ultraviolet artificial aging and immersion in staining solutions. *J of Prost Dent.* 2011; 105: 236-241.
103. Manton L, Arellano E. Medición in vivo de la distribución de color en dientes naturales. Tesis para optar al título de Cirujano Dentista. Santiago, Chile: Universidad Finis Terrae; 2012.

ANEXOS

Anexo N°1, detalle de tabla N°3.

Paciente	$(\Delta L)^2$	$(\Delta a)^2$	$(\Delta b)^2$	suma cuadrado	raíz
Individuo 1	79,21	4,41	1	84,62	9,20
Individuo 2	51,84	0,36	0,49	52,69	7,26
Individuo 3	21,16	0,16	4,84	26,16	5,11
Individuo 4	108,16	0,04	8,41	116,61	10,80
Individuo 5	1,21	0,16	1	2,37	1,54
Individuo 6	0,49	0,04	5,29	5,82	2,41
Individuo 7	3,61	0,01	1	4,62	2,15
Individuo 8	0,16	0,49	2,25	2,9	1,70
Individuo 9	21,16	2,56	25	48,72	6,98
Individuo 10	5,76	3,61	2,89	12,26	3,50
Individuo 11	14,44	0,49	0,16	15,09	3,88
Individuo 12	0,36	0	0,01	0,37	0,61
Individuo 13	0,81	3,24	0,49	4,54	2,13
Individuo 14	34,81	2,25	0,04	37,1	6,09
Individuo 15	21,16	0,01	0,64	21,81	4,67
Individuo 16	12,96	0,16	0,49	13,61	3,69
Individuo 17	0,25	0,01	1,44	1,7	1,30
Individuo 18	0,01	1,21	18,49	19,71	4,44
Individuo 19	39,69	2,25	18,49	60,43	7,77
Individuo 20	0,64	2,56	0,36	3,56	1,89
Individuo 21	75,69	2,89	0,49	79,07	8,89
Individuo 22	84,64	0,16	1,44	86,24	9,29
Individuo 23	47,61	4	4,84	56,45	7,51
Individuo 24	3,61	0,09	0,16	3,86	1,96
Individuo 25	31,36	0,36	0,36	32,08	5,66
Individuo 26	6,25	0,64	0,25	7,14	2,67
Individuo 27	27,04	0	0,16	27,2	5,22
Individuo 28	51,84	812,25	1,44	865,53	29,42
Individuo 29	19,36	0,09	0,09	19,54	4,42
Individuo 30	2,89	3,24	0,16	6,29	2,51
Individuo 31	0,81	1	5,76	7,57	2,75
Individuo 32	42,25	1,44	0,25	43,94	6,63
Individuo 33	4,84	1	0,36	6,2	2,49
Individuo 34	114,49	0,25	39,69	154,43	12,43

Individuo 35	0,81	12,96	9	22,77	4,77
Individuo 36	9	4,41	62,41	75,82	8,71
Individuo 37	81	1,44	2,25	84,69	9,20
Individuo 38	5,29	0,49	6,76	12,54	3,54
Individuo 39	16	4,84	0,49	21,33	4,62
Individuo 40	7,29	3,61	67,24	78,14	8,84
Individuo 41	3,61	0,09	0,01	3,71	1,93
Individuo 42	44,89	9,61	0,81	55,31	7,44
Individuo 43	31,36	0,49	16	47,85	6,92
Individuo 44	102,01	1	6,76	109,77	10,48
Individuo 45	285,61	10,24	20,25	316,1	17,78
Individuo 46	46,24	0,25	0,01	46,5	6,82
Individuo 47	1,44	0,04	4	5,48	2,34
Individuo 48	6,76	0,36	7,29	14,41	3,80
Individuo 49	0,09	0,16	6,76	7,01	2,65
Individuo 50	44,89	0,01	9,61	54,51	7,38
Individuo 51	43,56	0,04	2,56	46,16	6,79
Individuo 52	23,04	0,64	0,01	23,69	4,87
Individuo 53	0,01	6,25	0,81	7,07	2,66
Individuo 54	16	0,01	1,21	17,22	4,15
Individuo 55	106,09	0,49	9	115,58	10,75
Individuo 56	5,29	0,01	0,36	5,66	2,38
Individuo 57	24,01	4,84	1	29,85	5,46
Individuo 58	7,29	0,25	1	8,54	2,92
Individuo 59	37,21	1,44	0,09	38,74	6,22
Individuo 60	10,89	0,81	9	20,7	4,55
Individuo 61	12,96	6,76	1	20,72	4,55
Individuo 62	70,56	0	0,49	71,05	8,43
Individuo 63	4,84	1,96	47,61	54,41	7,38
Individuo 64	0,16	0,01	1,44	1,61	1,27
Individuo 65	79,21	0,25	0,25	79,71	8,93
Individuo 66	0,81	59,29	16,81	76,91	8,77
Individuo 67	3,24	2,89	0,64	6,77	2,60
Individuo 68	65,61	0,64	1,96	68,21	8,26
Individuo 69	9,61	0,04	1,96	11,61	3,41
Individuo 70	0,25	0,04	6,25	6,54	2,56
Individuo 71	2,89	4,41	31,36	38,66	6,22