



ESTUDIO SOBRE LA FIABILIDAD DE
MEDICIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO
DENTAL VITA EASYSHADE COMPACT
(Vita – Zahnfabrik)

Sheila Martínez Martínez
Dra. Alicia Celemín Viñuela
Máster en Ciencias Odontológicas
Departamento de Estomatología I (Prótesis
Bucofacial)
Universidad Complutense de Madrid
Septiembre 2012

Agradecimientos

A mi tutora, la Dra. Alicia Celemín Viñuela, por su persistente guía.

A la casa Vita, por la cesión de su espectrofotómetro, instrumento imprescindible en el desarrollo del presente trabajo.

A José Manuel García de Cecilia, por su apoyo humano y profesional en el desarrollo del análisis estadístico.

Índice	Páginas
I. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	5
II. HIPOTESIS Y OBJETIVO.....	10
III. MATERIAL Y MÉTODO.....	11
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN.....	39
VI. CONCLUSIONES.....	44
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	45
VIII ANEXO I.....	49

I. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La sociedad actual se encuentra inmersa en un creciente proceso de culto a la estética dental, y es por ello, por lo que el aumento de la demanda estética en los últimos años ha incrementado los esfuerzos para lograr una toma de color lo más exacta y natural posible.

La odontología estética se encarga de intentar satisfacer estos requisitos, como son los casos de blanqueamiento dental, en el que podemos cuantificar los cambios de color o por otro lado, mimetizar las restauraciones protésicas entre los dientes naturales.

El **color** es un fenómeno físico de percepción visual, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético, y como consecuencia de la combinación de tres factores; luz reflejada y transmitida, el objeto y el observador, que es percibido por las personas.

El ojo humano puede distinguir al menos 10 millones de colores diferentes. De todos ellos, 100.000 pueden encontrarse en el diente humano, con variaciones entre individuos en la población. Pues el color dental no se puede considerar como un parámetro estable sino que varía de un individuo a otro, de una dentición a otra, de un diente a otro e incluso a lo largo del tiempo en un mismo diente.

Así mismo los dientes tampoco son monocromáticos, su intensidad puede variar en el eje vertical, desde la zona más cervical o gingival a la zona incisal, o incluso entre ambos tipos de dientes dentro de la misma dentición ^(1,2)

El color natural del diente tiene una complejidad enorme. Consta de múltiples propiedades que deben reproducirse fielmente para conseguir una réplica dental verídica. Dichas características, como la textura superficial, el grado de translucidez, la opalescencia, la fluorescencia, el metamerismo, que se explican a continuación, dificultan la selección del color.

La morfología de la superficie influye en la reflexión de la luz, jugando un papel importante en la percepción del color. Si la luz incide en un objeto liso y los rayos reflejados son paralelos, esto crea una reflexión de luz con efecto de espejo; mientras que si incide en una superficie irregular como en el caso de los dientes, los rayos reflejados son dispersos en varias direcciones dando como resultado una reflexión de luz difusa y por tanto la translucidez del mismo.

Por esta razón, el conocimiento de la anatomía y la composición de los materiales en odontología permitirán al especialista solventar estos problemas y lograr restauraciones con resultados satisfactorios.

La opalescencia es la habilidad del diente y en este caso del esmalte, de poder producir efectos diferentes, según como incida en él la luz. Esta capacidad es lo que en ocasiones produce tonos azulados en los bordes incisales.

La fluorescencia es la emisión de energía luminosa por un material, cuando un rayo de luz es reflejado en él. Tanto el diente natural como la resina y la porcelana tienen la habilidad de ser fluorescentes; pero poseen diferente fluorescencia entre ellos, y esto muchas veces provoca que las restauraciones a la luz natural se vean más “oscuras”, pues no están emitiendo la misma cantidad de luz visible.

El metamerismo es un fenómeno psicofísico que produce un cambio en el aspecto del color. Se produce cuando tenemos dos muestras de color que, al verlas bajo un iluminante, tienen el mismo aspecto visual pero cuando cambiamos la luz la desigualdad entre las muestras se rompe, pudiéndose apreciar diferencias entre ellas. Esto se da cuando la curva de reflexión de las dos muestras de color es diferente entre sí, pero al sumarlas a la curva de reflexión de la luz nos devuelve una misma sensación visual. La igualdad entre las dos muestras siempre se dará cuando ambas tengan la misma curva de reflexión.

Por otro lado, es importante tener presente que el concepto de color incluye tres dimensiones que lo determinan o producen un color único. Así, el color es el conjunto de un tinte, del valor y de la intensidad.

El **tinte** es la longitud de onda dominante de un color, es decir, el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados y que nos permite distinguir el recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático de los colores primarios (rojo, azul y verde).

El **valor** es la cantidad de brillo, “luminosidad” o “gris”, que se conoce como la intensidad de luz percibida. Es el mayor grado de claridad u oscuridad de un color; cuanto más oscuro es un color, su valor será menor, como en el caso del negro, en el cual su brillo es cero. Cuanto más claro es el color, su valor será mayor, como en el caso del blanco, cuyo valor es 100.

La **intensidad**, también llamado saturación o croma, representa la cantidad de color existente en éste, es decir, la palidez o viveza del mismo. Un ejemplo explicativo es, cuando tenemos un vaso de agua y se empieza a colocar gota a gota cualquier color de pintura, el color del agua se vuelve más saturado, más puro y fuerte, a medida que añado más gotas de dicho color.

La intensidad también puede ser definida por la cantidad de gris que contiene; cuanto más gris o más neutro es un color, menos brillante o menos saturado es. Por eso, igualmente, cualquier cambio que hagamos a un color puro, automáticamente disminuye su saturación.

Es conveniente que los profesionales dentales tengan en cuenta estos aspectos sobre el color. Pues hoy en día, la apariencia de los dientes es una preocupación para mucha gente.

Tradicionalmente, en odontología la valoración y cuantificación del color de los dientes se ha realizado mediante métodos subjetivos o psicofísicos (visuales), basados en la utilización de guías de colores, destinados a cubrir y comparar el rango de colores presentes en los dientes humanos. A pesar de ser un método de evaluación rápido y fácil de aplicar, también es muy popular. Pues todavía es el método principal en las clínicas dentales.

No obstante, aunque las guías de color han servido como herramienta para la comunicación del color entre profesionales, la justificación de nuestro trabajo es que a pesar de su uso diario en la clínica, queremos demostrar que existen métodos electrónicos que puedan eliminar los efectos subjetivos de las guías.

Sin embargo, estudios ya publicados muestran que sus limitaciones deben apreciarse en la interpretación de los resultados.

Se consideran variaciones en el color asociadas a los factores como la edad, el daltonismo, ciertos suplementos nutricionales y algunos medicamentos, cambios emocionales, la experiencia de los observadores, condiciones de luz, cansancio y fatiga ocular...que resultan incontrolables. Numerosos estudios además, han mostrado que dichas guías de referencia no cubren el rango de color dental y que las pestañas no están lógicamente distribuidas ^(3, 23, 27, 28, 29)

En cambio, recientemente han aparecido métodos objetivos, que se trata de sistemas instrumentales que pretenden ayudar a sustituir la sensación subjetiva del ojo humano para suministrar los colores reproducibles de forma exacta para la construcción y fabricación de prótesis dentales entre otros fines.

Entre estos aparatos electrónicos se encuentran los colorímetros, espectrofotómetros y más actuales los sistemas de análisis de imagen digital y sistemas híbridos (combinación del análisis digital y análisis espectrofotométrico) que intentan eliminar los efectos subjetivos en la medición del color a través de las guías dentales tradicionales ⁽⁴⁾. Permiten describir el color dental empleando las tres coordenadas del color desarrolladas por la Comisión Internacional de Eclairage (CIE) como estándar internacional. El sistema $L^*a^*b^*$ es el sistema de coordenadas ordinales y define tres aspectos del color dental. L^* es el brillo del color y oscila entre el 0 (negro) y el 100 (blanco); a^* representa la coordenada en el eje verde-rojo, y b^* corresponde a la coordenada ordinal en el eje amarillo-azul. Sus correspondientes coordenadas polares son L^* , que al ser el eje vertical no varía, C^* , que corresponde con el croma o intensidad y h^* que representa el tinte o tono.

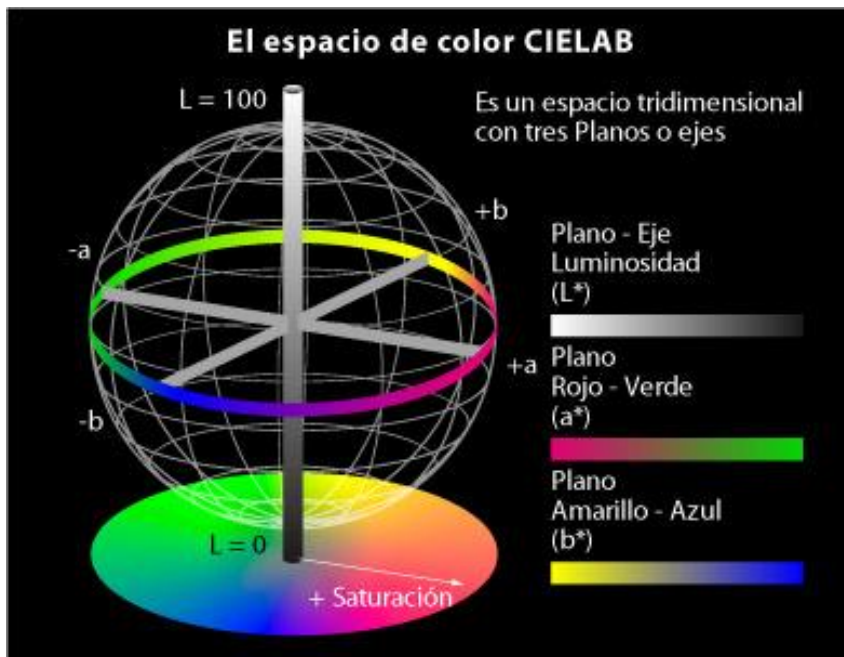


Figura 1. Espacio de color CIELAB y coordenadas de color

Los colorímetros, a diferencia de los espectrofotómetros, sólo tienen 3 o 4 filtros; el cuarto filtro es un filtro de densidad neutra para la escala del gris; los colorímetros sólo arrojan datos sobre tres estímulos para un determinado objeto luminoso.

Los espectrofotómetros despliegan una reflexión espectral o curva de transmisión que es en función de la longitud de onda; a partir de la curva de transmisión espectral pueden calcularse los datos con triple estímulo para un determinado objeto luminoso.

Se ha encontrado que las mediciones mediante espectrofotómetro bajo condiciones de luz estandarizadas probablemente son más fiables y exactas que las obtenidas por discriminación visual ⁽⁵⁾. Los espectrofotómetros, a diferencia de los colorímetros, son bastante más complejos y producen un conjunto de mediciones diferente.

Sin embargo, a pesar de que la espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones biológicas, el alto coste y la compleja manipulación de estos aparatos restringen su uso tanto para la clínica como para el laboratorio ^(6, 7).

Los términos de “fiabilidad” y “validez” se usan indistintamente en el lenguaje coloquial. No obstante, desde un punto de vista estadístico, tienen un significado distinto.

Por esta razón, se explicara la diferencia de ambos conceptos que en ocasiones dan lugar a error.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (1998), “la validez en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir”. Es decir, el

instrumento mide para lo que realmente está diseñado. En nuestro estudio es el espectrofotómetro EasyShade compact que mide el color dental.

Según Rusque M (2003) “la validez representa la posibilidad de que un método de investigación sea capaz de responder a las interrogantes formuladas”.

La fiabilidad designa la capacidad de obtener los mismos resultados de diferentes situaciones. No se refiere directamente a los datos, sino a las técnicas de instrumentos de medida y observación, es decir, al grado en que las respuestas son independientes de las circunstancias accidentales de la investigación.

La fiabilidad, reproductibilidad, confiabilidad y consistencia son sinónimos y aparecen en los textos científicos utilizados de forma indistinta. La fiabilidad de un aparato de medida (incluido su método de aplicación) puede definirse como el grado en que las medidas repetidas de la misma cantidad, con el mismo instrumento de medida, dan las mismas lecturas.

El espectrofotómetro EasyShade compact que hemos utilizado en este caso está comercializado y hasta ahí podemos asumir que es válido, es decir que está demostrado que mide el color dental. Pero lo que nos interesa demostrar es que, además, es fiable, o en otras palabras, que es estable y que comete un error mínimo en las mediciones.

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Nos hemos planteado la siguiente hipótesis:

El uso del espectrofotómetro clínico VITA EASYSHADE COMPACT, no muestra diferencias significativas entre dos fuentes de luz diferentes, ni tampoco diferencias significativas en el tiempo ni entre diferentes operadores.

Se han propuesto en esta investigación los siguientes objetivos:

- 1.- Valorar si las diferentes condiciones de luz en la toma de color con el espectrofotómetro Vita Easyshade Compact influyen en los colores resultantes.
- 2.- Demostrar y estudiar la “fiabilidad” desde el punto de vista de dos procedimientos; la fiabilidad del espectrofotómetro como estabilidad temporal y la fiabilidad interobservadores.

III.- MATERIAL Y MÉTODO

Hemos utilizado el espectrofotómetro Vita EasyShade compact de la casa Vita Zahnfabrik, (nº de serie: H20394), compuesto por una unidad central con pantalla y por un terminal con una fuente de luz LED blanco de alta potencia y un lector, una batería recargable de ion-litio y láminas protectoras contra infecciones entre otros y sus características técnicas proporcionadas por la casa comercial se detallan en la siguiente tabla. (Figura 3)



Figura 2. Espectrofotómetro Easyshade compact (Vita Zahnfabrik)

Altura/ Anchura/ Profundidad	15,9cm/ 17,2cm/ 10,8cm
Peso	511 gramos
Batería	Batería recargable de ion litio
Fuente de luz	LED blanco de alta potencia
Conexión	Utilizar exclusivamente con la fuente de alimentación autorizada VITA, Referencia D46002
Clasificaciones	UL 60601-1 Aparato de clase II
Grado de protección	Tipo B IPXO Este apartado no está indicado para el uso con aplicación de narcótico inflamable con aire o gas de la risa
Intervalo de temperatura	De 15°C a 40°C

Figura 3. Datos Técnicos. Espectrofotómetro Easyshade Compact

Se midieron cinco incisivos centrales superiores exodonciados, naturales y sin restauraciones cuyos diferentes colores abarcan el amplio rango de color de la guía 3D Máster, que fueron estudiados por cinco operadores independientes, todos ellos licenciados en Odontología, forman parte del departamento y título propio de implanto prótesis de la Universidad Complutense de Madrid. Los cuales se habían familiarizado con la ayuda de un instructor en la teoría y la práctica del manejo del aparato y también mediante el libro de instrucciones. El color dental se expresó de acuerdo con la guía de color 3D Máster (Vita-Zahnfabrik) que abarca toda la gama de colores.

Cada uno de los dientes a estudiar fue limpiado e hidratado previamente, se realizaron cinco tomas de color bajo dos condiciones de luz distintas (luz fluorescente y luz día) por cada uno de los operadores, cinco días diferentes separados por una semana. Las mediciones se hicieron a la misma hora, y con más razón bajo la luz del día para evitar discrepancias entre dichas mediciones.

Previo a cada uno de estos registros, se llevó a cabo la calibración del espectrofotómetro siguiendo las instrucciones del fabricante.



Figura 4. Calibración del espectrofotómetro

Es decir, cada diente fue medido por los cinco operadores, cinco veces en cada uno de los dos tipos de luces con cinco repeticiones separadas entre ellas por una semana. En resumen, podemos decir que en total se tomaron 250 medidas distintas, 125 en cada condición de luz y 50 por cada uno de los operadores. (Tabla resumen ver Figura 5)

Nº Operador	Luz día	Luz fluorescente
1º	50	50
2º	50	50
3º	50	50
4º	50	50
5º	50	50
Total mediciones/observador 250 medidas	125	125

Figura 5. Tabla resumen: número de operadores y medidas realizadas según tipo de luz

El espectrofotómetro presenta varias alternativas de utilización:

- Medición del color en el tercio medio de un diente natural
- Medición del color representativo de los tres tercios del diente
- Comprobación del color de las restauraciones protésicas
- Comprobación de las tablillas de las guías

Particularmente para este estudio se utilizó el modo de medición del color en el tercio medio del diente. Midiendo cada incisivo en su tercio central o medio.

Se registró la variable cualitativa del color en su escala 3D Máster (ejemplo 1M2), también de manera independiente cada uno de sus tres componentes, valor o luminosidad (1), tinte o tono (M) e intensidad o saturación (2) junto con las variables cuantitativas L^* (luminosidad), a^* (eje verde-rojo) y b^* (eje amarillo-azul).

Cada medida se realizó usando el modo “Tooth Single”, del espectrofotómetro utilizado y que se ha descrito anteriormente, diseñado expresamente para medir dientes naturales en su tercio medio y protegiendo la punta lectora (Figura 6) con un capuchón de plástico según recomienda la casa comercial (en este caso Vita).



Figura 6. Punta lectora del espectrofotómetro



Figura 7. Lecturas espectrofotométricas de las coordenadas de color

En todo momento, todos los dientes incluidos en este estudio fueron conservados en suero fisiológico para evitar posibles modificaciones de color que pudieran interferir en los resultados. Además, también persiguiendo este fin, todas las tomas de color se realizaron sobre un fondo de color gris neutro.

Diferencia de color

A través de la siguiente ecuación matemática calculamos la diferencia entre dos colores de forma cuantitativa. Se utiliza la fórmula euclidiana de la diferencia entre dos puntos en el espacio.

Diferencia de color entre dos objetos:

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

ΔE^* Representa la magnitud de la diferencia de color, pero no indica la dirección en los ejes de coordenadas.

Material y método sobre el análisis estadístico

Todos estos datos se analizaron a través del programa estadístico IBM-SPSS Statistics 19.

Los test estadísticos utilizados han sido T de Student y Anova de medidas repetidas para ver la fiabilidad como estabilidad temporal en las variables numéricas, Cochran y test de chi-cuadrado para lo mismo en variables categóricas, Pearson para estimar los coeficientes de fiabilidad en variables numéricas, contingencia de Pearson para lo mismo en variables categóricas; y para la fiabilidad interobservadores.

Cuyos resultados se desarrollan en el siguiente apartado.

El estudio se realizó entre los meses comprendidos desde octubre de 2011 hasta septiembre de 2012 en la Universidad Complutense de Madrid. De forma continuada se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de la bibliografía necesaria para la realización de dicho trabajo. Finalmente se han incluido 45 artículos de diferentes revistas científicas y libros de texto sobre la materia. También se contó con la ayuda del material dental que se dispone en el Título propio de Implantoprótesis del departamento de Estomatología I de esta Facultad.

IV. RESULTADOS

Tal y como hemos descrito anteriormente el diseño de recogida de datos, el análisis de la fiabilidad se ha enfocado desde las perspectivas de estabilidad temporal y de fiabilidad interoperadores. Para lo que se ha empleado: test de diferencias de medias con T de Student y con Anova para las variables numéricas; intensidad (C), Luminosidad (L), a y b, y test de Chi-cuadrado y test de Cochran para las variables categóricas; Color 3D y Tinte (h); así mismo se han estimado las correlaciones entre las medidas, a través de los coeficientes de Pearson y de contingencia de Pearson según el tipo de variable. Por último, para correlacionar las medidas entre los cinco operadores se emplearon los coeficientes de Pearson y concordancia con Kappa de Cohen.

Previamente, se realizó el correspondiente estudio exploratorio de las variables cuantitativas antes citadas, el cual no reveló la existencia de ningún valor fuera de rango (“outliers”).

El presente estudio sobre la fiabilidad del instrumento de medida, “el espectrofotómetro Vita EasyShade compact”, comienza por verificar si las condiciones de luz afectaron a las medidas tomadas de cada una de las variables, en todas y cada una de las mediciones temporales (separadas por una semana) como se describe en el primer objetivo del trabajo. Es decir, comprobar si hay homogeneidad o de lo contrario alguna discrepancia en las mediciones bajo la luz del día o bajo una luz fluorescente.

Los datos que se resumen en la tabla 1 revelan que en las variables numéricas, C, L, a y b, nos muestran en todas y cada una de las 5 medidas en tiempos sucesivos que se tomaron, que las diferencias observadas son mínimas y no han alcanzado significación estadística alguna, con $p \geq 0,05$. De hecho los valores de la “p” de significación oscilan dentro del intervalo 0,263-0,939. Esto es una prueba evidente de la ausencia de influencia del tipo de luz en el uso de dicho espectrofotómetro. Por lo tanto, podemos decir que en el resto del estudio de la fiabilidad se realizará para estas variables tomando en conjunto a toda la muestra, con ambas condiciones de luz.

Tabla 1: Pruebas T de Student de diferencias absolutas entre medias, según condiciones de Luz. (N=125 en cada tipo de luz)

Variable		C		L		a		b	
		Luz Fluoresc.	Luz Día	Luz Fluoresc.	Luz Día	Luz Fluoresc.	Luz Día	Luz Fluoresc.	Luz Día
1ª medida	Media (D.T.)	1,99 (0,81)	2,06 (0,72)	77,97 (6,22)	78,66 (6,94)	0,59 (4,43)	0,40 (3,79)	24,14 (12,81)	24,65 (10,74)
	Diferencia	0,07		0,69		0,19		0,51	
	Valor T (gl)	0,74 (248)		0,82 (248)		0,36 (248)		0,34 (248)	
	p	,459 ^{NS}		,410 ^{NS}		,722 ^{NS}		,732 ^{NS}	
2ª medida	Media (D.T.)	2,02 (0,80)	1,99 (0,75)	77,89 (6,66)	78,50 (7,05)	0,64 (4,45)	0,42 (3,85)	24,31 (12,60)	24,20 (10,72)
	Diferencia	0,03		0,61		0,22		0,11	
	Valor T (gl)	0,33 (248)		0,71 (248)		0,42 (248)		0,08 (248)	
	p	,744 ^{NS}		,489 ^{NS}		,672 ^{NS}		,939 ^{NS}	
3ª medida	Media (D.T.)	1,96 (0,81)	1,99 (0,77)	77,53 (6,38)	78,48 (7,10)	0,62 (4,43)	0,36 (3,82)	23,86 (12,88)	24,26 (10,81)
	Diferencia	0,03		0,97		0,27		0,40	
	Valor T (gl)	0,28 (248)		1,12 (248)		0,53 (248)		0,27 (248)	
	p	,779 ^{NS}		,263 ^{NS}		,598 ^{NS}		,788 ^{NS}	
4ª medida	Media (D.T.)	1,97 (0,81)	2,04 (0,73)	77,71 (6,66)	77,43 (10,50)	0,59 (4,38)	0,37 (3,80)	24,05 (12,69)	24,21 (10,56)
	Diferencia	0,07		0,27		0,22		0,15	
	Valor T (gl)	0,70 (248)		0,25 (248)		0,44 (248)		0,11 (248)	
	p	,485 ^{NS}		,806 ^{NS}		,663 ^{NS}		,917 ^{NS}	
5ª medida	Media (D.T.)	1,96 (0,80)	2,05 (0,79)	77,99 (6,69)	78,17 (6,64)	0,59 (4,40)	0,39 (3,78)	23,80 (12,78)	24,35 (10,64)
	Diferencia	0,09		0,18		0,20		0,55	
	Valor T (gl)	0,91 (248)		0,21 (248)		0,38 (248)		0,37 (248)	
	p	,362 ^{NS}		,835 ^{NS}		,705 ^{NS}		,712 ^{NS}	

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

En los siguientes gráficos (**gráficos 1, 2 y 3**) se puede observar como a lo largo del tiempo en el que se toman las medidas y se comparan ambos tipos de luz, hay muy poca discrepancia entre ellas, excepto para las medidas de “b” con luz fluorescente que varía un poco más.

Sin embargo, donde si se observan diferencias en el caso de la luz fluorescente, es para la variable categórica color 3D que no se muestra en los gráficos.

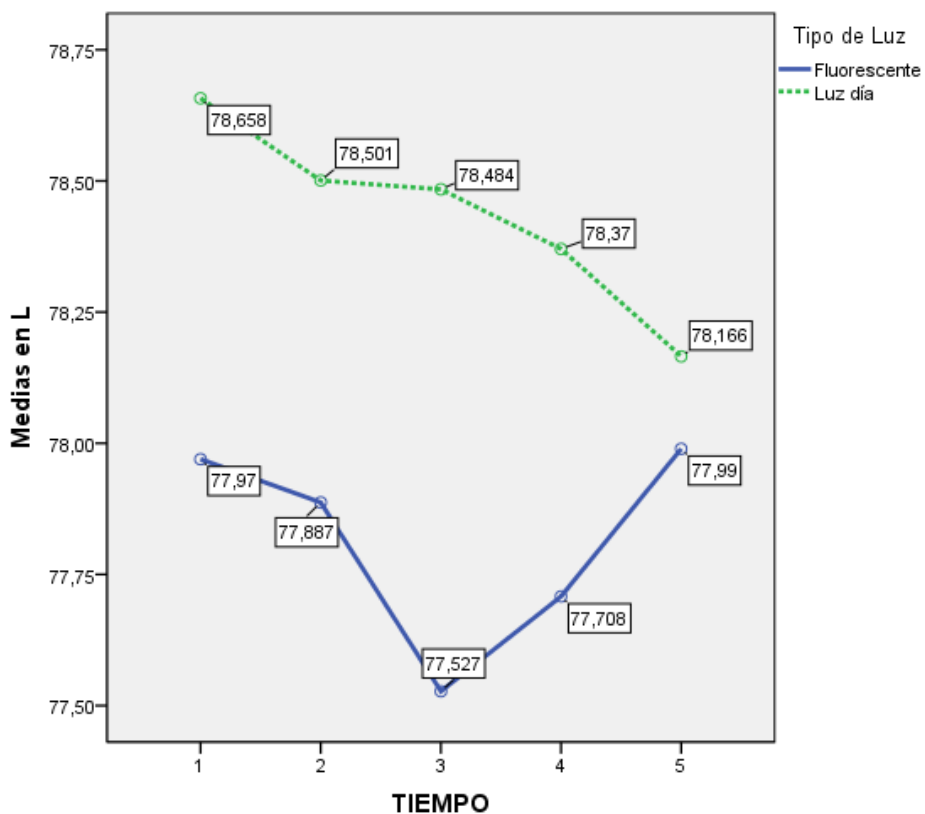


Gráfico 1. Valores de L en función del tiempo para ambos tipos de luz

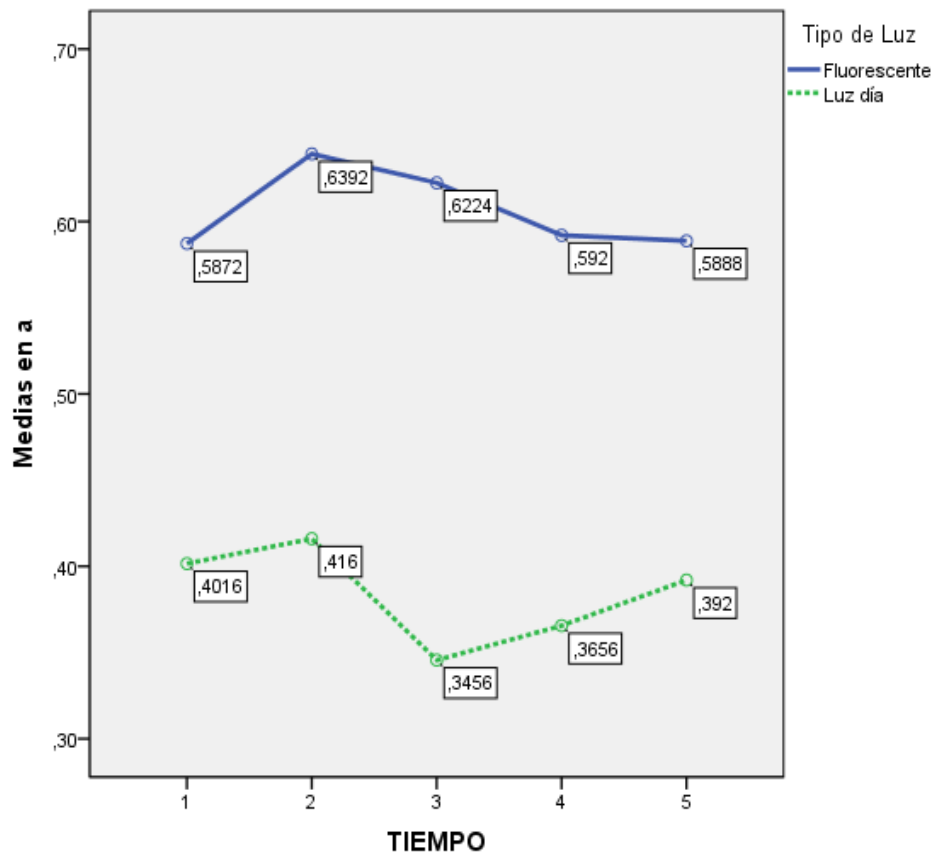


Gráfico 2. Valores de a en función del tiempo para ambos tipos de luz

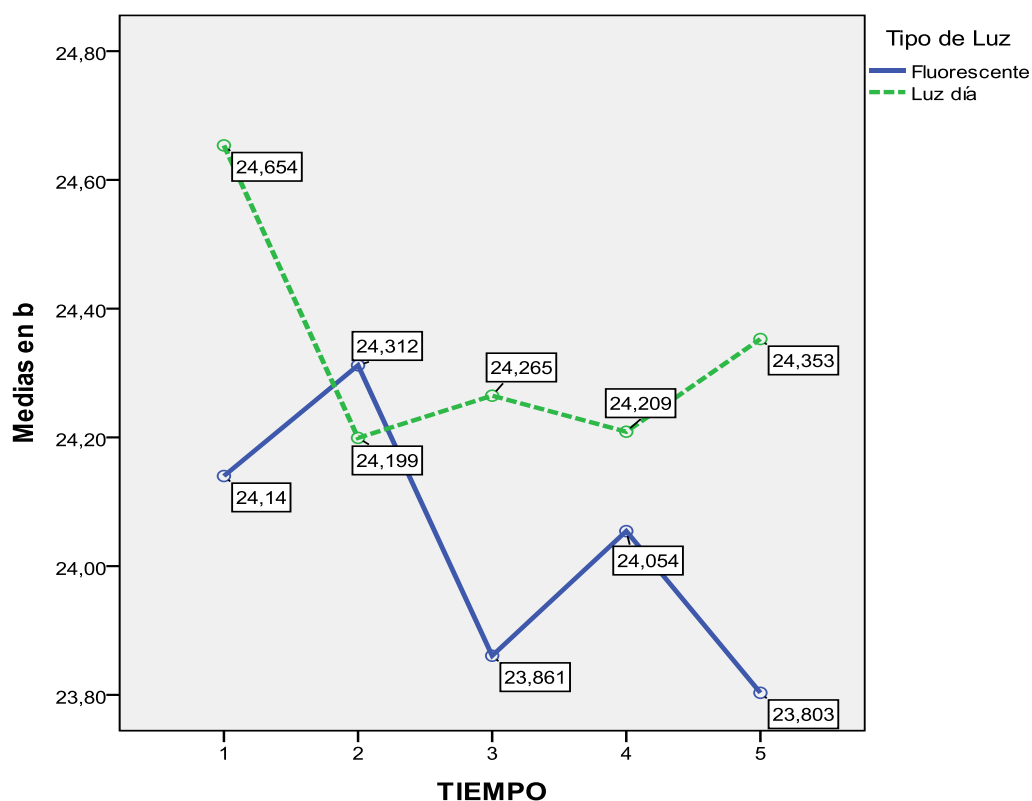


Gráfico 3. Valores de b en función del tiempo para ambos tipos de luz

Sin embargo, en esta misma parte del análisis realizado en las variables cualitativas, si se han detectado diferencias significativas con $p \leq 0.05$, que se resumen en la tabla 2. Incluso altamente significativas con $p \leq 0.01$, especialmente en los resultados de la variable cualitativa, del color 3D, en todas las medidas temporales que se recogieron, con excepción de la 4ª medida. Comprobando los porcentajes de categorías entre ambas condiciones de luz se observa en la tabla 2 a continuación, que en todos los casos excepto la 4ª medida, las diferencias resultan ser estadísticamente significativas en los valores de color 2,5 y 3,0 fundamentalmente.

Por otro lado, en la variable tinte no se ha encontrado ninguna diferencia que pueda considerarse estadísticamente significativa, es más, se observa una cierta tendencia a que a medida que pasa el tiempo, es decir, desde la 1ª a la 5ª medida las diferencias son menores.

Cabe mencionar que a causa de la imposibilidad de espacio no se incluyen todos los porcentajes de cada categoría, sólo se hace referencia a aquellas categorías que contribuyen a la existencia de diferencias significativas, en el supuesto de que estas existan como es en este caso. De este modo, para el resto del análisis de la fiabilidad, y solamente para el estudio de la variable categórica color 3D, vamos a separar las medidas realizadas en función del tipo de luz empleada, es decir, dos grupos

de 125 medidas cada uno, mientras que para el estudio de las variables numéricas, como se explicó anteriormente, se empleará la muestra completa de las 250 medidas en un único grupo.

Tabla 2: Test Chi-cuadrado de diferencias entre categorías, según condiciones de Luz. (N=250)

Variable		Color3D		Tinte (h)	
		Luz Fluorescente	Luz Día	Luz Fluorescente	Luz Día
1ª medida	Valor Chi ² (gl)	15,95 (8)		2,14 (2) (2)	
	p	,043 *		,342 ^{NS}	
	Cat. con dif. sign.	20,0% en color 2,5 11,2% en color 3,0	27,2% en color 2,5 0,8% en color 3,0	NS	NS
2ª medida	Valor Chi ² (gl)	20,22 (7)		1,04 (2)	
	p	,005 **		,596 ^{NS}	
	Cat. con dif. sign.	22,6% en color 2,0 18,5% en color 2,5 11,3% en color 3,0	14,4% en color 2,0 32,8% en color 2,5 2,4% en color 3,0	NS	NS
3ª medida	Valor Chi ² (gl)	21,85 (8)		0,46 (1)	
	p	,005 **		,496 ^{NS}	
	Cat. con dif. sign.	22,6% en color 2,5 11,3% en color 3,0	33,6% en color 2,5 3,2% en color 3,0	NS	NS
4ª medida	Valor Chi ² (gl)	11,78 (7)		0,16 (1)	
	p	,108 ^{NS}		,685 ^{NS}	

	Cat. con dif. sign.	19,2% en color 2,5 10,4% en color 3,0	28,8% en color 2,5 4,0% en color 3,0	NS	NS
5ª medida	Valor Chi ² (gl) p	15,20 (7) ,034 *		0,08 (1) ,785 ^{NS}	
	Cat. con dif. sign.	17,6% en color 2,5 9,6% en color 3,0	31,2% en color 2,5 1,6% en color 3,0	NS	NS

NS = no significativo ($p > 0,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Otro de los objetivos que se persiguen en este estudio, es analizar la fiabilidad desde el punto de vista “**estabilidad temporal**”. Para ello, se compararon los resultados de las medidas tomadas en las 5 mediciones separadas por intervalos de tiempo de una semana cada una de ellas. Se intenta así, demostrar la fiabilidad del aparato a lo largo del tiempo dentro del cual se realizaron las mediciones, y que por lo tanto, no existan diferencias significativas entre ellas.

Para las variables numéricas, los resultados del análisis factorial de medidas repetidas se muestran en la tabla 3. Tanto en la variable C, como en L, a y b, no se han encontrado diferencias que puedan ser consideradas como estadísticamente significativas con $p \geq 0,05$.

Como consecuencia de ello, para estas mediciones y para estas variables, el aparato es fiable a lo largo de las semanas que se recogieron la toma de color.

Tabla 3: *Estabilidad temporal.* Anova de Medidas Repetidas. (N=250)

Variable		C	L	a	b
1ª medida	Media (D.T.)	2,03 (0,77)	78,32 (6,58)	0,49 (4,12)	24,40 (11,80)
2ª medida	Media (D.T.)	2,00 (0,77)	78,19 (6,85)	0,53 (4,15)	24,26 (11,68)
3ª medida	Media (D.T.)	1,97 (0,78)	78,01 (6,74)	0,48 (4,13)	24,06 (11,87)
4ª medida	Media (D.T.)	2,00 (0,77)	77,57 (8,77)	0,48 (4,09)	24,13 (11,66)
5ª medida	Media (D.T.)	2,00 (0,79)	78,08 (6,66)	0,49 (4,10)	24,08 (11,74)
Anova MR	Valor F	1,82	1,73	0,54	1,46
	gl	4 y 246	4 y 246	4 y 246	4 y 246
	p	,126 ^{NS}	,143 ^{NS}	,710 ^{NS}	,215 ^{NS}
	Eta ² parcial	,029	,027	,009	,023
	Potencia (1)	-	-	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

(1) La Potencia, no se puede estimar debido a la no existencia de diferencias significativas; $p > ,05$ en todos los casos.

Del mismo modo en que la estadística nos ha mostrado la fiabilidad desde el punto de vista estabilidad temporal, también se ha estimado la magnitud de la misma. Es decir, queremos saber cuánto de fiable es el instrumento para afinar más el análisis. Se ha calculado el coeficiente de fiabilidad mediante correlación de Pearson, bajo el procedimiento test-retest entre todos los pares de medidas consecutivas de la serie temporal. Se deduce de los resultados que pueden visualizarse en la tabla 4, que el grado de fiabilidad es muy elevado, pues todos los coeficientes son altamente significativos con $p < 0,01$ y con valores de correlación superiores a 0,900 en todos los coeficientes calculados.

Tabla 4: *Estabilidad temporal.* Coeficientes de Correlación test-retest. N=250

Variable	C	L	a	b
C.F. de 2^a medida con 1^a medida	,914 **	,931 **	,987 **	,974 **
C.F. de 3^a medida con 2^a medida	,926 **	,955 **	,989 **	,979 **
C.F. de 4^a medida con 3^a medida	,930 **	,958 **	,987 **	,980 **
C.F. de 5^a medida con 4^a medida	,897 **	,927 **	,988 **	,973 **

NS = no significativo ($p > 0,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Respecto a las variables categóricas, tinte y color 3D, para comprobar la estabilidad temporal se ha empleado el test no paramétrico de Cochran (se emplea dicha prueba paramétrica porque para variables categóricas con medidas repetidas, no existe una prueba del tipo Anova que se ha empleado en el análisis anterior), seguido del cálculo del coeficiente de fiabilidad entre las mediciones con el índice correlacional de Contingencia de Pearson.

Se desprende de estos cálculos que, si bien los resultados del color 3D son igualmente buenos para la luz del día ya que no existen diferencias significativas (con $p > 0,05$) y los coeficientes de fiabilidad son muy elevados situándose siempre por encima de 0,950; los resultados de las medidas realizadas con la luz fluorescente, en cambio, no demuestran ese buen comportamiento. Es más, se han detectado diferencias significativas entre algunas de las cinco mediciones con $p < 0,05$, aunque los coeficientes de fiabilidad estén de nuevo por encima de 0,900. Esto revela algunas deficiencias en cuanto a la estabilidad temporal en la medida del color.

Para la variable tinte, que si recordamos cogíamos toda la muestra (N=250) y tampoco hacemos distinciones entre ambas condiciones luminosas, no se han detectado diferencias estadísticamente significativas (con $p > 0,05$) y los coeficientes de correlación test-retest han sido elevados en todos los casos por encima de 0,770. El grado de fiabilidad entonces, es bueno, pero inferior al de las variables numéricas anteriores.

Tabla 5: Estabilidad temporal. Test de Friedman y Coeficientes de fiabilidad.

Variable		Color3D		Tinte (h) N=250
		Luz Fluorescente N=125	Luz Día N=125	
Test de Cochran	Valor Chi ² (gl)	11,21 (4)	5,84 (4)	1,20 (4)
	p	,024 *	,211 ^{NS}	,878 ^{NS}
C.F. de 2 ^a medida con 1 ^a medida		,968 **	,958 **	,789 **
C.F. de 3 ^a medida con 2 ^a medida		,967 **	,973 **	,864 **
C.F. de 4 ^a medida con 3 ^a medida		,954 **	,965 **	,816 **
C.F. de 5 ^a medida con 4 ^a medida		,954 **	,949 **	,770 **

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Para continuar el análisis, procedemos a estudiar la fiabilidad desde el punto de vista de la **concordancia interoperadores**. Para las variables numéricas, la determinación de la no existencia de diferencias significativas entre los operadores del instrumento se ha comprobado mediante Anova. Primero se empleó Anova de un factor de efectos fijos con el operador como variable intergrupo y después se comprobó la consistencia de éste resultado con un Anova de medidas repetidas que incluía el tiempo como factor intragrupo. Para así, descartar que éste influyese en el resultado del primero, llegando a la conclusión de que no había interferencia alguna del tiempo en los valores medidos por los operadores.

Los resultados visibles en las tablas 6, 7, 8 y 9, basados en la comparación de los operadores entre sí, muestran que en las variables; C, L, a y b no existen diferencias significativas (con $p > 0,05$) entre ellos en ninguna de las medidas consecutivas en el tiempo que se llevaron a cabo.

Tabla 6: *Fiabilidad interjueces.* Anova de 1 factor. Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador. Variable C.

Variables		1 ^a medida	2 ^a medida	3 ^a medida	4 ^a medida	5 ^a medida	ANOVA MR			
		Media (D.T.)	Media (D.T.)	Media (D.T.)	Media (D.T.)	Media (D.T.)	F	gl	P	Eta ² parc.
Operador A		2,09 (0,70)	2,09 (0,70)	2,03 (0,74)	2,16 (0,68)	2,02 (0,76)	2,25	4 y 46	,078 NS	,163
Operador B		2,05 (0,79)	2,01 (0,78)	2,00 (0,77)	1,97 (0,75)	1,99 (0,79)	0,42	4 y 46	,794 NS	,035
Operador C		2,06 (0,80)	2,02 (0,83)	1,97 (0,84)	1,98 (0,80)	1,98 (0,81)	1,87	4 y 46	,132 NS	,140
Operador D		1,93 (0,74)	1,89 (0,74)	1,89 (0,75)	1,91 (0,77)	2,00 (0,82)	0,99	4 y 46	,418 NS	,080
Operador E		2,01 (0,81)	2,01 (0,82)	1,98 (0,86)	2,01 (0,84)	2,04 (0,83)	1,66	4 y 46	,175 NS	,126
Anova intragrupo	F	0,32	0,43	0,22	0,74	0,05	Todas las interacciones Operador/Tiempo NS con p>,05			
	gl	4 y 245	4 y 245	4 y 245	4 y 245	4 y 245				
	p	,863 ^{NS}	,787 ^{NS}	,929 ^{NS}	,567 ^{NS}	,996 ^{NS}				
	Eta² parc.	,005	,006	,003	,012	,001				

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 7: *Fiabilidad interjueces.* Anova de 1 factor. Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador. Variable **L**.

Variables		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	ANOVA MR			
		medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	F	gl	P	Eta ² parc.
Operador A		79,65 (6,61)	79,68 (6,98)	79,15 (7,01)	79,73 (7,04)	79,42 (7,02)	0,94	4 y 46	,425 NS	,079
Operador B		79,37 (6,27)	78,79 (7,15)	78,80 (6,82)	79,12 (6,79)	78,82 (6,71)	0,92	4 y 46	,462 NS	,074
Operador C		77,09 (6,49)	77,15 (7,00)	77,13 (6,60)	76,53 (7,23)	76,99 (6,53)	1,16	4 y 46	,342 NS	,091
Operador D		78,09 (6,81)	77,90 (6,82)	77,97 (7,05)	77,78 (7,01)	77,83 (6,57)	0,28	4 y 46	,892 NS	,023
Operador E		77,37 (6,59)	77,45 (6,20)	76,98 (6,23)	77,04 (6,16)	77,32 (6,37)	1,42	4 y 46	,241 NS	,110
Anova intragrupo	F gl p Eta² parc.	1,55 4 y 245 ,189 ^{NS} ,025	1,15 4 y 245 ,332 ^{NS} ,018	1,03 4 y 245 ,394 ^{NS} ,016	1,96 4 y 245 ,101 ^{NS} ,031	1,18 4 y 245 ,322 ^{NS} ,019	Todas las interacciones Operador/Tiempo NS con p>,05			

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 8: *Fiabilidad interjueces.* Anova de 1 factor. Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador. Variable **a**.

Variables		1 ^a medida	2 ^a medida	3 ^a medida	4 ^a medida	5 ^a medida	ANOVA MR			
		Media (D.T.)	Media (D.T.)	Media (D.T.)	Media (D.T.)	Media (D.T.)	F	gl	P	Eta ² parc.
Operador A		0,51 (4,75)	0,53 (4,76)	0,55 (4,78)	0,58 (4,83)	0,58 (4,73)	1,20	4 y 46	,322 NS	,095
Operador B		0,37 (3,72)	0,62 (3,78)	0,33 (3,54)	0,45 (3,62)	0,36 (3,54)	1,79	4 y 46	,148 NS	,134
Operador C		0,62 (4,75)	0,62 (4,17)	0,69 (4,24)	0,49 (3,99)	0,58 (4,04)	1,35	4 y 46	,267 NS	,105
Operador D		0,33 (4,12)	0,29 (4,10)	0,36 (4,13)	0,25 (3,96)	0,40 (4,20)	0,61	4 y 46	,658 NS	,050
Operador E		0,64 (4,17)	0,58 (4,06)	0,49 (4,04)	0,61 (4,14)	0,53 (4,06)	0,88	4 y 46	,486 NS	,071
Anova intragrupo	F	0,06	,06	,06	,06	,03	Todas las interacciones Operador/Tiempo NS con p>,05			
	gl	4 y 245	4 y 245	4 y 245	4 y 245	4 y 245				
	p	,994 ^{NS}	,994 ^{NS}	,993 ^{NS}	,993 ^{NS}	,998 ^{NS}				
	Eta² parc.	,001	,001	,001	,001	,000				

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 9: *Fiabilidad interjueces.* Anova de 1 factor. Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador. Variable **b**.

Variables		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	ANOVA MR			
		medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	medida Media (D.T.)	F	gl	P	Eta ² parc.
Operador A		25,99 (12,58)	25,75 (11,88)	25,43 (12,81)	26,16 (12,54)	25,56 (12,20)	2,24	4 y 46	,067 NS	,245
Operador B		24,60 (11,95)	24,82 (11,88)	24,13 (11,47)	24,52 (11,11)	23,85 (11,30)	1,61	4 y 46	,188 NS	,123
Operador C		24,27 (10,92)	23,88 (11,51)	24,03 (11,87)	23,16 (11,25)	23,92 (11,31)	1,99	4 y 46	,164 NS	,140
Operador D		23,33 (11,66)	22,83 (11,61)	23,08 (11,79)	23,06 (11,26)	23,39 (12,28)	0,48	4 y 46	,754 NS	,040
Operador E		23,79 (12,15)	23,99 (11,75)	23,65 (11,72)	23,76 (12,23)	23,67 (11,93)	0,54	4 y 46	,707 NS	,045
Anova intragrupo	F	0,36	0,44	0,26	0,59	0,26	Todas las interacciones Operador/Tiempo NS con p>,05			
	gl	4 y 245	4 y 245	4 y 245	4 y 245	4 y 245				
	p	,835 ^{NS}	,783 ^{NS}	,901 ^{NS}	,669 ^{NS}	,903 ^{NS}				
	Eta² parc.	,005	,007	,004	,009	,004				

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tampoco se observan diferencias significativas (con p>0,05) intraoperadores, es decir, que internamente cada uno de los operadores realizó sus propias mediciones de manera congruente. En consecuencia, podemos admitir que en esta variable las medidas tomadas no se ven afectadas por el tiempo y que por lo tanto son estables en el tiempo como ya se ha demostrado anteriormente.

Respecto a los gráficos (**Gráficos 4, 5, 6 y 7**) que muestran la variabilidad inter-operadores en las variables cuantitativas C*, L*, a* y b* no se aprecian valores muy dispares entre ellas.

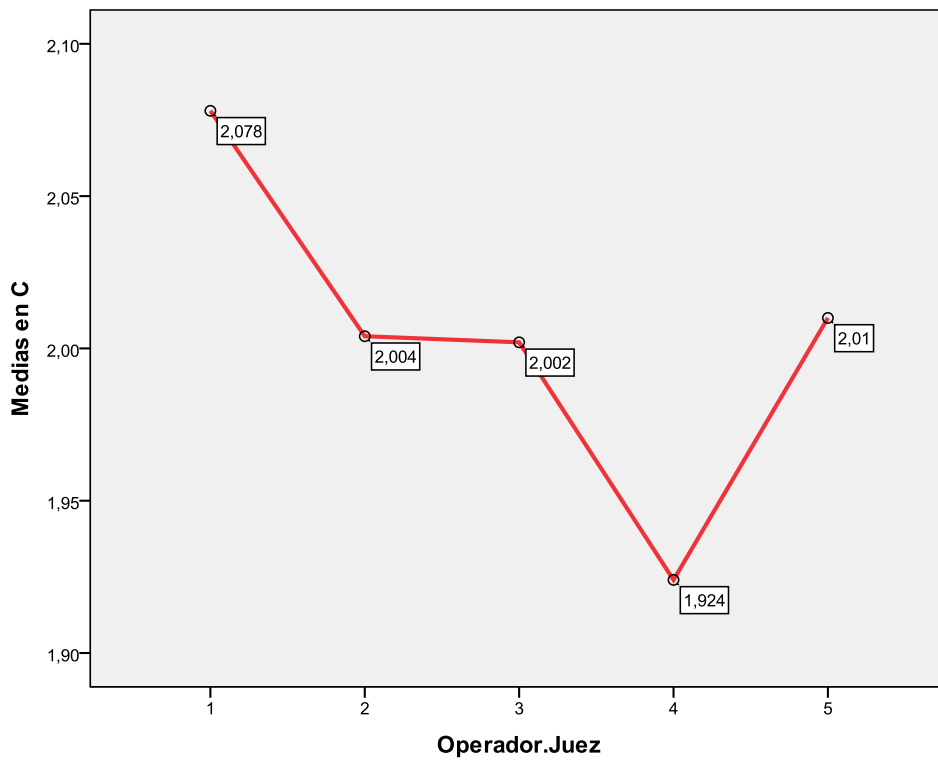


Gráfico 4. Valores de C interoperadores

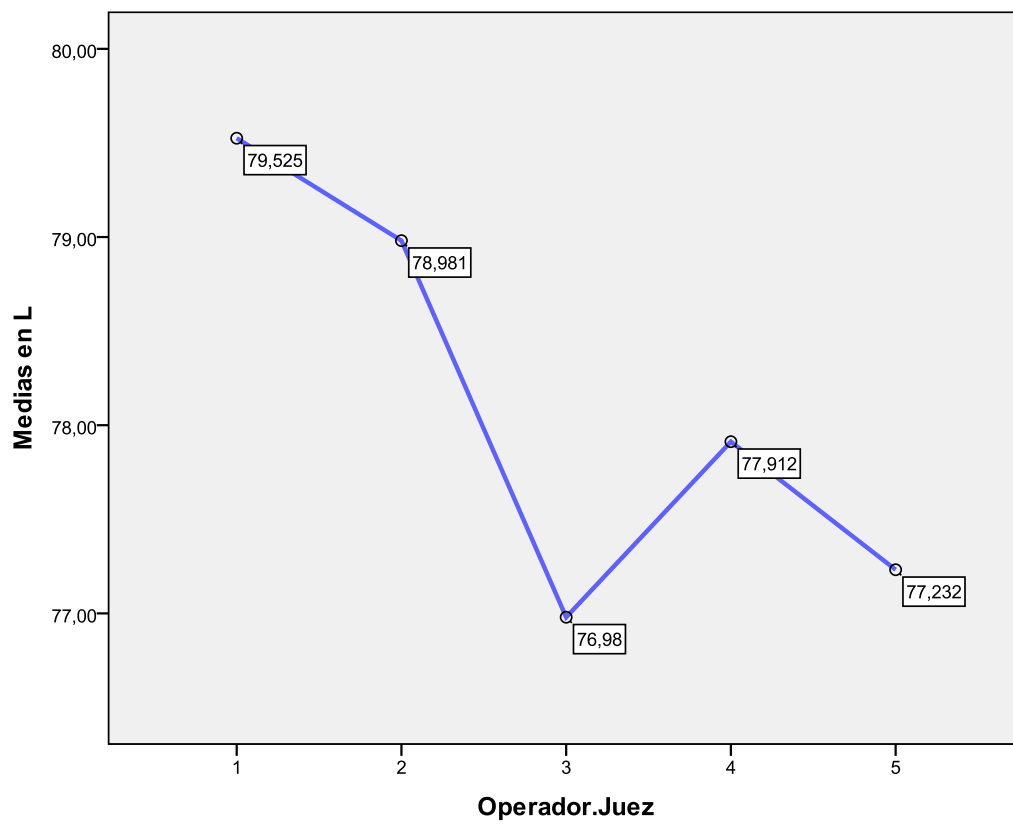


Gráfico 5. Valores de L interoperadores

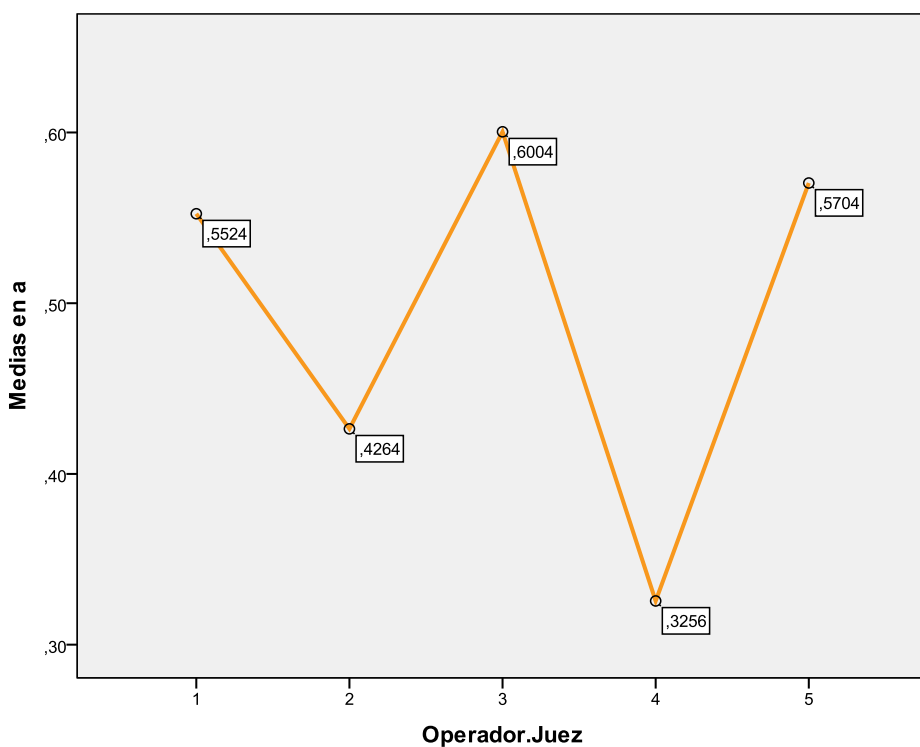


Gráfico 6. Valores de a interoperadores

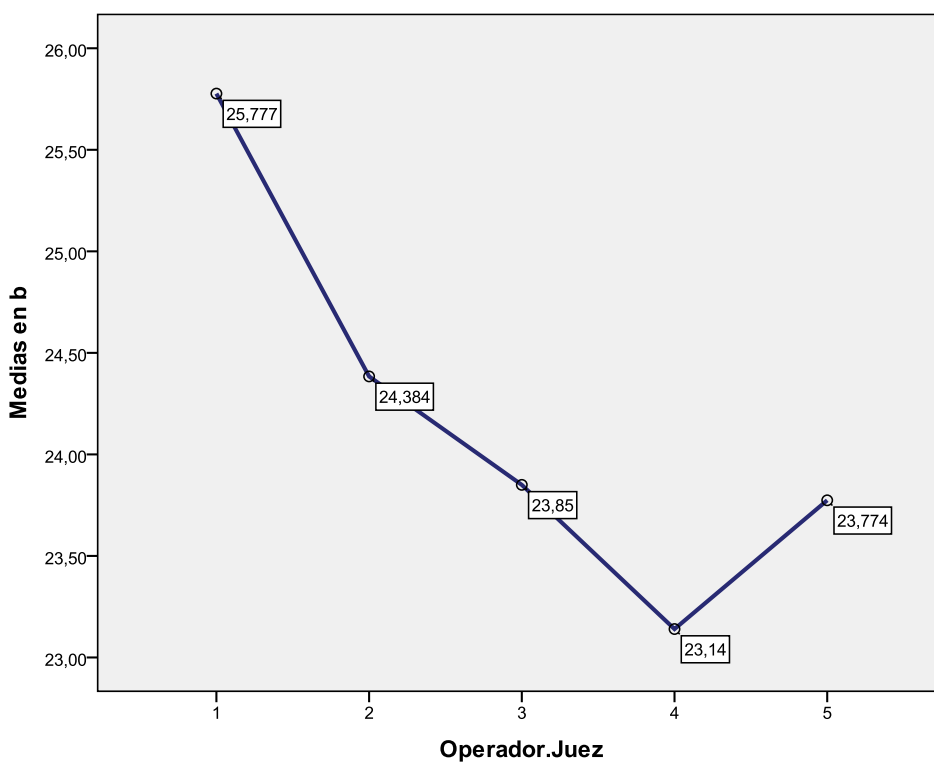


Gráfico 7. Valores de b interoperadores

Y lo más destacable es que hay una elevada fiabilidad y/o congruencia entre operadores ya que los valores obtenidos por cada uno de ellos son semejantes. Ello implica la fiabilidad del instrumento, independientemente de quien lo utiliza, puesto que en ningún caso se han encontrado diferencias significativas que no puedan ser explicadas por el azar o bien por los errores aleatorios de medida que todo instrumento físico inevitablemente comete.

También se ha hecho el mismo análisis con la variable categórica, color 3D, que se explica a continuación. En este caso, se ha realizado un estudio cruzado semejante al anterior, con el test Chi-cuadrado para comparar a los operadores entre si, y con el test no paramétrico de Cochran para descartar la influencia del tiempo y confirmar la estabilidad temporal, independientemente del operador que use el espectrofotómetro.

Tabla 10: *Fiabilidad interjueces.* Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador. Variable **Tinte (h)**.

Variables	1 ^a Medida (L) (M) (R)	2 ^a Medida (L) (M) (R)	3 ^a Medida (L) (M) (R)	4 ^a Medida (L) (M) (R)	5 ^a Medida (L) (M) (R)	Test de Cochran		
						Valor	gl	p
Operador A	34%- 66%-0%	35%- 64%-0%	34%- 66%-0%	30%- 70%-0%	30%- 70%- 0%	2,67	4	,615 NS
Operador B	22%- 74%-4%	26%- 72%-1%	26%- 74%-0%	28%- 72%-0%	28%- 72%- 0%	5,73	4	,220 NS
Operador C	34%- 66%-0%	32%- 68%-0%	34%- 66%-0%	38%- 62%-0%	36%- 64%- 0%	2,48	4	,649 NS
Operador D	34%- 66%-0%	34%- 66%-0%	32%- 68%-0%	34%- 66%-0%	28%- 72%- 0%	2,72	4	,606 NS
Operador E	32%- 68%-0%	34%- 66%-0%	32%- 68%-0%	32%- 68%-0%	34%- 66%- 0%	0,60	4	,963 NS
Test Chi-cuadrado	Chi² gl p	10,10 8 ,258 ^{NS}	5,19 8 ,737 ^{NS}	0,99 4 ,910 ^{NS}	1,35 4 ,853 ^{NS}	1,23 4 ,873 ^{NS}		

NS = no significativo ($p > 0,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

En cuanto al color 3D Máster, se ha estudiado por separado para ambas situaciones de luz; luz día y luz fluorescente, según la primera conclusión obtenida en el presente trabajo.

Como se ha dicho antes, por falta de espacio nos limitaremos a mostrar únicamente sólo aquellos porcentajes que muestren significación estadística. Tanto en la tabla 11-A como en 11-B se presentan los resultados de los 5 operadores en cada una de las 5 medidas, para el color 3D y en ambas condiciones de luz.

Los resultados muestran que tanto en el caso de la luz fluorescente como en las condiciones luminosas de luz día no existen diferencias significativas dentro de cada operador ($p > 0,05$), es decir, que su criterio es estable en el tiempo.

Tabla 11-A: Fiabilidad interjueces. Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador.

Variable **Color3D** en **Luz fluorescente**.

Variables	1ª Medida	2ª Medida	3ª Medida	4ª Medida	5ª Medida	Test de Cochran		
						Valor	gl	p
Operador A				24% en 2,0	28% en 2,5	4,82	4	,307 NS
Operador B		36% en 2,5 0% en 3,0		38% en 2,5 4% en 3,0 0% en 3,5	0% en 3,0 0% en 3,5 20% en 4,5	8,04	4	,090 NS
Operador C		0% en 2,5 36% en 3,0		4% en 2,5 8% en 3,0 28% en 3,5	16% en 3,0 12% en 3,5 4% en 4,5	5,51	4	,239 NS
Operador D				16% en 2,5 24% en 3,0 0% en 3,5	20% en 3,0 0% en 3,5 4% en 4,5	3,34	4	,503 NS
Operador E				24% en 2,0	32% en 2,0	3,13	4	,536 NS
Test Chi-cuadrado	Chi²	34,19	46,94	32,84	63,38	43,95		
	gl	28	28	28	28	28		
	p	,195 ^{NS}	,014 [*]	,242 ^{NS}	,000 ^{**}	,028 [*]		

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 11-B: Fiabilidad interjueces. Diferencias entre operadores y por tiempo. N=50 de cada operador.

Variable **Color3D** en **Luz día**.

Variables	1ª Medida	2ª Medida	3ª Medida	4ª Medida	5ª Medida	Test de Cochran		
						Valor	gl	p
Operador A			40% en 1,0 20% en 2,5 0% en 3,0 0% en 4,5 20% en 5,0			2,01	4	,733 NS
Operador B			24% en 1,0 12% en 1,5 12% en 3,0			3,96	4	,412 NS
Operador C			40% en 2,5			3,14	4	,535 NS
Operador D			28% en 1,0 36% en 2,5 20% en 4,5			3,62	4	,460 NS
Operador E			48% en 2,5			2,72	4	,605 NS
Test Chi-cuadrado	Chi²	25,47	29,81	44,19	35,07	31,15		
	gl	28	28	28	28	28		
	p	,602 ^{NS}	,372 ^{NS}	,027 [*]	,168 ^{NS}	,310 ^{NS}		

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Sin embargo, y siendo un poco más concretos, podemos decir que al comparar unos operadores con otros en las mediciones con luz fluorescente (2°, 4° y 5°), se han encontrado diferencias que resultan estadísticamente significativas ($p < 0,05$), e incluso altamente significativas en la 4ª medida con $p < 0,01$.

De una forma paralela y algo análoga, una vez más los resultados revelan algunas diferencias estadísticamente significativas bajo la luz día, concretamente en la 3ª medida con $p < 0,05$.

Según estos datos significativos, hace pensar que hay algunas dudas con respecto a la fiabilidad inter-operadores en la variable color 3D y con ambos tipos de luz.

Para finalizar el estudio de la fiabilidad del espectrofotómetro, se procedió al igual que en el análisis anterior, a estimar las concordancias y las correlaciones entre los observadores, como forma de estimación de la **magnitud de la fiabilidad inter-operadores.**

En el caso de las variables cuantitativas y una vez que se demostró la estabilidad temporal y la ausencia de diferencias significativas según la condición de luz se procedió a calcular un valor promedio de las cinco medidas temporales, independientemente de las condiciones de luz, obteniendo de esa forma un único valor para las variables L, a y b, para cada uno de los operadores. Con estos valores, se correlacionó a cada operador con todos los demás, empleando el coeficiente de Pearson.

En ella se puede apreciar que todos los coeficientes obtenidos han sido altamente significativos ($p < 0,01$) y muy elevados en intensidad.

Podemos afirmar así, que para las variables numéricas, el espectrofotómetro demuestra un grado elevado de fiabilidad inter-operadores, independientemente de cuál de ellos lo use.

Con respecto a las variables categóricas, la imposibilidad matemática de resumir valores de las cinco mediciones tomadas en un valor promedio, se ha realizado en este caso una estimación de las correlaciones entre operadores en cada una de ellas. Por la misma razón, la escala de medida nominal de estas variables y el objetivo clasificatorio de los operadores se ha empleado el coeficiente Kappa de Cohen para valorar la magnitud de la fiabilidad inter-observadores.

En la mayor parte de los resultados se encuentra concordancia entre los operadores participantes y por lo tanto hay una buena fiabilidad entre ellos, pero cabe destacar que en el caso de la variable color 3D en luz fluorescente, los resultados son bastante menores. Las tasas de acuerdo entre los operadores se hallan en el intervalo 36%-82% con un promedio del 51%, mientras que los

coeficientes de Kappa han variado dentro del intervalo 0,261-0,589 con una media de 0,420; siendo eso sí, también altamente significativos con $p < 0,01$.

Finalmente el color 3D en luz día, ha mostrado una ligera mejoría con respecto a los valores anteriores. En este caso, los porcentajes de coincidencia en encuentran en el intervalo 42%-72% con una media del 55%, un poco mayor que la anterior. Los valores Kappa se presentaron dentro del intervalo 0,300-0,644 con un promedio de 0,448 siendo una vez más altamente significativas con $p < 0,01$.

V. DISCUSIÓN

El principal objetivo de la odontología estética es proporcionar restauraciones dentales que tengan una apariencia funcional y natural para los pacientes.

Uno de los pasos importantes en conseguir esto, es establecer la mayor naturalidad posible en el diente, y para lograrlo son usados algunos métodos que ya hemos mencionado al principio, como es el caso de los espectrofotómetros ⁽⁸⁾. El ajuste y la reproducción del color en odontología mediante el uso de estos sistemas más modernos y sofisticados, puede ser más difícil que en otros sectores. Esto es así por multitud de factores, como por ejemplo la estructura semitraslúcida del diente, su pequeño tamaño y la superficie irregular de los dientes contribuyen a la complejidad de este procedimiento.

Debido también a ello, la evaluación del color mediante el método tradicional con guías de color, sigue siendo de poco valor para el dentista. Por lo que se hace necesario investigar más a fondo sobre el funcionamiento de los dispositivos electrónicos.

Lo cierto es que todavía no disponemos de muchos estudios que evalúen la efectividad de los espectrofotómetros en nuestra profesión, pero la coincidencia de los resultados en los que hay es clara ⁽⁹⁾. En nuestro estudio, el principal objetivo fue evaluar la fiabilidad del espectrofotómetro utilizado, desde el punto de vista de la estabilidad temporal en todas las mediciones y la fiabilidad o concordancia inter-examinadores.

En un estudio previo se demostró que, mediante un espectrofotómetro clínico (Vita Easyshade 1, Vita Zahnfabrik), se producían numerosos ejemplos de discrepancias, clínicamente relevantes, inter-examinadores, escogiendo los examinadores colores diferentes para un mismo diente ⁽¹⁰⁾.

Hassel A. en el año 2007 publicó un estudio donde comparaba la fiabilidad inter-examinador en la medición del color dental mediante un espectrofotómetro clínico. Así, tres examinadores evaluaron los valores de L*, C* y h* y el color dental empleando dos veces la guía 3D Máster en 161 dientes anteriores de 19 pacientes mediante el espectrofotómetro Vita Easyshade. En un 48% de los casos se consiguió un acuerdo exacto de la pestaña de color escogida de la guía de color 3D Máster. De esta manera el autor concluye que la fiabilidad intra-examinador fue aceptable en términos generales, aunque en ocasiones se observó alguna diferencia clínicamente importante entre las dos mediciones del examinador.

Este mismo autor, utilizando también el espectrofotómetro Easyshade midió la fiabilidad in vivo entre cuatro clínicos con diferente grado de experiencia en la toma de color dental. El grado de coincidencia entre examinadores fue aceptable para L* y C* y excelente para h* si medían incisivos centrales superiores. Para los caninos superiores, el grado de coincidencia fue excelente para C* y h* y aceptable para L*. Para el 48% de los incisivos centrales la variación de las medidas fue de ΔL superior a 5, para ΔC el 22% también superior a 5, y el 61% de los incisivos obtuvo un Δh superior a 2. No encontraron diferencias estadísticamente significativas entre examinadores entrenados y no entrenados excepto para C* en incisivos centrales superiores.

Kim Pusateri S. en el año 2009 se propuso como objetivo de este estudio in Vitro evaluar la fiabilidad y la exactitud de 4 espectrofotómetros dentales. La fiabilidad de los dispositivos fue la siguiente: ShadeVision 99,0%, Spectroshade 96,9%, Easyshade 96,4% y ShadeScan 87,4%. La precisión de los dispositivos fue la siguiente: Easyshade 92,6% ShadeVision 84,8%, Spectroshade 80,2% y ShadeScan 66,8%. Se encontraron diferencias significativas entre todos los pares de dispositivos, excepto entre Spectroshade y Shadevision ($p=0,03$).

En un estudio de Devigus realizado este mismo año se evalúa la fiabilidad de cuatro dispositivos electrónicos; Vita Easyshade Advance, DeguDent Shadepilot, X-Rite® Shadevision y Crystaleye Olympus. Todos ellos ofrecieron altos coeficientes de correlación intraclase y excelente reproductibilidad, aunque también mostraron desviaciones significativas del sistema de referencia CIE con respecto a las coordenadas de color L* C* h* ^(11, 12).

Panagiotis E. en el año 2009 realizó un estudio comparando dos espectrofotómetros, Easyshade y ShadeEye sobre dientes exodonciados. Como conclusión, afirmaron que los valores de dichas coordenadas fueron mayores con Easyshade que con ShadeEye, y esta diferencia de color fue clínicamente inaceptable, aunque también señala que la reproductibilidad de las medidas fue excelente en ambos sistemas y para todas las coordenadas de color. Estos resultados coinciden con los de Joiner en el año 2008, donde el grado de concordancia se espera que sea menor que la fiabilidad entre el mismo aparato debido a la dificultad de controlar el error sistemático de estos dispositivos electrónicos.

Una de las desventajas de los espectrofotómetros es que están diseñados para medir superficies lisas y los dientes no son totalmente lisos sino que tienen cierto grado de convexidad, además pueden tener en su superficie irregularidades ⁽⁴⁾.

El estudio realizado por Horn y colaboradores en 1998 concluía que la espectrofotometría es el método más predecible y fiable en la evaluación del color de los dientes humanos in Vitro que el propio ojo humano a través de técnicas tradicionales. El espectrofotómetro alcanzaba una reproductibilidad del 80%, mientras que los observadores no pasaban del 65%. A similares resultados llegaba el estudio de Paul y colaboradores en 2002. Éste concluía que la medición con espectrofotómetro es más precisa y reproducible que la del ojo humano ⁽⁵⁾. Aquí, los resultados con el aparato coincidieron en un 83,3% y los observadores 9 en un 26,6%.

El espectrofotómetro Easyshade compact® que hemos empleado en nuestro estudio mide el color del diente en un área de 5mm, perteneciente al diámetro de la punta lectora, situado de manera aproximada en el tercio medio del diente.

En cada medición la punta lectora estaba en contacto con la superficie del diente, y se retiraba de la misma para la siguiente medida. Es por ello, por lo que no podemos garantizar que la posición de la sonda fuese la misma entre una medición y otra, ya que no se empleó el uso de posicionadores en el estudio. De aquí se explica las discrepancias encontradas en nuestros resultados, pues las pequeñas variaciones en la posición de la punta lectora podrían conllevar medidas de color diferentes ya que el diente no es monocromático como se explica en el primer apartado del trabajo.

Además, ya se ha demostrado que las diferencias en el posicionamiento de la sonda, afectan a la medición del color dentario, porque la reflexión espectral de una superficie contorneada no puede duplicarse a menos que se mida el mismo punto exacto ⁽⁵⁾.

Ciertas limitaciones hacen que los resultados puedan diferir bajo condiciones clínicas rutinarias más variables, como por ejemplo, un mayor intervalo de tiempo entre las mediciones, la posición de la cabeza del paciente o las diferentes condiciones de luz.

En nuestro caso ha podido influir el periodo de tiempo de una semana entre cada medición, siendo éste un poco amplio. También decir, que al no medir el color directamente en el diente del paciente sino sobre dientes exodonciados el ángulo que se forma entre el eje del diente y la fuente de luz no es el adecuado o el aconsejable. Pues en el paciente debe observarse formando un ángulo, respecto a la luz, de 45 grados ⁽¹³⁾. En cuanto a la fuente de luz, los ensayos clínicos deberían llevarse a cabo en ambientes y condiciones de luz completa y con mínimas variaciones, de lo contrario afectará a las mediciones debido a la translucidez de la sustancia dental que rodea a la sonda de medición ^(14, 15). Por lo tanto, muchos estudios coinciden en lo mismo, es decir, para minimizar las influencias de la forma y las propiedades no uniformes del color de los dientes, se debe definir un área de medición pequeña y estandarizar la iluminación ⁽¹⁶⁾. Otros estudios han señalado que la reproductibilidad con un colorímetro intraoral fue del 82%, mientras que por determinación visual fue de un 73% ⁽⁷⁾.

Culpepper en el año 1970 concluyó un 22% de reproductibilidad para la determinación visual intraoral. Un porcentaje inaceptable de reproductibilidad en un rango de $\Delta E=1.1$ a $\Delta=32.1$ fue obtenido utilizando un colorímetro intraoral in Vitro ⁽¹⁷⁾.

Schmitter M. en el año 2008 concluía en su estudio que las medidas laminares de los incisivos que proporcionaba el espectrofotómetro Shadepilot DeguDent eran muy aceptables entre varios examinadores.

Kim Pusateri S. en el año 2009, después de estudiar varios espectrofotómetros, afirma que existe una alta reproductibilidad entre los espectrofotómetros estudiados de aproximadamente del 96%, pero que existen marcadas diferencias en cuanto a la exactitud (63%-93%). Siendo el más exacto el espectrofotómetro Vita Easyshade con una exactitud del 92,6%.

A pesar de que aún no disponemos de suficientes estudios sobre la efectividad de estos aparatos, todos aquellos que estudian la fiabilidad y/o la comparan con el ojo humano carecen de una regla de oro. La fiabilidad puede ser buena, pero queda poco claro si la validez es alta, es decir, si lo que se ha medido es el color verdadero. Hugo et al demostraron que, entre los observadores humanos y los aparatos electrónicos, se producían pocos acuerdos a la hora de determinar el color dentario ⁽¹⁸⁾.

En el estudio de Carossa y colaboradores en el año 2001, se observaron pequeñas diferencias, pero significativas, en las mediciones espectrofotométricas.

Uno de los pocos estudios donde se evalúa el grado de aceptabilidad por parte de los pacientes, es el publicado en el año 2008 por Da Silva, donde concluye que las coronas fabricadas a través de una toma de color mediante espectrofotómetro tenían menos fallos de color y eran menos rechazadas por los pacientes que las coronas con un color seleccionado a través de guías dentarias.

De cualquier forma, la reproductibilidad de las mediciones del color dentario mediante espectrofotómetro se consideran superiores a las del ojo humano. Por ejemplo en el estudio de 3758 dientes se demostró que la valoración espectrofotométrica del color era idéntica en un 89,6%, mientras que la valoración visual del mismo era de un 47,9%. El análisis espectrofotométrico parece ser más reproducible incluso entre varios operadores, que la determinación visual ^(19, 20).

En cuanto a las condiciones de luz, como uno de los objetivos estudiados, son importantes para la evaluación del color por la composición espectral de la misma, ya que difiere de un tipo de luz u otra, pudiendo dar lugar al metamerismo ⁽²¹⁾.

La mayoría de los estudios muestran los hallazgos en los que estos aparatos parecen ser fiables y precisos pero también dan lugar a discrepancias. Puesto que el espectrofotómetro elimina la subjetividad propia de las guías de color dentales pero tiene la desventaja de que también está sujeto a error por la variabilidad entre diferentes examinadores ^(18, 22).

Una de las limitaciones en nuestro estudio es que al haber utilizado un sólo espectrofotómetro nos es imposible comparar la exactitud de las medidas L^* , a^* y b^* , con respecto a otro dispositivo electrónico. El grado de concordancia que se espera entre varios dispositivos electrónicos sea menor que la fiabilidad en el mismo espectrofotómetro debido a la dificultad de controlar el error sistemático en estos aparatos digitales ^(2, 23).

La mayoría de los dispositivos electrónicos en la toma de color son más fiables in Vitro, con lo que es de esperar que los resultados de fiabilidad en estudios in vivo sean menores ⁽²⁴⁾.

VI. CONCLUSIONES

1. En nuestro estudio, las diferentes condiciones de luz no influyeron en los colores resultantes, pues los resultados aunque mostraron pequeñas diferencias en ciertas medidas, no resultaron estadísticamente significativas.
2. En general, el espectrofotómetro Easyshade compact® mostró una buena fiabilidad, tanto desde la perspectiva de estabilidad temporal presentando elevados coeficientes de fiabilidad, como desde la fiabilidad inter-operadores donde los resultados no mostraron diferencias significativas entre ellos en ninguna de las variables. Es decir, que el aparato ha mostrado una elevada fiabilidad/congruencia en todas las medidas siendo estables en el tiempo y valores similares entre los observadores, que implica la fiabilidad del instrumento independientemente de quién lo utiliza.

Recomendación

No obstante, hay que tener en cuenta la importancia del uso de sistemas de estandarización, como aparatos de posicionamiento o guías que aseguren siempre las mediciones de la misma región del diente. Además, destacar también la estandarización de las fuentes de luz que influye notablemente en los resultados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Kim Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. "Reability and accuracy of four dental shade-matching devices". *J Prosthetic Dent* 2009; 101: 193-199.
2. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA and cols. "Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color". *J Prosthet Dent* 2009; 101:40-45.
3. Brook AH, Smith RN, Liverpool UK, Lath DJ, Sheffield UK. "The clinical measurement of tooth colour and stain". *International Dental Journal* 2007; 57: 324-330.
4. Van der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PCF et al. "A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color". *J Prosthet Dent* 1990; 63: 155-162.
5. Hassel AJ, Engin Cevirgen, Zibandeh Balke, Rammelsberg P. "Intraexaminer reliability of measurement of tooth color by spectrophotometry". *Quintessence International* 2009; 40: 421-426.
6. Braun A. "Spectrophotometric and visual evaluation of vital tooth bleaching employing different carbamide peroxide concentrations". *Dental Materials* 2007; 23(2): 165-169.
7. Tungg FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. "The repeatability of an intraoral dental colorimeter". *J Prosthet Dent* 2002; 88: 585-90.
8. Cal E, Güneri P, Kose T. "Comparison of digital and spectrophotometric measurements of colour shade guides". *Journal of Oral Rehabilitation* 2006; 33: 221-228.
9. Amengual Lorenzo J, Llana-Puy MC, Forner-Navarro L. "Reproductibilidad en la medición del color in vivo e in vitro mediante colorímetros específicos para uso dental". *RCOE* 2005; 10(3): 263-267.
10. Hassel AJ, Grossmann AC, Schmitter M. "Interexaminer reliability in clinical measurement of L*, C*, h* values of anterior teeth using a spectrophotometer". *International Journal Prosthodont* 2007; 20: 79-84.
11. Lehmann KM, Devigus A. "Repetibilidad de tres sistemas de medición del color de los dientes". *The European Journal of Esthetic Dentistry* 2012; 5(1): 64-72.
12. Lehmann KM, Devigus A. "Are dental color measuring devices CIE compliant?" *Eur J Esthet Dent* 2012; 7(3): 324-33.
13. Fani G, Vichi A, Davidson CL. "Spectrophotometric and visual shade measurements of human teeth using three shade guides". *Am J Dent* 2007; 20:142-146.
14. Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. "In vivo measurement of colour changes in natural teeth". *Journal of Oral Rehabilitation* 2000; 27: 786-792.

15. Knösel M, Attin R, Jung K, Brunner E, Meesenburg HK, Attin T. "Digital image color analysis compared to direct dental CIE colorimeter assessment under different ambient conditions". *Am J Dent* 2009; 22: 67-72.
16. Li Q, Wang YN. "Comparison of shade matching by visual observation and an intraoral dental colorimeter". *Journal of Oral Rehabilitation* 2007; 34: 848-854.
17. Goldstein GR, Schmitt GW. "Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter". *J Prosthet Dent* 1993; 69: 16-9.
18. Paul S y cols. "Visual and Spectrophotometric Shade Analysis of Human Teeth". *Journal of Dental Research* 2002; 81(8): 578-582.
19. Karamouzos A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE. "Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth". *Journal of Oral Rehabilitation* 2007; 34: 613-621.
20. Park JH, Lee YK, Lim BS. "Influence of illuminants on the color distribution of shades guides". *J Prosthet Dent* 2006; 96: 402-411.
21. Segui RR. "Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains". *J Dent Res* 1990; 69: 1180-1183.
22. Joiner A, Hopkinson L, Deng Y, Westland S. "A review of tooth colour and whiteness". *J Dent* 2008; 36(1): S2-7.
23. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A y cols. "Performance of five commercially available tooth color-measuring devices". *J Prosthodont* 2007; 16: 93-100.
24. Culpepper WD. "A comparative study of shade matching procedures". *J Prosthet Dent* 1970; 24: 166-173.
25. Carsten DL. "Successful shade matching-what does it take?". *Compend Contin Educ Dent* 2003; 24: 175-178.
26. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM et al. "Color distribution of three regions of extracted human teeth". *Dental Materials* 1997; 13: 179-185.
27. Carossa S y cols. "Influencia de las espigas-muñones en la transmisión de la luz a través de diferentes coronas de porcelana: valoración clínica y espectrofotométrica". *Revista Internacional de Prótesis Estomatológica* 2001; 3(4): 260-265.
28. Horn DJ, Bulan-Brady J, Lamar Hicks M. "Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade". *Journal of Endodontics* 1998; 24(12): 786-790.
29. Berns RS. "Billmeyer and Saltzman's principles of color technology". New York: John Wiley and Sons; 2000: 88-92.

30. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. "Evaluation of visual and instrument shade matching". *J Prosthet Dent* 1998; 80: 42-8.
31. Rosentiel SF, Land MF, Fujimoto. "Prótesis fija, procedimientos clínicos y de laboratorio". Edit Salvat, Barcelona 1991.
32. Da Silva JD, Park SE, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. "Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction". *J Prosthet Dent* 2008; 99(5): 361-8.
33. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G y cols. "Does gender and experience influences shade matching quality?" *J Dent* 2009; 37(1): 40-4.
34. Rodriguez Carmona M, Sharpe LT, Harlow JA, Barbur JL. "Sex-related differences in chromatic sensitivity". *Visual Neuroscience* 2008; 25: 433-4.
35. Landis JR, Koch GG. "The measurement of observer agreement for categorical data". *Biometrics* 1977; 33(1): 159-174.
36. Bentolila O, Roig M. "Selección de color dental con la utilización del SpectroShade "Micro" Dental". *Revista Odontológica de Especialidades* 2009; 04: 04.
37. Meireles SS, Demarco FF, Santos IS, Dumith SC, Della Bona A. "Validation and reability of visual assessment with a shade guide for tooth-color classification". *Operative Dentistry* 2008; 33(2): 121-126.
38. Joiner A. "Tooth color: a review of the literature". *Journal of Dentistry* 2004; 32: 3-12.
39. Gozalo Diaz D, Johnston WM, Wee AG. "Estimating the color of maxillary central incisors based on age and gender". *J Prosthet Dent* 2008; 100: 93-98.
40. Douglas RD, Steinhaver TJ, Wee AG. "Intraoral determination of the tolerance of dentist for perceptibility and acceptability of shade mismatch". *J Prosthet Dent* 2007; 97: 200-8.
41. Lafuente D. "Física del color y su utilidad en odontología". *Rev Cient Odontol* 2008; 4(1): 10-15.
42. Nuñez Díaz P. "Estudio comparativo entre sistemas de medición del color en odontología (espectrofotometría)". *Gaceta Dental* 2007; 164-175.
43. Machot EA, Noack B, Hoffmann T. "In vitro evaluation of two whitening regimens using color-analyzing methods". *Quintessence International* 2010; 41: 145-156.
44. Wang X, Ge J, Fay RM, Lu H, Gao C, Powers JM. "Comparison of the color of ceramics as measured by different spectrophotometers and colorimeters". *Int J Prosthodont* 2005; 18: 73-74.
45. Lee YK, Hee K, Yu B, Lim HN. "Lightness, chroma and hue distributions of shade guide as measured by aspectroradiometer". *J Prosthet Dent* 2010; 104: 173-181.

46. Guan YH, Lath DL, Lilley TH, Willmot DR, Marlow I, Brook AH. "The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison". *Journal of Oral Rehabilitation* 2005; 32: 7-15.
47. Douglas RD. "Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth". *J Prosthet Dent* 1997; 77: 464-70.
48. Chu J, Devigus A, Mielezko A. "Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry". Ed. Quintessence books. China, 2004.
49. Lehmann KM, Devigus A. "Are dental color measuring devices CIE compliant?" *Eur J Esthet Dent* 2012; 7(3): 324-33.

VIII ANEXO I

(Ver Anexo en CD adjunto)

