Estudio de diferentes variables metodológicas en la evaluación del color en odontología

Enric Soler Gomis

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

TESIS DOCTORAL

“Estudio de diferentes variables metodológicas en la evaluación del color en odontología”

Enric Soler Gomis

DIRECTORES:
Dr. Juan Ricardo Mayoral Molina, Dr. Stefano Ardu.

Barcelona, 2015.

Als meus fills Quique, Nacho, Alejandra i Javi

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, me gustaría agradecer a mi Familia: a mi querida esposa Nur por todo su apoyo, paciencia durante estos años sin su ilimitada ayuda no hubiera sido posible que este sueño se cumpliera, siempre estaré en deuda con ella. A mis cuatro hijos; Quique, Nacho, Alejandra y Javi que los quiero con locura, son la fuente de vitalidad de mi día a día. A mis padres Lluís y Eli por enseñarme el camino a seguir y espero que ellos se puedan sentir orgullosos de mí como yo de ellos. A mi hermano y alma gemela Lluís por ayudarme siempre en los buenos y en los malos momentos de toda nuestra vida en común, ha sido un ejemplo de superación y ha sido mi referencia a seguir. A mi hermana Eli, aunque nunca hacer ruido siempre sé que está a mi lado. A mi otra hermana Ani por darme soporte constante y ayudarme en los momentos que siempre la he necesitado.

A mi Director de tesis, Juan Ricardo Mayoral, por saber cuando había que apretar y cuando no durante este largo viaje que hemos realizado juntos. A mi Co-Director Stefano Ardu, que aunque estando en Ginebra me daba la sensación que estaba a mi lado. A Fernando Duran al que le quiero hacer una mención especial, el cuál ha sido una persona vital en el tramo final de esta tesis, por todo su apoyo en el planteamiento y redacción, sin él no hubiera sido posible acabar esta tesis doctoral.

Esta tesis también ha contribuido de mi otra familia, la familia de la UIC, quiero agradecer a mis compañeros Javier Roldán, Pilar Fenoy, Marta Vallés, Anaïs Ramírez y Francesc Abella por apoyarme y darme ánimos durante estos años. También al equipazo que forman los tres lideres Dr. Roig, Dr. Jané y Dr. Basilio, que siempre han confiado en mí desde mis primeros momentos en la UIC. También quiero nombrar a Montse Mercedé, Dr. Llopis y a Mark Lodge por aportar su esfuerzo en esta tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS VIII
ÍNDICE DE TABLAS IX
1. JUSTIFICACIÓN.....11
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN 19
2.1. Generalidades del color 21
2.1.1. Concepto del color 21
2.1.2. Percepción del color 23
2.1.2.1. El ojo humano como receptor del color 23
2.1.2.2. La fuente de luz 24
2.1.2.3. El objeto de observación 26
2.1.3. Dimensiones del color 26
2.1.3.1. 2.1.3.1 Matiz 26
2.1.3.2. 2.1.3.2 Saturación 27
2.1.3.3. 2.1.3.3 Luminosidad.....27
2.1.4. Fenómenos ópticos 27
2.1.4.1. Translucidez 27
2.1.4.2. Opalescencia 28
2.1.4.3. Fluorescencia 28
2.1.4.4. Metamerismo 28
2.1.5. Sistemas de medición del color numéricos 29
2.1.5.1. Sistema CIE Yxy 30
2.1.5.2. Sistema CIE Lab.....30
2.1.5.3. Sistema CIE Lab 2000 31
2.2. Color en odontología 31
2.2.1. Propiedades ópticas de los dientes 31
2.2.2. Medición del color dental 33
2.2.2.1. Métodos subjetivos 33
2.2.2.2. Métodos objetivos 35
2.2.2.2.1. Espectrofotómetros 35
2.2.2.2.2. Colorímetros 37

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....39
3.1. Hipótesis Nula.....41
3.2. Hipótesis alternativa.....41
4. OBJETIVOS.....43
4.1. Objetivo general.....45
4.2. Objetivos específicos.....45
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....47
5.1. Estudio 1.....49
5.1.1. Participantes.....49
5.1.2. Selección de la muestra.....49
5.1.2.1. Cálculo del tamaño muestral.....49
5.1.2.2. Criterios de inclusión/exclusión.....49
5.1.3. Variables.....50
5.1.4. Instrumentos de recogida de información.....50
5.1.4.1. Mediciones espectrofotométricas.....50
5.1.4.2. Determinación del grosor del esmalte y dentina.....51
5.1.4.3. Determinación de la translucidez.....52
5.1.5. Procedimiento clínico.....52
5.1.5.1. Operadores.....52
5.1.5.2. Secuencia clínica.....52
5.1.5.3. Análisis estadístico.....55
5.2. Estudio 2.....56
5.2.1. Participantes.....56
5.2.2. Selección de la muestra.....56
5.2.2.1. Cálculo del tamaño muestral.....56
5.2.2.2. Criterios de inclusión/exclusión.....56
5.2.3. Procedimiento de laboratorio.....56
5.2.3.1. Operadores.....56
5.2.3.2. Secuencia de laboratorio.....56
5.2.4. Instrumentos de recogida de información.....57
5.2.4.1. Mediciones espectrofotométricas.....57
5.2.4.2. Mediciones con el ojo humano.....59

5.2.4.3. Análisis estadístico …….60
6. RESULTADOS……..…63
6.1. Estudio 1 ……65
6.2. Estudio 2 ……71
7. DISCUSIÓN…….73
8. CONCLUSIONES ……85
9. PERSPECTIVAS DE FUTURO …….89
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ……93
ANEXOS ……..101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ……22
Figura 2. ……23
Figura 3. ……25
Figura 4. ……27
Figura 5. ……29
Figura 6. ……36
Figura 7. ……50
Figura 8. ……51
Figura 9. ……53
Figura 10. ……54
Figura 11 ……57
Figura 12. ……58
Figura 13. ……59
Figura 14. ……69
Figura 15. ……70
Figura 16. ……71
Figura 17. ……72
Figura 18. ……104
Figura 19. ……105
Figura 20. ……118
Figura 21 ……119
Figura 22. ……119
Figura 23. ……120
Figura 24. ……122
Figura 25. ……125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ……..……..……..……66
Tabla 2. ……..……68

1. JUSTIFICACIÓN

En la sociedad moderna actual, la importancia de la apariencia externa de las personas va en aumento (1) y la de sus dientes anteriores es un aspecto para tal fin (2). Las restauraciones estéticas de los dientes anteriores presentan uno de los grandes retos en la práctica diaria de una clínica dental (3). Las resinas modernas compuestas tienen el potencial de reproducir el color natural del diente y nos dan una excelente alternativa estética para realizar restauraciones de laboratorio, tanto sean coronas como laminados de cerámica (4, 5). Dichas resinas dentales se utilizan en las restauraciones estéticas anteriores (6). En la odontología moderna, una restauración estéticamente aceptable depende de diferentes parámetros, tal como el color dental, su forma, su posición dentro de la arcada dental y su integración de la restauración en el aspecto en general del paciente (1). La forma y el color de las restauraciones son factores claves en la zona estética para una óptima integración de las resinas compuestas. Cada vez que debemos realizar una restauración dental es un desafío y probablemente el de más dificultad de conseguir sea el color (7-10).

El color dental es un importante factor no solo para el profesional sino también para los pacientes que desean realzar su sonrisa (11). En estudios de población adulta del Reino Unido, entre el 12,1% y el 15,5% no están satisfechos con la apariencia de sus dientes, mientras que el 17,9% y el 21,3% no les agrada su color dental (12). El 34% de la población adulta de los Estados Unidos de América, según varias encuestas, están descontentos con su color dental (13), mientras que en China ascienda al 52,6% en un estudio en una población rural (14). Hoy en día, existen dos maneras de medir el color una de ellas subjetiva, en la cual se utilizan unas guías de color, y la otra objetiva, como sería la utilización del espectrofotómetro (9).

El método visual más utilizado es la guía Vita Classical (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany) (8, 11, 15) pero es subjetivo y tiene sus limitaciones (16), ya que depende no solo del color, sino del entorno como por ejemplo la luz expuesta, el ángulo de percepción y la percepción humana. La utilización de dichas guías consiste en comparar unas tablillas de color con el diente a restaurar bajo las mismas condiciones de luz hasta que encuentra la tablilla que más se acerque a la cromacidad del diente (9). Determinar el color con las guías de color en odontología restauradora con exactitud y repetibilidad es un reto para el dentista, para el asistente dental y para el técnico

especialista en prótesis dental (16-18). Otra limitación del método visual es como transmitir verbalmente el color dental (19) al ser muy difícil de explicar con exactitud el color, al ser éste subjetivo.

La comunicación con el técnico de laboratorio tanto del color como de la forma dental es esencial para tener éxito en la restauración a realizar. Además de los métodos visuales, existen otras alternativas para medir el color del diente tales como el espectrofotómetro, colorímetro, espectroradiómetro, cámaras digitales y sus correspondientes softwares (16, 20-22), los cuales son más rápidos y objetivos en comparación con los métodos visuales tradicionales (21). Estos dispositivos nos permiten reproducir de una forma exacta la cuantificación del color entre un diente natural y una restauración. Además estos aparatos incrementan el acierto del color, su comunicación y su reproducción (23). Estas medidas electrónicas dan información de la mayoría de los sistemas del color establecidos por la Comisión Internacional de la iluminación, como por ejemplo L* a* b* (L* es la medida de la luminosidad, a* la del rojo y b* la del amarillo) y L* C* hº (L* es la medida de la luminosidad, C* saturación y hº indica el tinte establecido como un ángulo de color). El instrumento científico y odontológico más preciso del color es el espectrofotómetro y si lo comparamos con el ojo humano o por técnicas convencionales ofrecen un 93,3% en aciertos (15, 19). El espectrofotómetro está fabricado con funciones fotográficas que reduce o supera las imperfecciones o inconsistencias de las guías tradicionales (15).

Durante mucho tiempo se ha utilizado la fórmula CIELAB pero la fórmula ha sido mejorada por el CIELAB2000 donde la aceptación óptica por el ojo humano es mayor. Con dicha fórmula nunca se había utilizado en dientes naturales restaurados en Clases IV de composite.

Recientes investigaciones dentales de la evaluación del color encontraron que la Fórmula ΔE^*_{00} tiene mayor aceptación evaluado por el ojo humano en comparación con el ΔE^*_{ab}, pero donde existe diferencia es en la cromacidad que está ligado con el a* y el b*, en la L* no hay tanta diferencia

La gran ventaja es que nos permite correlacionar valores realizados in vitro con el espectrofotómetro con lo que el ojo percibe y al final y al cabo es lo que es importante para la clínica.

Es de suma importancia validar los modelos que a día de hoy se utilizan para medir el color, tanto sean los modelos tradicionales con las guías de color o los modelos técnicos actuales como el espectrofotómetro (24). Este estudio se ha realizado tomando en cuenta que existen muy pocos artículos publicados en la literatura que evalúen la integración objetiva del color tanto in vivo como in vitro. Es vital validar los modelos in vivo y los modelos in vitro porque no está demostrado que en los estudios in vitro se obtengan los mismos resultados que in vivo. La mayoría de los estudios y publicaciones están realizadas in vitro, pero no se conoce la validez de dichos estudios. Para poder validar los estudios in vitro, debemos saber si existe cambio en las propiedades ópticas del diente, en que zona del diente y en que momento después de dicha extracción. Nos planteamos en que zona del diente existe o no cambio de color, si es en el esmalte o en el complejo dentina-esmalte o en ambos. Cabe recordar que las casas comerciales a día de hoy, tienen composites específicos para esmalte y para dentina. También es de suma importancia averiguar en que momento cambian las propiedades ópticas del diente para poder así utilizar dicho diente extraído en el momento en que se más se parezca al diente en boca, para así poder utilizarlos en los estudios in vitro. Toda esta información nos ayudará a validar el método experimental de los estudios in vitro.

El objetivo de este trabajo es investigar las propiedades ópticas de los dientes tanto en condiciones in vitro como in vivo y de este modo determinar la influencia de estas propiedades en diferentes condiciones y parámetros visuales, con el uso de herramientas como lo es el espectrofotómetro.

Hay muchos estudios in vitro realizados o con ojo humano o con espectrofotómetro pero nunca se ha estudiado la relación de la espectrofotometría con el ojo humano, no sabemos qué valor cuantitativo el humano lo percibe como correcto. Nosotros vamos a

intentar relacionar lo que el ojo percibe como correcto con valores objetivos que nos dé el espectrofotómetro.

Como la determinación del color depende de diversas variables, nos planteamos realizar una evaluación metodológica de los diferentes métodos de la toma de color en odontología. Por tanto, esta tesis es un estudio metodológico con el fin de ayudar a la interpretación de los resultados observados en la literatura. Por ello, se investigó lo que el clínico observa (método subjetivo/ojo humano) con el color real (método objetivo/espectrofotómetro). Todo ello, teóricamente, debería permitir al clínico relacionar lo que él ve en la toma de color, con las limitaciones de las guías de color y la percepción humana (16), con lo publicado donde se utiliza generalmente el espectrofotómetro.

Lo que se observa en la toma de color podría depender del cómo (utilización del fondo negro o fondo blanco y del método subjetivo o método objetivo) y del cuándo se valora la evolución del color a lo largo del tiempo en un diente extraído (desde el momento de la extracción hasta un mes después). El objetivo radicaba en encontrar el mejor método de acertar el color y del momento idóneo para evaluar dicho color, lo cual nos podría ayudar en la interpretación de los resultados publicados y quizás explicar los resultados contradictorios observados en la literatura.

Una vez determinado el mejor momento y qué fondo se debería utilizar en la toma de color, creemos que es importante estudiar el otro aspecto que podría influir en la toma de color (método subjetivo u objetivo). Esta segunda parte de la tesis se justifica por el hecho de que la mayoría de clínicos realiza la toma de color mediante un método subjetivo (el ojo humano con las guías de color) y la mayoría de estudios publicados que evalúan el color lo realizan mediante un método objetivo (espectrofotómetro). Por ello, para relacionar lo publicado en la mayoría de estudios (método objetivo) con la forma de evaluar el color en clínica de la mayoría de clínicos a sus pacientes (método subjetivo), se consideró importante encontrar un valor que relacionase el método subjetivo con el método objetivo, para facilitar al clínico una mejor interpretación de los estudios publicados. Nuestros dos estudios de la tesis doctoral no van dirigidos a la

evaluación de materiales sino a una evaluación metodológica que nos permita relacionar tanto los estudios in vitro in vivo como lo que ve el clínico para poder relacionar los estudios publicados.

Nuestros dos estudios tienen como objetivo facilitar criterios al clínico general para ayudarle en la toma de decisiones. La necesidad de estudiar el fondo blanco y el fondo negro surge de que en los estudios se han observado resultados diferentes según el fondo utilizado. Ello podría llevar al clínico a equivocarse en la elección del color del material si el fondo utilizado no es el apropiado.

La siguiente parte de la investigación es un estudio metodológico que permite al clínico relacionar los estudios in vitro con lo que él está observando en clínica directamente con su ojo.

Uno de los estudios tiene como objetivo relacionar lo que el dentista ve con métodos objetivos, que son los que se suelen utilizar en las publicaciones y el segundo, es un estudio metodológico que le dirá al clínico cuál es el fondo más apropiado para utilizar en su clínica. Por tanto, ambos estudios son metodológicos, no se dedican a evaluar materiales. Su objetivo es evaluar cuál es la mejor metodología para poder relacionar lo que el dentista ve en clínica con los estudios de laboratorio.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Generalidades del color

2.1.1 Concepto del color

Existen múltiples definiciones de color, como por ejemplo de la Real Academia de la lengua Española que define, el color como "Sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda" o también como, "Propiedad de la luz transmitida, reflejada o emitida por un objeto, que depende de su longitud de onda".

El color hace referencia a la radiación que refleja un objeto cuando es iluminado por un haz de luz de una determinada longitud de onda, y cuyos rayos reflejados son percibidos de forma subjetiva por un observador como el color de dicho objeto (25). Al observar un objeto iluminado por una luz blanca, el color que vemos corresponde a aquellas longitudes de onda que dicho objeto no ha absorbido o transmitido y que, por lo tanto, se han reflejado en su superficie hacia el exterior (26). El color es la impresión producida de los rayos luminosos difundidos o reflejados por los cuerpos. De aquí que para que se produzca el fenómeno de la percepción del color es preciso que exista luz, y un receptor u órgano de los sentidos que perciba dicho fenómeno físico.

La luz es una forma de energía comprendida dentro del espectro de radiación electromagnética para el cual nuestros ojos son sensibles (entre 380 y 760 nanómetros de longitud de onda) y que percibimos como los colores llamados "del arco iris", es decir, por encima de la región ultravioleta y por debajo de la infrarroja (27) (Figura 1).

Esta respuesta psicofísica que llamamos color sería la correspondiente a la longitud de onda de la radiación lumínica que alcanza al ojo. La sensación que llamamos color sería la correspondiente a la longitud de onda de la radiación lumínica que alcanza al ojo. Si ésta corresponde con la de un color del arco iris veremos dicho color, si contiene las longitudes de onda compuesto por dos colores percibimos un color nuevo, cuando contiene todas vemos el color resultante como blanco, el color negro sería la ausencia de radiación visible (27). Un objeto varía de color dependiendo de la energía que ha sido absorbida o reflejada. Por ejemplo, un objeto parece rojo primariamente porque refleja una longitud de onda roja más que una longitud de onda azul o verde.

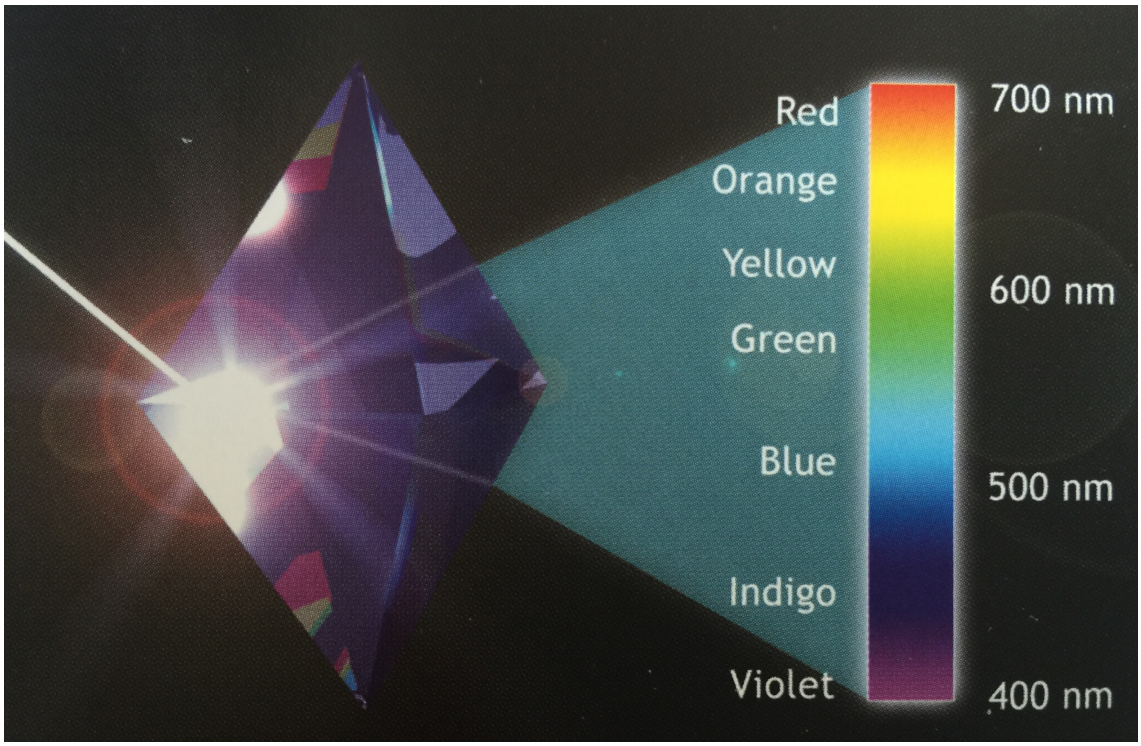

Figura 1: Dispersión de la luz blanca en un prisma dando lugar a los colores visibles (28).

Newton (1642-1727) describió que la luz blanca al descomponerse origina los siete colores del espectro visible y los nombró en el siguiente orden: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, cian y violeta. La suma de todos los colores del espectro luminoso recompone la luz blanca (29) (Figura 2).

Para entender el color es necesario comprender las dimensiones del color, hue-tonalidad, valor, croma y translucidez. La translucidez no está contemplada en el análisis de color de Munsell, pero puede ser un importante factor importante en la restauración final (15).

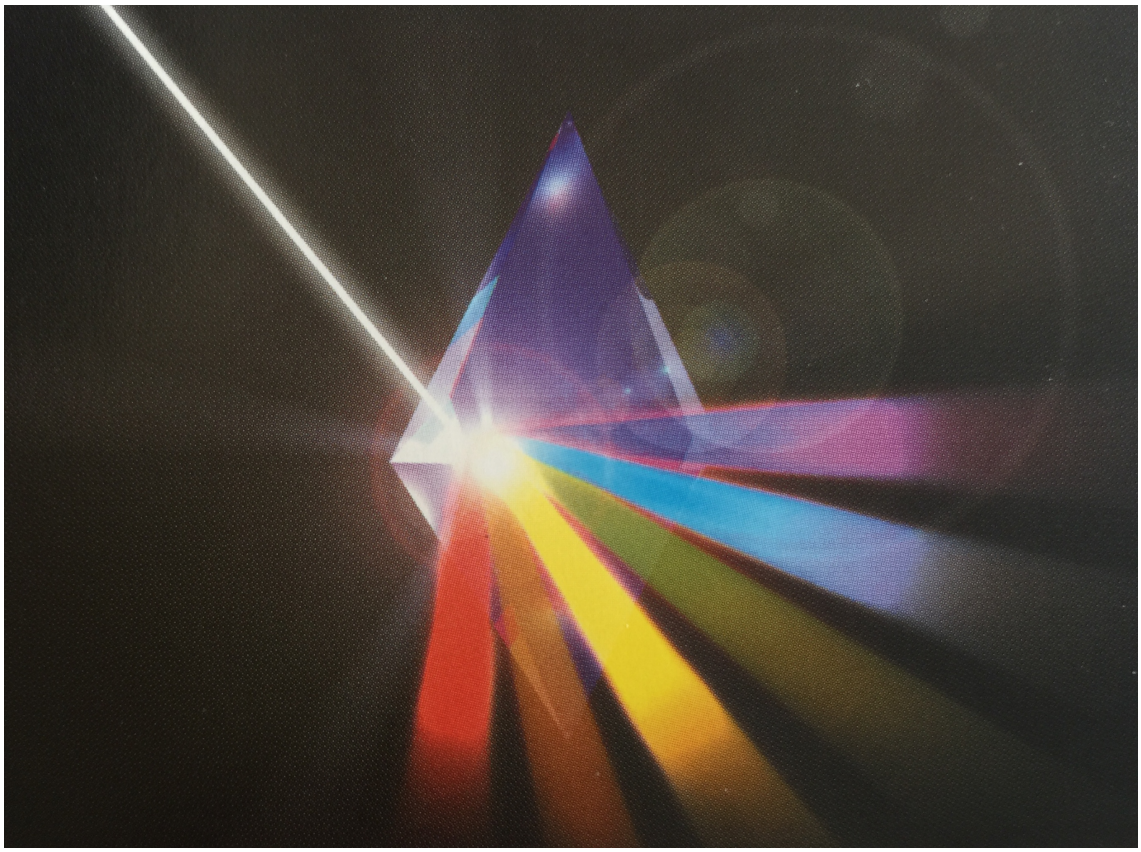

Figura 2: luz blanca al descomponerse en un prisma origina los siete colores del espectro visible (28).

2.1.2 Percepción del color

Para que se produzca la percepción del color, son necesarios tres elementos que participan directamente en este proceso y que son: el receptor u observador, la fuente de luz y el objeto observado (30).

2.1.2.1 El ojo humano como receptor del color

El color no es una propiedad real de un objeto es más bien una impresión en nuestro cerebro (significado subjetivo). La percepción del color es una respuesta fisiológica a un estimulo físico. Se trata de un concepto extremadamente complicado por ser al mismo tiempo, una característica de las ondas electromagnéticas (factor objetivo) y una sensación que percibe el observador (respuesta subjetiva). La sensación percibida por el ojo humano es susceptible a múltiples variaciones. Cada persona puede percibir el color de una forma distinta y basada en experiencias anteriores. Además, la fatiga visual, la

edad, el tipo de luz, el ambiente que nos rodea, el ángulo de observación, el sexo, pueden influir en la percepción del mismo (11, 31).

El cerebro humano no percibe los colores como son o como están relacionados con su alrededor, eso significa que el intelecto no interpreta correctamente el sentido de la visión. Como longitud de onda, el color es perfectamente cuantificable por métodos objetivos. Sin embargo, el color es un fenómeno subjetivo, visceral, emocional y personal, ya que cada individuo apreciará el color de una manera diferente (28). Por lo tanto son muchas las variables que pueden influir en la percepción del color.

2.1.2.2 La fuente de luz

Fuente de luz hace referencia a la fuente de emisión de radiación electromagnética visible, mientras que el iluminante es la especificación de una fuente de luz concreta. La fuente de luz ejerce una influencia cualitativa y cuantitativa en la percepción cromática. Con respecto a esta segunda variable, cuando la luz incide sobre un objeto, pueden ocurrir diferentes posibilidades de interacción. Puede ser que la luz se refleje, refracte, absorba, disperse y/o se transmita (Figura 3).

Reflexión: todos los cuerpos reflejan una parte de la luz que les llega. Se necesita que se les ilumine para que la podamos ver. Sin embargo, en la mayoría de los casos, debido a la rugosidad de la superficie, esta luz se refleja en todas las direcciones de manera difusa y produce por ella una reflexión difusa. En cambio, si la superficie está pulida y lisa, la luz reflejara nítidamente produciendo una gran reflexión.

Refracción: es el cambio de dirección que sufre la luz al penetrar un cuerpo translúcido o transparente a menos que la luz incida de forma perpendicular. Debido a que el diente posee pocas capas de distinta opacidad se refracta de diferente manera en cada una de ellas (29, 30).

Absorción: los cuerpos que reciben la luz, ya sean oscuros, claros o incluso transparentes, impiden que una parte de los rayos lumínicos regresen al medio del que proceden. Este principio es el que ocasiona el fenómeno de la visión. Así según la inclinación de los haces de luz pueden llegar a reflejar en alguna capa y salir sin llegar a

la dentina, y otros vuelven a reflejarse en la superficie interna del esmalte volviéndose hacia la dentina (11, 30).

Difracción o Difusión: el efecto de la difracción da una imagen de la dentina mayor de lo que es en forma de sombra que se conoce como penumbra. En otras palabras, la manera en que se perciben los mamelones y otros efectos atrapados en el esmalte bajo distintas condiciones lumínicas son la anatomía de una ilusión (30).

La calidad de la luz actúa en la percepción del color de un objeto. La CIE recomendó las fuentes de luz día que ofrecen temperaturas de color 5000ºK a 6500ºK en todos aquellos procesos que exijan una correcta percepción/medida cromática (26). El concepto de temperatura de color es la relación entre la temperatura de un cuerpo (cantidad de energía que emite) y el color que percibimos, por tanto, diferentes temperaturas de color de la luz en un mismo ambiente pueden variar la percepción del objeto a examinar. A día de hoy, se admite que 6500ºK es la temperatura cromática real de la luz blanca percibida por el ojo humano como blanca, y es la que debería usarse como fuente de luz (CIE D65) para igualar colores.

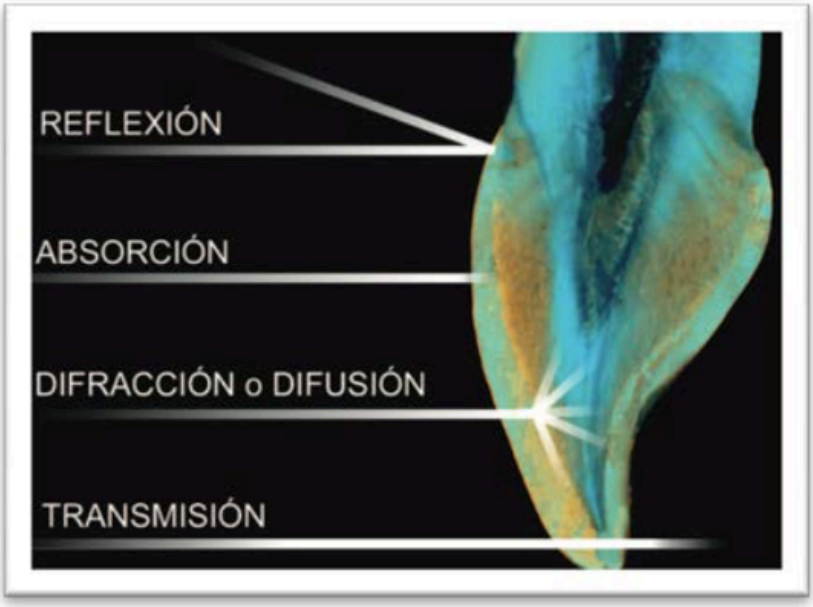

Figura 3: muestra las distintas opciones cuando una luz incide sobre un diente: reflexión, absorción, difracción o transmisión.

2.1.2.3 El objeto de observación

En nuestro caso el objeto de observación sería el diente, que será explicado más adelante en el apartado del color dental. Desde un punto de vista físico el color de los objetos se caracteriza, por tener un espectro de reflectancia difusa, que nos indica que fracción de luz de una determinada longitud de onda es reflejada por el cuerpo. La parte de luz que no se refleja puede transmitirse, absorberse o dispersarse. El color de los objetos también depende de las propiedades intrínsecas del propio objeto. Características como la translucidez, la opacidad y el brillo, entre otras, así como la forma y el tamaño del objeto, influyen en la percepción del color.

2.1.3 Dimensiones del color

2.1.3.1 Matiz, tonalidad o tinte

El grado de mezcla de los tres colores primarios color: rojo, verde y azul (RGB), se refiere al nombre del color en estado puro, sin el blanco o negro agregados (Figura 4). Nos permite distinguir una familia de colores de otra. La percepción del matiz está influenciada por factores ambientales. Los tres colores primarios representan los tres matices primarios, y mezclando éstos, se pueden obtener los demás matices o colores. Dos colores son complementarios cuando están uno frente a otro en el círculo de matices (círculo cromático).

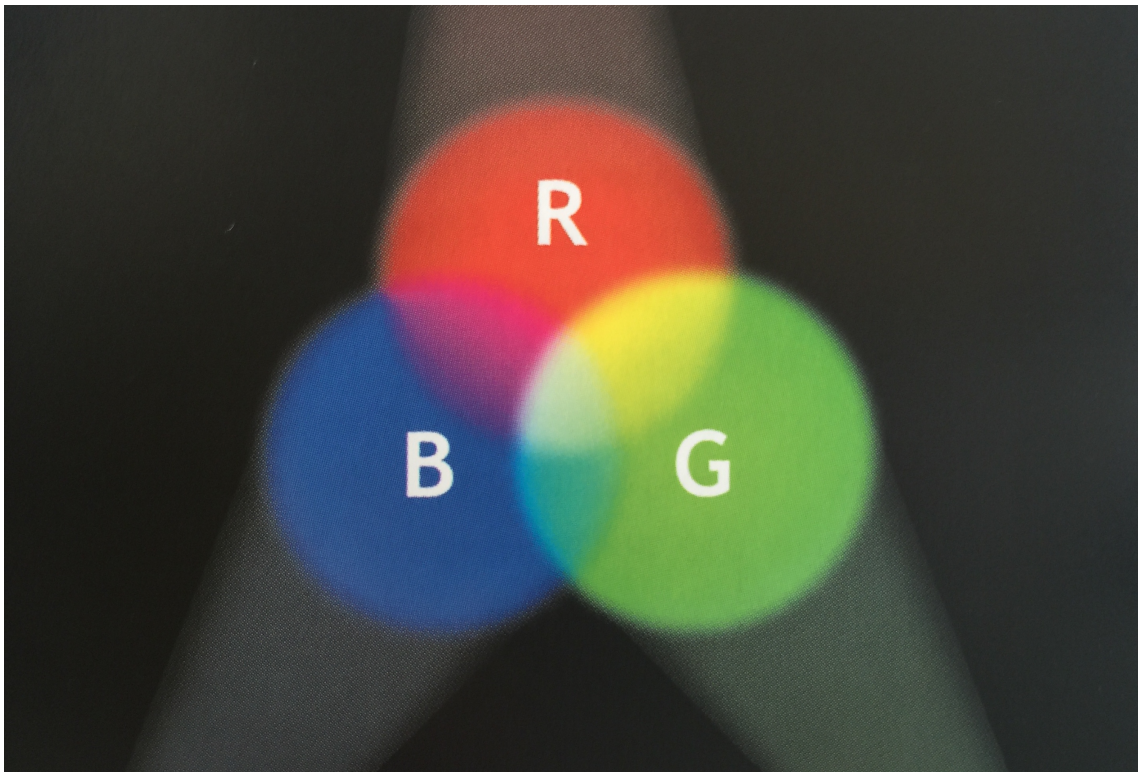

Figura 4: los tres colores primarios, rojo, verde y azul (RGB) (28)

2.1.3.2 Saturación, croma o intensidad

El croma o saturación representa el grado de pureza de un determinado matiz en particular, los colores puros tienen una cromaticidad alta, y los colores débiles tienen una cromaticidad baja. Es una variable cuantitativa (32).

2.1.3.3 Valor o brillo, luminosidad o claridad

El valor es el grado de brillo que posee un color que indica la cantidad de gris presente en el diente, basado en la escala que empieza por blanco (valor elevado) y termina en negro (valor bajo) (11).

2.1.4 Fenómenos ópticos

2.1.4.1 Translucidez y Opacidad

Los fenómenos de absorción y reflexión de la luz actúan a expensas de la translucidez y opacidad del objeto en cuestión. Para Munsell la translucidez es la cuarta dimensión del

color y la define como una zona intermedia entre los cuerpos transparentes que permiten el completo paso de la luz, y los opacos que bloquean el paso de la luz (33).

2.1.4.2 Opalescencia

Se define como el fenómeno de refracción, difusión e interferencia luminosa simultáneas en una suspensión, emitiendo coloraciones brillantes y vivas, variables según la incidencia de la luz. La luz reflejada por un objeto aparece de un color azulado mientras que cuando la luz se transmite a través de él aparece de color naranja-marrón (34, 35).

2.1.4.3 Fluorescencia

Se define como la capacidad de absorber la luz por un material y la emisión espontánea de la misma en una longitud de onda ligeramente mayor, y por lo tanto, con menor energía. Este fenómeno es importante porque, dependiendo de la luz incidente en las estructuras, su luminosidad puede ser aumentada por el fenómeno de la luminiscencia (36).

2.1.4.4 Metamerismo

Metamerismo ocurre cuando dos materiales tienen idénticos colores bajo una misma luz, pero cambian de color bajo otra luz (37, 38).

2.1.4 Espacios representativos del color

Para representar el color muchos investigadores han intentado ordenar el color o espacio cromático de forma bidimensional o tridimensional basados en los principios de percepción del color (39). El sistema más utilizado fue creado en 1905 por el profesor americano Albert Munsell, que define los tres atributos del color denominados dimensiones del color, como tono, valor y croma (37, 39). Los ordenó de una forma tridimensional diferenciándose así de otros sistemas (40). En su eje principal es donde se representan el color blanco (extremo superior) hasta el color negro (extremo inferior). En el eje horizontal se encuentran los matices y la distancia a lo largo del eje el croma (41) (Figura 5).

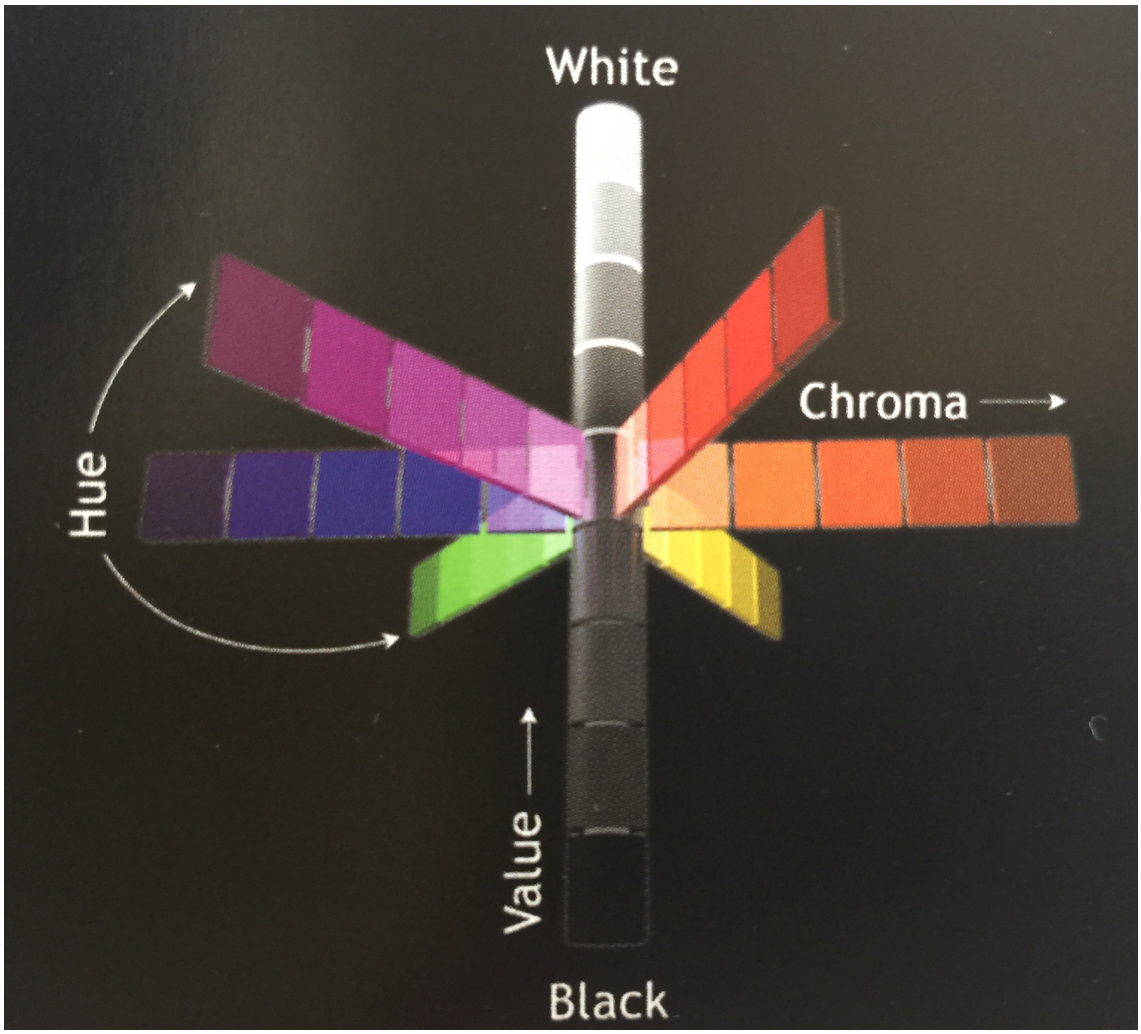

Figura 5: Los tres ejes de Munsell: Tono, Valor y Croma (28)

2.1.5. Sistemas de medición del color numéricos

Para poder medir los colores de una forma numérica internacionalmente se crearon aparatos como el espectrofotómetro. Para establecer la correspondencia entre la distribución espectrofométrica del color y unos valores existen varios valores: CIE Yxy, CIELab y CIELACh. Con este propósito, en 1931 nació la CIE (Comisión Internationale de l'Éclairage) que es la principal autoridad internacional en el campo de la luz y la iluminación y sus recomendaciones técnicas son aceptadas a nivel mundial. La CIE lo constituyen 37 Comités Nacionales que representan áreas geográficas que cuentan con la representatividad y la cooperación de todas las entidades interesadas en

las materias de luz e iluminación dentro de su correspondiente territorio (38).

2.1.5.1 Sistema CIE Yxy o Triángulo CIE o Sistema CIE xyz

La creó la CIE en 1931 para representar el color, siendo X, Y y Z los valores tri-estímulo (vectores en un espacio tridimensional) basados en respuesta del ojo humano promedio a diferentes longitudes de onda, para valorar los colores basados en una reelaboración matemática del sistema RGB (son las iniciales en inglés de los colores primarios). Las "x" indicaban el valor matemático del color rojo, la "y" del verde, la "z" del azul-violeta y la "Y" corresponde a la luminosidad (parte superior indica el blanco, parte inferior indica el negro) (30).

2.1.5.2 Sistema CIE Lab

En 1976 nació el CIELab, el sistema más utilizado a día de hoy (42) el cual representa un espacio cromático tridimensional. El eje vertical expresa la coordenada L* que es la medida de la luminosidad de un objeto (el valor 0 es negro y el valor 100 es blanco) y está directamente relacionado con el valor de Munsell. La coordenada a* está en el eje horizontal, cuando el valor es positivo mide el color rojo y cuando el valor es negativo mide el verde. La coordenada b* también se encuentra en el eje horizontal, cuando el valor es positivo mide el color amarillo. y cuando el valor es negativo mide el azul. El a* y el b* al aproximarse al valor 0 son colores neutros como el blanco o el gris, pero al aumentar los valores el color se hace más intenso o saturado (30). Una de las grandes ventajas del CIE L*a*b* es la simplicidad con la que, se puede calcular el color diferencial entre dos colores utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta E^*_{ab}* = \sqrt{(\Delta \mathrm{L}*)^2 + (\Delta a*)^2 + (\Delta b*)^2}$$

Fórmula 1: Fórmula para calcular el color diferencial entre dos distintas medidas L a* b.*

El ΔL*, Δa*y Δb* son sus respectivas diferencias entre dos colores de los valores L* a* y b*.

2.1.5.3 Sistema CIE Lab 2000

El CIE revisó y transformó el espacio uniforme del color del CIELab por, la nueva Fórmula CIELab 2000 que incluye múltiples conversiones y promedios.

La Fórmula CIELab 2000 utiliza el concepto del croma y del tono, reforzando la importancia de los conceptos de Munsell (43). En la literatura existen comparaciones entre los valores del CIELab y el del CIELab 2000 o también llamado CIELAB00, donde existe correlación entre ellas después de la polimerización o el termociclado. Recientes investigaciones dentales de la evaluación del color encontraron que la Fórmula ΔE^*_{00} tiene mayor aceptación evaluado por el ojo humano en comparación con el ΔE^*_{ab}, pero donde existe diferencia es en la cromacidad que está ligado con el a* y el b*, en la L* no hay tanta diferencia. A nivel matemático si que existe diferencia significativa al comparar, por ejemplo, dos cerámicas distintas, pero a nivel óptico por el ojo humano no existe diferencia en la apreciación del cambio de color (43, 44).

2.2 Color en odontología

2.2.1. Propiedades ópticas de los dientes

La composición, grosor y estructura del esmalte, dentina y pulpa son los responsables de la complejidad del color del diente desde del punto de vista óptico y van cambiando a lo largo de la vida influyendo en su color. Cada tejido tiene propiedades ópticas distintas y la integración de ellas proporciona el color final del diente (7).

La pulpa dental está formada por un 75% es agua y el resto es materia orgánica compuesta por células, fibras y sustancia fundamental, por tanto, es un tejido conectivo laxo, bien irrigado e inervado. La pulpa se localiza dentro del interior de la cámara pulpar y de los conductos radiculares que van disminuyendo de volumen al cabo de los años y aumentando el de dentina.

La pulpa dental tiene un color rojizo oscuro en dientes jóvenes presentado una tonalidad rosada pero en los dientes más adultos su influencia sobre el cromatismo dentario va disminuyendo (45).

La dentina rodea la cavidad pulpar y está cubierta por esmalte o por cemento. Está formada por un 70% de hidroxiapatita, 20% de por tejido inorgánico y un 10% por H2O. Comparado con el esmalte tiene una menor proporción de mineral pero mayor de materia orgánica, explicando la opacidad relativa de la dentina primaria formada antes de la erupción del diente. Los túbulos dentinarios, las distintas estructuras microanatómicas combinada con la anatomía microscópica de la dentina son áreas con diferentes índices de reflectancia dando lugar a una difracción selectiva de la luz provocando que los rayos sean reflejados o absorbidos. La dentina contiene un aspecto policromático por tener distintas áreas de opacidad densa y de saturación de color elevada. Los pigmentos orgánicos presentes en la microestructura de la dentina son responsables de la fluorescencia. La dentina dental mayoritariamente es opaca pero también posee translucidez (7).

El esmalte esta formado por un 5% de H2O y materia orgánica, el 95% restante son minerales formando unos prismas que hace que el esmalte sea brillante, translúcido, prácticamente acromático, radiodenso y duro. En las distintas zonas dentarias el esmalte cambia de composición, estructura, grosor y textura superficial permitiendo que la luz se refleje, refracte y transmita de forma diferente cambiando por tanto la apariencia óptica. El esmalte joven es muy grueso y con menor contenido mineral creando el efecto óptico de una leve translucidez y alta luminosidad. El esmalte anciano es más delgado y más rico en minerales dando lugar a una mayor translucidez el cual conseguirá que se haga patente el color dentinario.

El esmalte es el responsable de la opalescencia dentaria porque su coeficiente de transmisión depende de la longitud de onda incidente, es decir, la transmisión de luz por el esmalte aumenta conforme aumenta la longitud de onda; es más translúcido para altas longitudes de onda. Si observamos la opalescencia del esmalte con luz directa veremos azul y blanco, mientras si la observamos a través de una luz transmitida veremos efectos ámbar y naranja (7).

La mitad externa del esmalte es más translúcida porque en esa región los prismas son más densos y la mitad interna es semi traslúcida dando un gradiente de opacidad. El esmalte permite que la luz le penetre y se refleje sobre la de dentina el cuál es más opaco y reduce el valor del esmalte, cambiando así el color global del diente hacia el

gris. En la zona incisal el esmalte al ser más grueso la luz se refracta y refleja incrementando el valor dando así una apariencia más blanca. En esta zona, el diente se vuelve translúcido y presenta opalescencia, es decir, refleja las longitudes de onda más cortas (aspecto azulado con luz reflejada) y transmite las largas (aspecto anaranjado con luz transmitida). En el área cervical domina la percepción de la dentina porque el esmalte es muy delgado y la dentina muy saturada. En el tercio medio se incrementa el valor del esmalte dando un efecto más blanco causado por un mayor grosor del esmalte y una mayor densidad de la dentina (30).

El color de la dentina (46) y las coloraciones intrínsecas y extrínsecas (11, 47) determinan el color dental. Las propiedades ópticas del esmalte y la dentina junto con su interacción con la luz determinan el color intrínseco del diente (46), el cual está asociado con las propiedades de dispersión y absorción de la luz del esmalte y de la dentina, siendo éstas muy importantes en la determinación del color general del diente (30).

La absorción de materiales de la superficie del esmalte determinará el color extrínseco del diente (11). Cualquier cambio en el esmalte, en la dentina o en la estructura de la pulpa dental puede causar un cambio en las propiedades de la transmisión de la luz a través del diente (5, 30). La decoloración varía en apariencia y en severidad (48) y depende de su localización y etiología (49) y se clasifica en intrínseca, extrínseca o en una combinación de ambas (50). La mayoría de las causas de decoloración son extrínsecas (cromógenos, derivados de la ingesta regular de vino, café, té, zanahorias, naranjas, chocolate, enjuagues bucales o presencia de placa) o intrínsecas, tanto sistémicas (relacionada con drogas, metabolitos o genéticos) o locales (necrosis pulpar, hemorragia intrapulpar, pulpa remanente después de una tratamiento de conductos, materiales endodónticos, materiales de obturación, reabsorciones radiculares y la edad (51).

2.2.3. Medición del color dental

2.2.3.1 Métodos subjetivos

A día de hoy el método subjetivo que tiene más aceptación son las guías de colores, que

consisten en tabletas de resina que contienen varios incisivos de diferentes colores que sirven para comparar con el diente natural y se busca el más parecido. Dichas guías son las que frecuentemente utilizan los odontólogos y su equipo clínico para tomar el color y transmitírselo al técnico especialista de prótesis dental (24).

En 1956 se estableció un orden exhaustivo donde se dividía las tonalidades en cuatro grupos principales: A, B, C y D. Las diferencias más evidentes entre las guías dentales son en las propiedades ópticas y físicas de los materiales de las que están hechas y la disposición del color en la propia guía (24, 52).

La guía Vita es la guía más utilizada en odontología (8, 11, 15), viene ordenada en función de matiz/saturación Se agruparon en cuatro categorías de acuerdo con su incidencia: naranja-rojizo (A), seguido por el naranja-amarillo (B), marrón-gris (C), marrón (D). se observan diferentes niveles de saturación para el mismo matiz codificado por números. En el matiz A, existen 5 niveles de croma, siendo el A1 el menos saturado de marrón y el A4 que presenta mayor saturación.

Las guías de color son un método subjetivo las cuales presentan varias limitaciones tanto de las propias guías como del método a transmitir dicho color (53). Estas tabletas de color a diferencia del diente natural, varía en: el color de la zona gingival donde es más oscura que la incisal, en las diferentes curvas de reflexión y de texturas superficiales (30, 54, 55). Dichas tablillas poseen un espesor inadecuado que normalmente varía entre 4 a 5mm, son más inestables de color y presentan diferencias entre los distintos lotes. El espacio de color del diente no esta cubierto por completo por la gama de colores de las guías dentarias, ya que en la mayoría los tonos están dispuestos sistemáticamente en sus espacios de color, por tanto, no representan todos los posibles colores de los dientes naturales humanos (39, 56, 57). Como hemos visto las tablillas de color tiene limitaciones propias entre el diente natural y el acrílico de las que están formadas, pero además, la percepción subjetiva del clínico en la toma de color es de suma importancia, porque condiciona el resultado final de la valoración del color. Dichas valoraciones pueden sufrir múltiples variaciones porque depende del entorno, la hora del día, la luz expuesta, el color de las paredes de la consulta, la ropa y maquillaje del paciente, el ángulo de visión del diente y la tablilla (19, 30, 53, 58). La subjetividad

entre individuos, la experiencia, el cansancio visual, el daltonismo, factores psicofisiológicos, trastornos somáticos y las limitaciones verbales de transmitir dicho color son otras limitaciones a tener en cuenta (19, 26).

2.2.3.2 Métodos objetivos

Los métodos objetivos en la toma de color se realizan mediante sistemas instrumentales que pretenden ayudar a sustituir la sensación subjetiva del ojo humano para suministrar los datos reproductibles de forma exacta. Estos instrumentos electrónicos están destinados a facilitar y objetivar el proceso de la toma de color de una manera más precisa, fiable y repetible para los clínicos y técnicos de laboratorio. Normalmente dicha aparatología no se utiliza en la práctica clínica por su desconocimiento, por las condiciones de iluminación y medida, por la interpretación de resultados y por su alto coste (59). Entre dicha aparatología se incluyen los colorímetros, espectrofotómetros, analizadores digitales del color e instrumentos híbridos que combinan estas tecnologías.

2.2.3.2.1 Espectrofotómetros

Estos instrumentos están entre los más precisos y útiles para registrar el color en odontología. El espectrofotómetro dental es un aparato de medición que emite una luz definida. Tiene la capacidad de medir el reflejo espectrofométrico de un color y lo traduce en valores numéricos reconocidos internacionalmente. Estos aparatos registran el área de longitudes de onda de la luz visible entre aproximadamente 380nm y 720nm en pequeños intervalos de longitudes de onda.

El software integrado realiza la conversión de curvas espectrofométricas y convierte los colores al Sistema CIELab. Además aportan el mayor número de datos de medición, incluso más que los colorímetros. Gracias a estos softwares que tienen una base de datos de las guías de colores incorporadas pueden ser traducidos en una forma útil para los profesionales dentales. Los mencionados softwares nos proporcionan el color general o por tercios del diente, un mapa cromático del diente y una imagen polarizada (60). El ojo humano o de las técnicas convencionales, en comparación con el espectrofotómetro se ha encontrado que éstos últimos ofrecen un aumento del 33% en la precisión y objetividad, con una coincidencia de color en un 93.3% de los casos (26).

El espectrofotómetro SpectroShade, el cual es el único dispositivo que combina el análisis digital de imágenes con el análisis espectrofotométrico (Figura 6). Es muy completo y a la vez muy intuitivo de utilizar. Consta de una fuente de luz halógena de 6500ºK que reflejada se transmite a dos detectores CCD (siglas en inglés que significa charge coupled device) que se encarga de la conversión de una señal luminosa en una señal eléctrica a través de un sistema de lentes: uno se utiliza para generar la imagen en color digital del diente y el otro detector, que es blanco-negro, para el análisis espectrofotométrico. El dispositivo utiliza un sistema de guía de posicionamiento de dientes, el cual, se muestra en una pantalla táctil y hace un análisis espectrofotométrico en la imagen pixel a pixel lo que representa una cantidad enorme de datos analizados (más de dos millones de referencias por imagen). De las principales ventajas que otorga este dispositivo es que sólo necesita 1,5 segundos para tener una evaluación del diente con un mínimo de equipo adicional y tiene un buen acceso a los dientes del sector anterior. Tiene una gran precisión, exactitud, reproductibilidad y repetibilidad (61).

Figura 6: Spectro Shade (SpectroShade, Handy Dental Type 713000, Serial No. HDL0090, MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italia) (62)

Nos da la opción de trasladar las imágenes y los datos espectrofométricos a un ordenador mediante una tarjeta de memoria LAN de una forma inalámbrica o mediante un cable USB. Esta información la podemos compartir con nuestro laboratorio vía e-mail o en CD-ROM o un pen drive.

Para la utilización del SpectroShade éste debe calibrarse con unos rectángulos blanco y verde y posteriormente se coloca una almohadilla desechable en la boquilla del instrumento en la cual hay contacto con el diente. El paciente debe abrir ligeramente la boca, respirar por la nariz, mantener la lengua inmóvil y hacia abajo. El espectrofotómetro debe apoyarse en un área de 3mm de diámetro sobre la zona central del tercio medio del diente a medir, y debemos evitar interferencias con los dientes antagonistas, los labios y la lengua. El objetivo de esta técnica es conseguir un correcto ángulo de refracción de la luz (63).

Una vez el dispositivo está posicionado correctamente en la pantalla muestra una línea que debe estar verde, en ese momento es cuando se puede pulsar el botón para capturar la imagen. Si la pantalla muestra un punto verde la captura ha sido correcta, si sale un punto rojo se debe a que el operador o el paciente no han estado inmóviles y la imagen detectada ha sido incorrecta y debe repetirse. Una vez realizadas todas las imágenes con el SpectroShade se descargan todas las mediciones en el ordenador mediante un cable USB y se analizan por un operador entrenado con un programa del propio dispositivo.

2.2.3.2.2 Colorímetros

Los colorímetros tienen una fuente de luz evitando así la influencia de la luz del entorno lo cual es una gran ventaja. Además dispone de una punta muy pequeña dándonos la posibilidad de tomar el color en varias zonas del diente. Existen posicionadores para estandarizar la posición a la hora de tomar el color (25, 64). Por otro lado, clínicamente su utilización es difícil al ser convexas las superficies vestibulares de los dientes y dificultando la colocación correcta de la punta lectora.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

ESTUDIO 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción.

Hipótesis nula (H0):

1. No existen diferencias significativas en las propiedades ópticas y la transparencia en los incisivos centrales superiores cuando son evaluados y comparados en condiciones in vivo e in vitro.
2. El color empleado en el fondo, blanco o negro, no tiene influencia en las propiedades ópticas de los incisivos centrales superiores.

Hipótesis alternativa (H1):

1. Existen diferencias significativas en las propiedades ópticas y la transparencia en los incisivos centrales superiores cuando son evaluados en condiciones in vivo e in vitro.
2. El color empleado en el fondo, blanco o negro, tiene influencia en las propiedades ópticas de los incisivos centrales superiores.

ESTUDIO 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

Hipótesis nula (H0):

Es posible encontrar una relación entre los valores obtenidos por el análisis espectrofotométrico con el sistema visual para evaluar la integración óptica de una restauración de composite Clase IV en los dientes del sector anterior.

Hipótesis alternativa (H1):

No es posible encontrar una relación entre los valores obtenidos por el análisis espectrofotométrico con el sistema visual para evaluar la integración óptica de una restauración de composite Clase IV en los dientes del sector anterior.

4. OBJETIVOS

Objetivo principal Estudio 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción.

Investigar la integración óptica con el uso de un espectrofotómetro los valores obtenidos en la escala L* a* b* en dientes anteriores para determinar las eventuales diferencias in vivo e in vitro con fondos negro y blanco.

Objetivo principal Estudio 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

Relacionar los valores objetivos del espectrofotómetro con los valores subjetivos de la evaluación del ojo humano entre restauraciones de Clase IV de composite en dientes anteriores in vitro.

Objetivos secundarios del Estudio 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción.

1. Determinar si hay cambios en los valores CIE L* a* b* en T0 (in vivo), T1 (inmediatamente después de la extracción), T2 (1 día después de la extracción), T3 (1 semana después de la extracción), T4 (1 mes después de la extracción) con fondo blanco y fondo negro en esmalte y en el complejo esmalte-dentina.
2. Determinar el mejor momento para utilizar los dientes extraídos con fondo blanco.
3. Determinar el mejor momento para utilizar los dientes extraídos con fondo negro.
4. Observar si existen diferencias significativas entre los valores CIE L* a* b* obtenidos con fondo negro y blanco.

Objetivos secundarios Estudio 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

1- Determinar que tanto por ciento ha sido Alpha, Bravo y Charlie por los tres operadores mediante la evaluación visual en restauraciones de Clase IV.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Para conseguir los objetivos planteados, se realizaron dos estudios que serán descritos a continuación.

5.1 Estudio 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción

5.1.1 Participantes

Durante el periodo de Mayo de 2011 a mayo de 2013 se llevó a cabo este estudio in vivo e in vitro.

Se seleccionaron diez pacientes al azar tratados en el Departamento de Restauradora de la Clínica Universitaria Odontológica de la Universitat Internacional de Catalunya que por razones periodontales se tuvieron que realizar la extracción de un incisivo central superior intacto. El Comité ético de Investigación Clínica de la Universitat Internacional de Catalunya aprobó el protocolo del estudio con el código EST-ECL-2011.02NF (Anexo II).

Los pacientes dieron su consentimiento por escrito para el análisis espectrofotométrico intraoral y cuatro medidas post extracción del diente.

5.1.2. Selección de la muestra

5.1.2.1. Cálculo del tamaño muestral

Los parámetros utilizados para el cálculo muestral fueron: intervalo de confianza (IC) del 95%, 80% de potencia y una diferencia estándar de 2,5%. Para una diferencia de 3 o más grupos entre dos grupos se necesitan 10 muestras/observaciones por grupo.

5.1.2.1. Criterios de inclusión/exclusión

Sólo los pacientes con incisivos centrales superiores vitales intactos, sin malformaciones y coloraciones intrínsecas, fisuras o restauraciones se incluyeron en el estudio.

5.1.3. Variables a evaluar

El fondo utilizado para tomar el color (blanco o negro).

La zona a medir el color podía ser el esmalte o el complejo esmalte-dentina

El momento de la toma de color antes de la extracción, inmediatamente después de la extracción, un día, una semana y un mes post extracción.

5.1.4. Instrumentos de recogida de información

5.1.4.1 Mediciones espectrofotométricas:

Una imagen de reflectancia calibrada tomada con el espectrofotómetro (SpectroShade, Handy Dental Type 713000, Serial No. HDL0090, MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy) se utilizó en este estudio. (ver Figura 7).

Figura 7: imagen calibrada tomada con el espectrofotómetro (SpectroShade, Handy Dental MHT).

El dispositivo permite un posicionamiento reproducible el cual es perpendicular a la superficie facial dental para garantizar las mismas condiciones de medición para todos los dientes evaluados. El dispositivo está equipado con una fuente de luz D65 (6500°K). Esta luz está fijada a fin de que cada uno de los dientes se ilumine en un ángulo de 45°. La luz reflejada se dirige a los 0° en las áreas del sistema detector (18mm x 13 mm^2). Un detector es un chip de color CCD que genera una imagen de video a color que nos servirá para los futuros registros. El otro detector CCD registra los datos

espectrofotométricos. Filtro polarizado, es un material que modifica los rayos luminosos por medio de refracción o reflexión, de tal manera que queden incapaces de refractarse o reflejarse de nuevo en ciertas direcciones (65), se usaron para eliminar el brillo superficial del diente. Los datos se almacenaron en un formato de imagen de archivo propio que se utiliza para crear informes detallados del CIE L * a * b * de los datos los cuales utilizaremos para calcular el CIELAB 2000 (8).

5.1.4.2. Determinación del grosor del esmalte y dentina

Áreas de 2mm de esmalte puro se identificaron comparando los datos ópticos de las imágenes 3D escaneadas con el instrumento MHT eliminando el brillo superficial del diente utilizando filtros polarizados del software del propio dispositivo (imagen 2).

Un calibrador digital se utilizó para calcular las medidas CIE L*a*b* del espectrofotómetro con las imágenes con el fondo blanco y el fondo negro. En áreas de 3mm de grosor de diente que equivalen a la misma cantidad de esmalte y de dentina (66) se tomaron las medidas CIE L*a*b* con el fondo blanco y el fondo negro con la misma metodología empleada en el esmalte (Figura 8). En un diente intacto no hay dentina expuesta por tanto no se pueden tomar medidas de únicamente dentina.

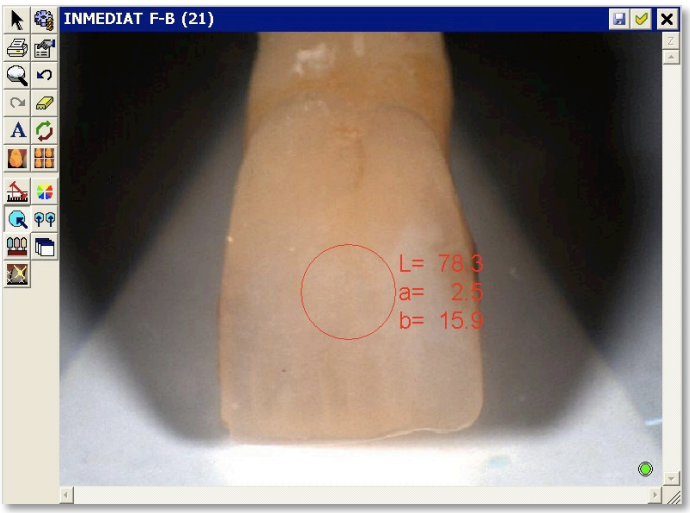

Figura 8: Visión de un incisivo central con el fondo blanco, con un valor CIELAB de 3mm de grosor de esmalte y dentina, inmediatamente después de la extracción. Obtenido con el espectrofotómetro SpectroShade, (Handy Dental MHT).

5.1.4.3. Determinación de la translucidez

La translucidez es la propiedad que tiene cualquier material o sustrato coloreado de permitir la visualización de cualquier fondo y ser mostrado a través de él (67, 68).

Las medidas CIE L*a*b* con el fondo blanco y el fondo negro se utilizaron para calcular la transparencia (TP) (Fórmula 2). Los valores de la transparencia fueron obtenidos del esmalte y del complejo esmalte-dentina. Una descripción exhaustiva de esta metodología y de la fórmula matemática empleada para calcular la transparencia utilizada en este estudio ha sido publicada en artículos previos (5, 24).

$$TP = \left[(L_B^* - L_W^*)^2 + (a_B^* - a_W^*)^2 + (b_B^* - b_W)^2 \right]^{1/2}$$

*Fórmula 2: Fórmula utilizada para calcular la transparencia con las medidas CIE L*a*b.*

5.1.5. Procedimiento clínico

5.1.5.1. Operadores

Dos alumnos cursando el segundo curso del Máster de Estética Dental de la Universitat Internacional de Catalunya fueron los encargados de tomar las medidas con el espectrofotómetro en todos los intervalos de tiempo.

5.1.5.2. Secuencia clínica

Antes de tomar las medidas con el espectrofotómetro, los dientes anteriores se limpiaron con una pasta dental 70 RDA y un cepillo de dientes (Colgate Total, Colgate-Palmolive, Thalwil, Suiza).
Cada diente se medió contra un fondo negro y un fondo blanco en los siguientes tiempos (ver Diagrama 1):

- Antes de la extracción (T0);
- Inmediatamente después de la extracción (T1);
- 1 día después de la extracción (T2);

- 1 semana después de la extracción (T3);
- 1 mes después de la extracción (T4; Diagrama 1).

Todos los dientes se guardaron en saliva artificial a 37ºC. Dos áreas de cada diente fueron seleccionadas para medir el color en los diferentes periodos de tiempo; la primera medida se tomó a 2 milímetros del borde incisal en el cual solo hay esmalte. La segunda medida se tomó a 3 milímetros del borde incisal, el cual contiene esmalte y dentina en proporciones idénticas, según Shillingburg y Grace en 1973 (66). Utilizando el espectrofotómetro se tomaron las medidas CIE L*a*b* de la superficie entera de cada incisivo central superior contra un fondo blanco y un fondo negro. Como en anteriores estudios (69) estos dos fondos (blanco (L* 96.61; a* 0.68; b* 2.56) negro (L* 0.44; a* 0.09; b* 0.13)) se colocaron detrás del incisivo central superior y se pidió al paciente que mordiera para asegurarnos que estuviera colocado en la superficie palatina (Figura 9). Entre las medidas con el espectrofotómetro se pidió al paciente que realizase enjuagues de 30 segundos con agua para evitar la deshidratación de los dientes.

Figura 9 : Aplicación clínica del SpectroShade utilizando un fondo blanco (24).

Cada diente después de la extracción se escaneó digitalmente y el software del dispositivo obtuvo una reconstrucción 3D del grosor del esmalte y dentina (Figura 10). Los valores CIE L*a*b* de puro esmalte y del complejo esmalte-dentina se calcularon con el fondo blanco y el negro para conseguir la translucidez siguiendo la fórmula mostrada en la fórmula 2.

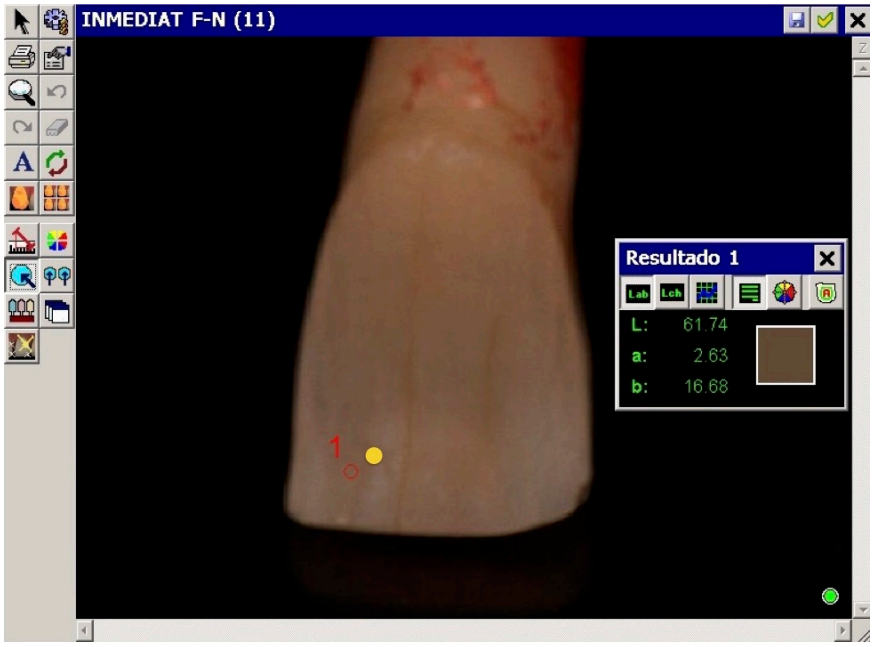

Figura 10: Incisivo central utilizando un fondo negro inmediatamente después de la extracción, mostrando los valores de la Commission Internationales d'Eclairage: L a* b* del punto rojo que representa 2mm de puro esmalte y el punto amarillo representa los 3mm del complejo esmalte-dentina medido con el espectrofotómetro (SpectroShade, Handy Dental Type 713000, Serial No. HDL0090; MHT, Arbizzano de Negar,Verona,Italia).*

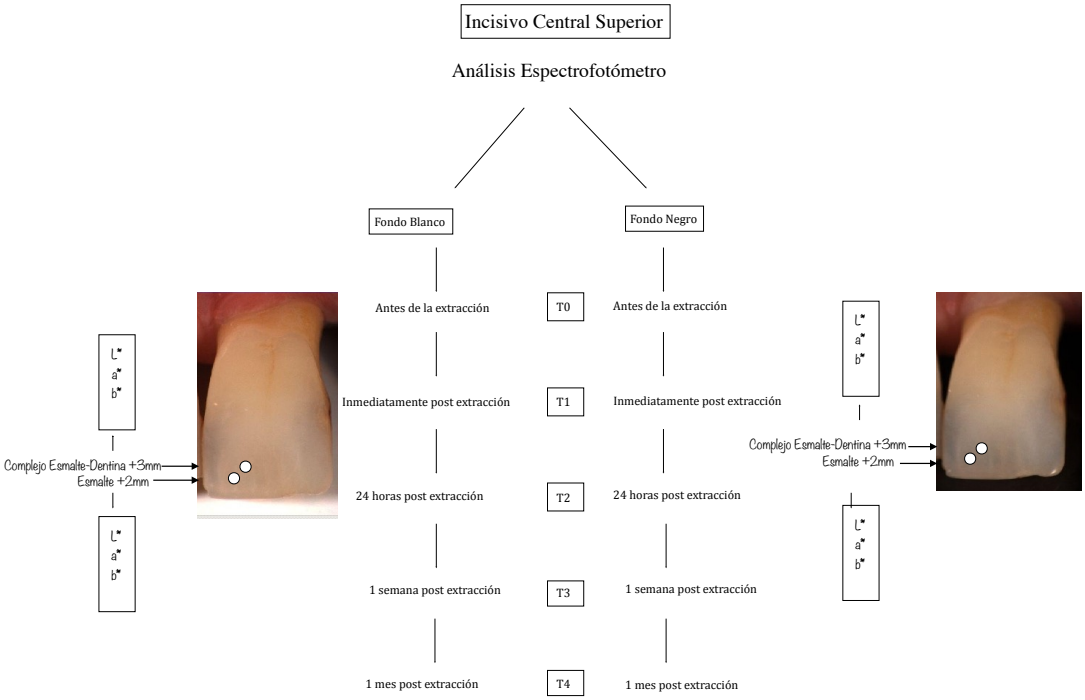

Diagrama 1: Procedimiento utilizado en el Estudio 1.

5.1.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, la distribución normal de los valores fueron evaluados con el test Shapiro-Wilk con un p valor > 0.05. Al obtener unos valores de tiempo y fondo de distribución normal, se evaluó con el sistema ANOVA de medidas repetidas y utilizamos el Statgraphics (Warrenton, Virginia, United States) para obtener la media y la desviación estándar. Hubiéramos utilizado la mediana si la distribución no hubiera sido normal.

5.2 Estudio 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

5.2.1 Participantes

Durante el periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2013 se llevó a cabo este estudio in vitro.

5.2.2. Selección de la muestra

En este estudio in vitro se seleccionaron 100 dientes permanentes anteriores extraídos.

5.2.2.1. Cálculo del tamaño muestral

Para detectar una correlación de 0,3 ó superior entre el espectrofotómetro y el ojo humano en la variable tiempo entre dos grupos con un alfa igual a 0,05 y una potencia del 80% se necesitaron 100 muestras/observaciones.

5.2.2.1. Criterios de inclusión/exclusión

Sólo 100 incisivos centrales intactos, sin malformaciones, coloraciones intrínsecas, fisuras o restauraciones se incluyeron en este estudio in vitro.

5.2.3. Procedimiento de laboratorio

5.2.3.1. Operadores

Dos alumnos previamente calibrados para este estudio cursando el segundo curso del Máster de Estética Dental de la Universitat Internacional de Catalunya fueron seleccionados como operadores.

5.2.3.2. Secuencia laboratorio

Los 100 dientes escogidos se almacenaron en saliva artificial para mantenerlos hidratados. De cada diente se obtuvo una impresión de silicona. Se realizó una preparación Clase IV con una terminación tipo un chamfer con una fresa redonda y se pulió con unas fresas de silicona (Figura 11). Se utilizó el sistema adhesivo Ena Bond Etch (Micerium, Avengo, Italia) y con la ayuda de las llaves de silicona conseguidas a

partir de la impresión de silicona, se preparó la pared palatina con el composite de esmalte (HRI, Micerium Avengo, Italy). A continuación se agregaron dos o tres capas de dentina estratificada de la misma casa comercial, según el tamaño a restaurar, y se finalizó con una capa de esmalte (7). Cada restauración se pulió con pastas de diamante y óxido de aluminio siguiendo las indicaciones del fabricante. Posteriormente los dientes se guardaron en saliva artificial a 5ºC durante 48 horas. Se efectuó un análisis espectrofotométrico y fotográfico de los dientes antes de la restauración y a las 48 horas de ser restaurados, en concordancia al método propuesto por Ardu y colaboradores (4), en el cual hicieron un estudio similar pero utilizaron la fórmula tradicional del CIELAB.

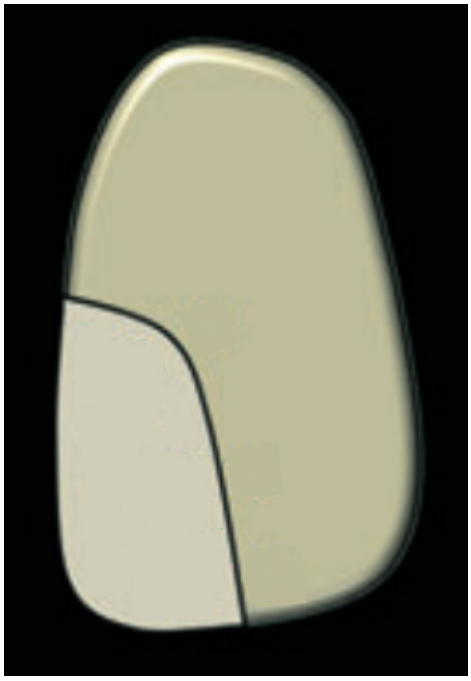

Figura 11: donde se observa una restauración realizada.

5.2.4. Instrumentos de recogida de información

Como el objetivo de este estudio es relacionar los valores del espectrofotómetro con el ojo humano, la recogidas de esta información se realizaron mediante un espectrofotómetro y el método visual tradicional. A continuación explicaremos como se efectúa la recogida de información con el espectrofotómetro.

5.2.4.1 Mediciones espectrofotométricas:

Para este estudio se utilizó un análisis espectrofotométrico, usando un espectrofotómetro de reflectancia calibrada (SpectroShade, tipo de Handy Dental 713000, No. de serie HDL0090, MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italia). La metodología utilizada fue la misma que la del Estudio 1 pero utilizando solamente el fondo negro ya que en previos estudios se ha demostrado que la utilización de dicho fondo es lo más parecido a la situación in vivo (70).

Con el uso de este dispositivo, se obtuvieron dos medidas del L * a * b * de toda la superficie vestibular del diente natural, una previa a la restauración (L1, a1, b1) y la segunda a la semana (L2, a2, b2).

Antes de cada medición, los dientes se limpiaron con una pasta de profilaxis (Nupro®, Dentsply, York, USA). Se tuvo sumo cuidado de no deshidratar los dientes antes de cada medición para evitar cambios en las características ópticas del diente (croma, brillo, translucidez y opalescencia) debido a un cambio en la humedad de la superficie del esmalte (4) (Figura 12).

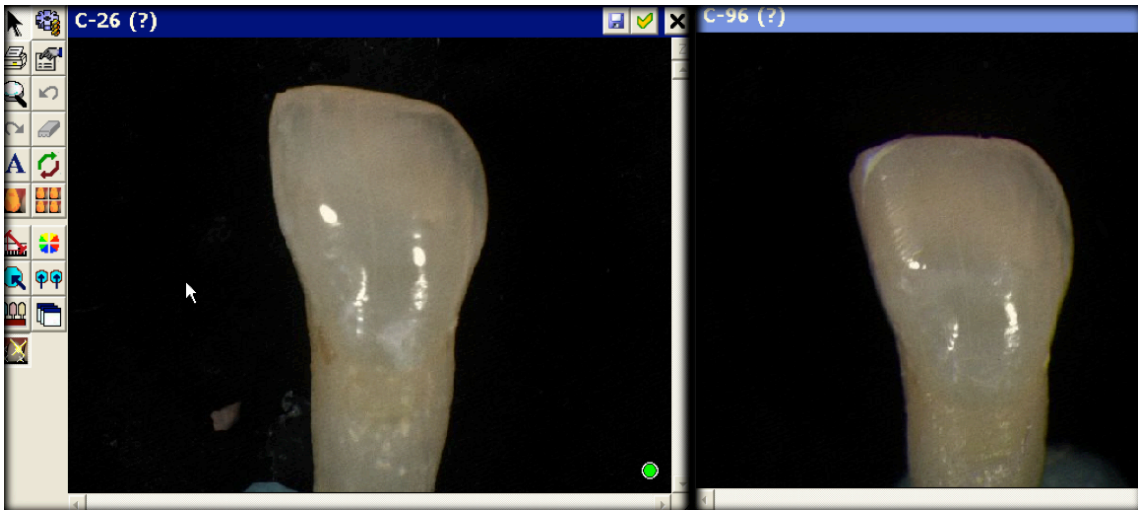

Figura 12: imagen del espectrofotómetro del diente antes de la restauración (izquierda) y otra con la restauración realizada (derecha).

5.2.4.2 Mediciones con el ojo humano

Se realizaron dos fotografías digitales (D90, Nikon, Miyagi, Japón) al diente con un objetivo macro (105mm Macro, Sigma, Japón), un flash macro (EM140D flash, Nikon, Miyagi, Japón) y con un fondo negro la primera antes de la restauración Clase IV, y la segunda a la semana, también con sumo cuidado de no deshidratar los dientes tal como se ha explicado previamente (4).

Tres observadores con más de 10 años de experiencia y especialistas en estética dental realizaron el análisis óptico cualitativo siguiendo el criterio de Hickel, el cual fue aprobado en el proyecto 2/98 de la Federación Dental Internacional (FDI), donde daban los criterios para evaluar las restauraciones directas o indirectas (71).

Las fotografías inicial y la final se mostraron en un ordenador de alta resolución a los observadores (Figura 13). Éstos compararon los resultados estéticos alcanzados de las 100 restauraciones Clases IV y se clasificaron como Alpha (color óptimo), Bravo (color aceptable) y Charlie (color inaceptable).

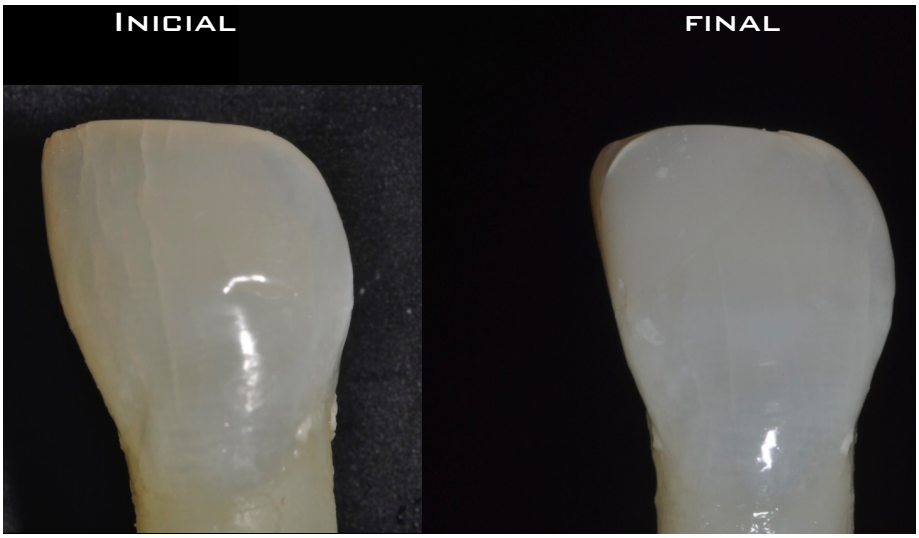

Figura 13: se observa dos fotografías digitales realizadas con la cámara Nikon D90 con el objetivo macro 105mm y con un flash macro, del antes y el después de una restauración Clase IV.

5.2.6. Análisis estadístico

Utilizando el software de análisis de imágenes MHT (SpectroShade, Dental software versión 2.41, MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy) se obtuvieron los valores L* a* b* y se calcularon las diferencias de color entre las superficies integradas con el diente inicial para obtener el CIELab00 (Fórmula 3). Se calcularon para ver la integración de la restauración a nivel cuantitativo y poder relacionarlos con los valores obtenidos con el ojo humano.

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{1/2}$$

Fórmula 3: Fórmula utilizada para calcular el CIELab00 l con las medidas L a* b*.*

Para relacionar los valores obtenidos con el ojo humano y los del espectrofotómetro se utilizó el test Kernel Density Plot.

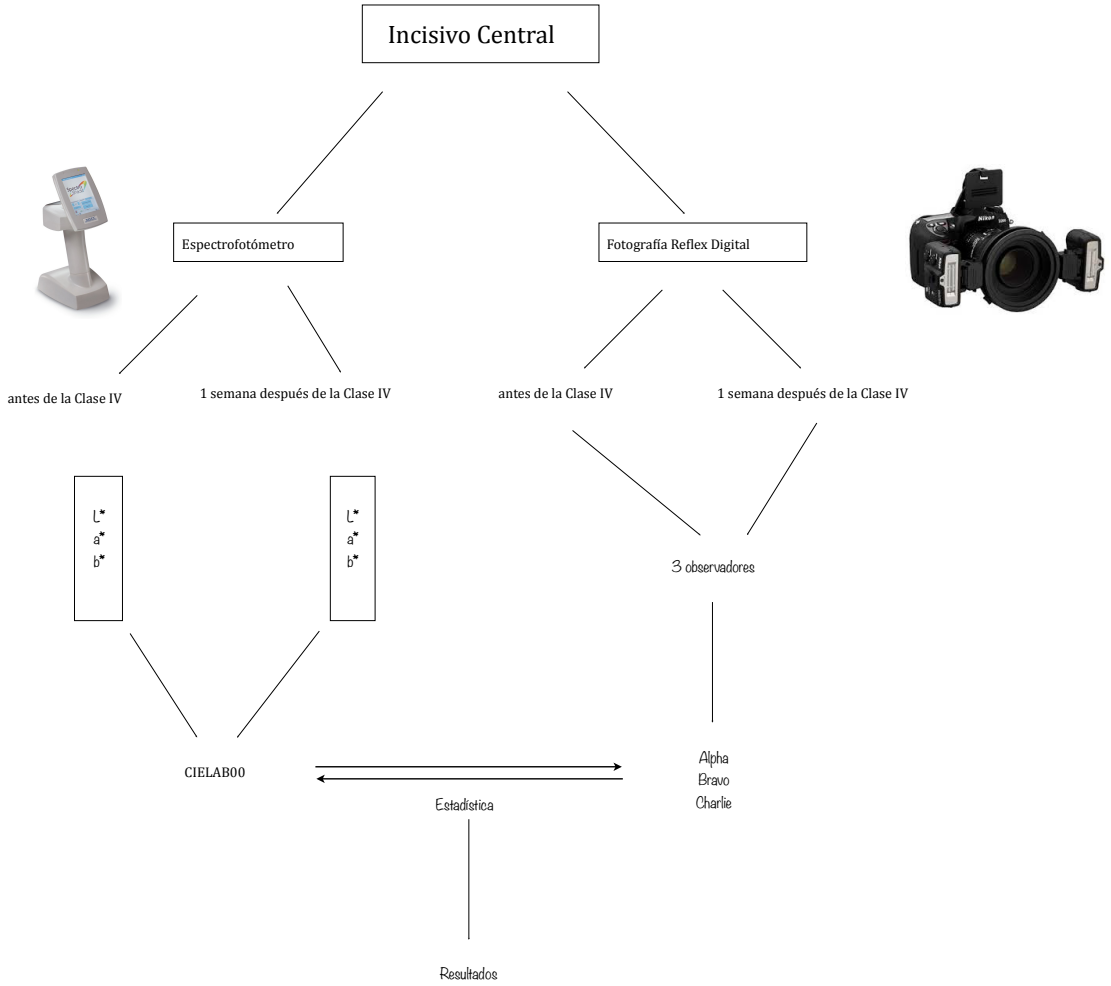

Diagrama 2: Procedimiento utilizado en el Estudio 2.

6. RESULTADOS

6.1. Estudio 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción.

La media y la desviación estándar de los valores L* a* b* utilizando el fondo blanco y el fondo negro analizados con el ANOVA de medidas repetidas los tenemos representados en la Tabla 2. Se detectaron diferencias significativas (p>0,05) entre los grupos cuando se realizó el test de ANOVA de medidas repetidas. Para conocer entre que grupos habían diferencias se utilizó una comparación múltiple mediante el método de Bonferroni.

En la Tabla 3 se observa una completa representación de las distribuciones.

6.1.1 Esmalte puro

6.1.1.1 Fondo blanco

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) en b*2mm entre T1-T2, T1-T3 y T2-T4.

6.1.1.2 Fondo negro

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) en L*2mm entre T0-T4, T1-T3, T1-T4 y T2-T4. Para a*2mm entre T0-T1, T0-T2, T0-T3 y T0-T4. Para b*2mm entre T0-T1, T0-T3, T0-T4.

6.1.1.3 Transparencia

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) entre T0-T3 y T0-T4.

6.1.1.4 Comparación entre Fondo blanco y Fondo negro

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) en L* a* b*.

	TIEMPO	ESMALTE								
		L +2mm			a +2mm			b +2mm		
		Media	SD	HG	Media	SD	HG	Media	SD	HG
FONDO BLANCO	T0	66.71	4.99	A	5.11	1.33	A	20.44	4.49	ABC
	T1	67.77	5.40	A	5.00	1.62	A	19.60	4.26	A
	T2	67.04	4.95	A	4.93	1.58	A	21.75	3.95	C
	T3	66.67	4.83	A	4.93	1.58	A	21.58	4.20	BC
	T4	67.09	5.09	A	4.63	1.66	A	20.35	4.19	AB
FONDO NEGRO	T0	63.26	4.14	BC	4.04	2.05	B	17.79	5.11	B
	T1	64.50	4.57	C	3.00	1.38	A	15.38	5.22	A
	T2	63.39	4.21	BC	2.96	1.36	A	16.40	5.11	AB
	T3	62.32	3.34	AB	2.91	1.26	A	16.30	4.26	A
	T4	61.23	3.83	A	2.68	1.27	A	16.11	4.10	A
		TP +2mm								
		Mean	SD	HG						
TRANSPARENCIA	T0	5.41	3.00	A						
	T1	6.14	2.11	AB						
	T2	7.03	7.59	AB						
	T3	7.70	2.12	B						
	T4	7.73	6.84	B						

Tabla 1: se muestran los valores de la media, desviación estándar y el grupo homogéneos del esmalte de la transparencia, del fondo blanco y del fondo negro antes de la extracción (T0), inmediatamente después de la extracción (T1), 1 hora después (T3) y al cabo de un mes (T4).

6.1.2 Complejo esmalte-dentina

6.1.2.1 Fondo blanco

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) en b*3mm entre T1-T2 y entre T1-T3.

6.1.2.2 Fondo negro

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) en L*3mm entre T1-T3 y entre T1-T4. Para a*3mm tenemos entre T0-T1, T0-T2, T0-T3 y entre T0-T4. Para b*3mm entre T0-T1, T0-T2, T0-T3, T0-T4, T1-T2, T1-T3 y T1-T4.

6.1.2.3 Transparencia

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) entre T0-T2 y entre T0-T3.

6.1.2.4 Comparación entre Fondo blanco y Fondo negro

Existen diferencias estadísticamente significativas (p>0.05) en a* b*.

	TIEMPO	ESMALTE + DENTINA								
		L +3mm			a +3mm			b +3mm		
		Media	SD	HG	Media	SD	HG	Media	SD	HG
FONDO BLANCO	T0	66.52	5.19	A	5.16	1.47	A	21.58	5.58	AB
	T1	67.17	5.88	A	5.21	1.56	A	20.16	5.42	A
	T2	66.62	5.32	A	4.82	1.41	A	22.78	5.27	B
	T3	66.14	5.35	A	4.90	1.57	A	22.80	5.52	B
	T4	67.07	4.59	A	4.64	1.58	A	21.15	4.97	AB
FONDO NEGRO	T0	63.78	4.59	AB	4.31	1.83	B	19.57	6.13	C
	T1	65.06	4.70	B	3.08	1.21	A	15.77	4.73	A
	T2	63.69	4.07	AB	3.09	1.35	A	17.46	5.65	B
	T3	62.75	3.78	A	3.10	1.27	A	17.65	4.88	B
	T4	62.29	3.88	A	2.94	1.37	A	17.64	5.62	B
		TP +3mm								
		Mean	SD	HG						
TRANSPARENCIA	T0	4.83	2.21	A						
	T1	5.61	2.03	AB						
	T2	6.59	1.86	AB						
	T3	6.79	2.26	B						
	T4	6.47	2.13	B						

Tabla 2: se muestran los valores de la media, desviación estándar y el grupo homogéneos del complejo esmalte-dentina de la transparencia, del fondo blanco y del fondo negro antes de la extracción (T0), inmediatamente después de la extracción (T1), 1 hora (T3) y al cabo de un mes (T4).

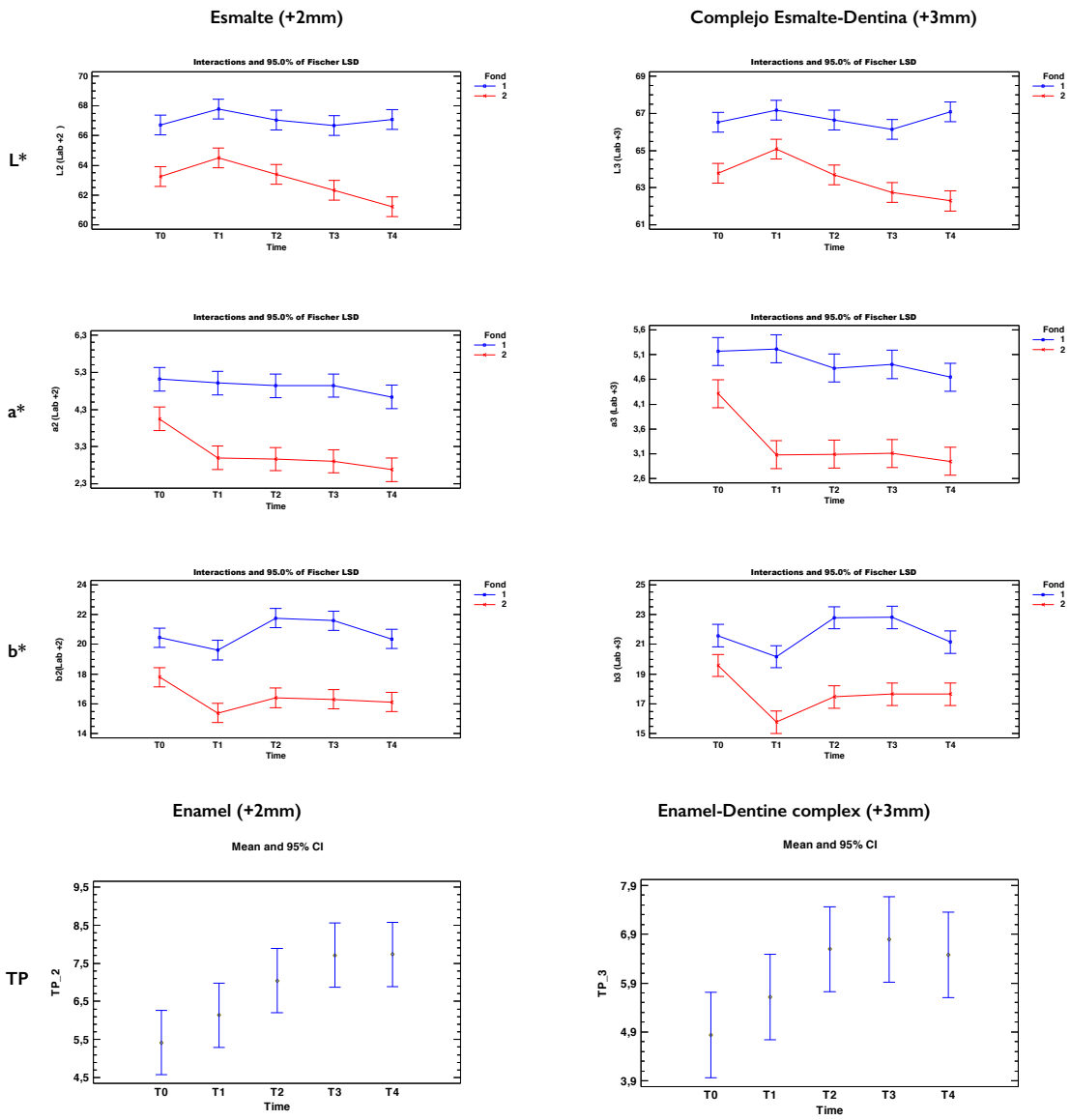

Figura 14: L a* b* y Transparencia (TP) para esmalte (+2mm) y complejo esmalte-dentina (+3mm) antes de la extracción (T0), inmediatamente después de la extracción (T1), 24 horas (T2), 1 semana (T3) y 1mes después de la extracción (T4) contra un fondo blanco (F1) y contra un fondo negro (F2).*

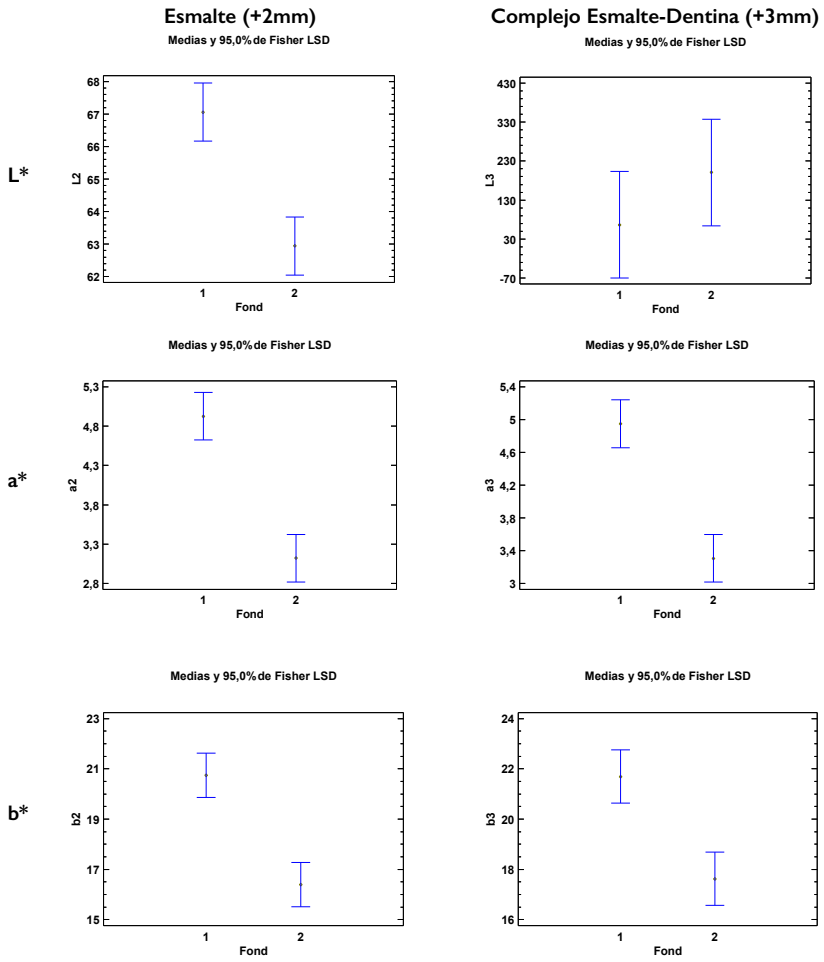

Figura 15 : Comparación del L a* b* entre el Fondo Blanco (1) y el Fondo Negro (2) en esmalte (+2mm) y en el complejo esmalte-dentina (+3mm).*

6.2. Estudio 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

Los resultados a nivel cualitativo de las 300 evaluaciones visuales de la integración de las restauraciones de composite de las Clases IV de los tres observadores, utilizando las fotografías del antes y el después fueron de un 16% para Alpha, un 58,33% fueron Bravo y un 25,67% para Charlie (Figura 16). El observador 1 evaluó como 16% como Alpha, 59% como Bravo y 25% como Charlie. Mientras que el observador 2; 14% como Alpha, 66% como Bravo y 20% como Charlie. Finalmente el observador 3; 18% como Alpha, 50% como Bravo y 32% como Charlie. En anexos salen las gráficas de los resultados separados por los tres observadores (Figura 22 y Figura 23).

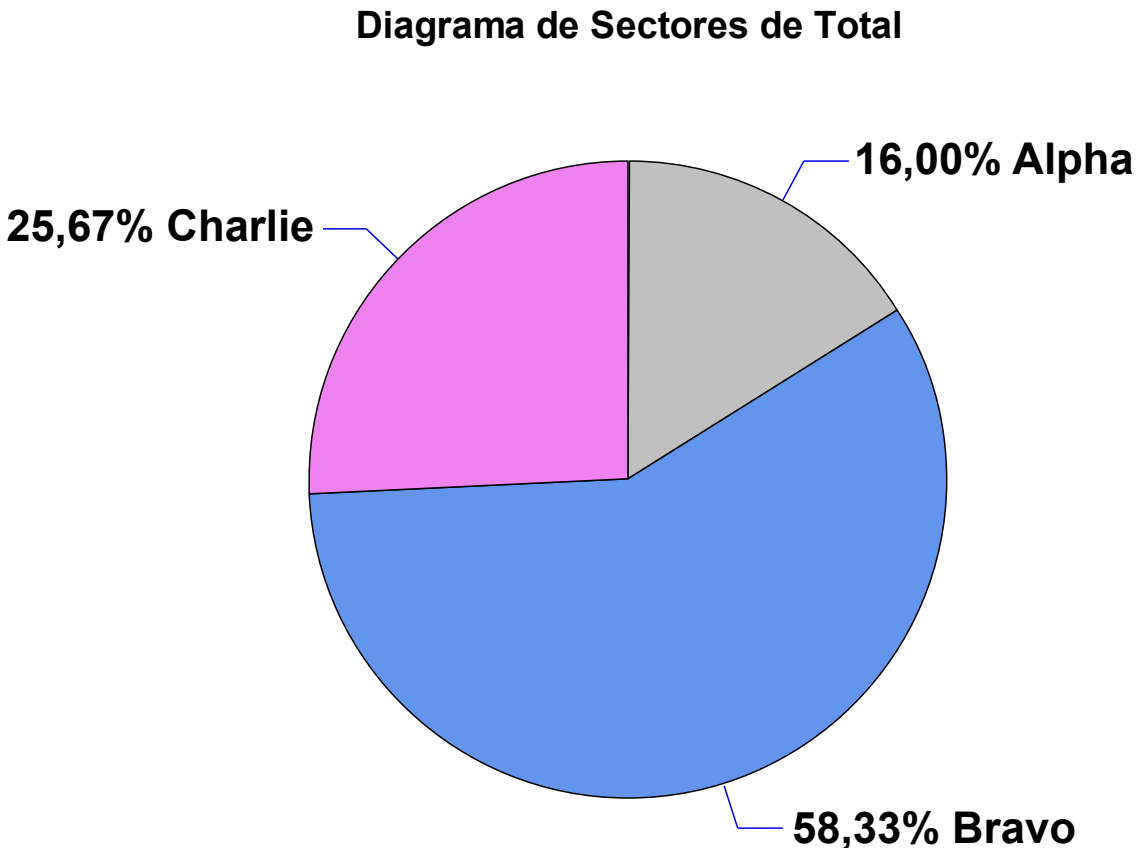

Figura 16: se muestra en tanto por ciento los resultados de los tres observadores de las 100 restauraciones.

Los resultados a nivel cuantitativo de las 100 mediciones del L* a* b*, conseguidas con el espectrofotómetro, del diente intacto y del diente restaurado con las Clases IV se emplearon para conseguir un valor numérico que es el CIELAB00, donde salen reflejadas en la figura número 24 en el anexo.

Para relacionar los resultados cuantitativos (máquina) con los cualitativos (ojo humano) se utilizó el kendel density plots con un Bandwidth = 0,25 con un quality outcome, con el cual obtenemos (Figura 17):

CIELAB00 1,27 = Alpha

CIELAB00 1,88 = Bravo

CIELAB00 3,53 = Charlie

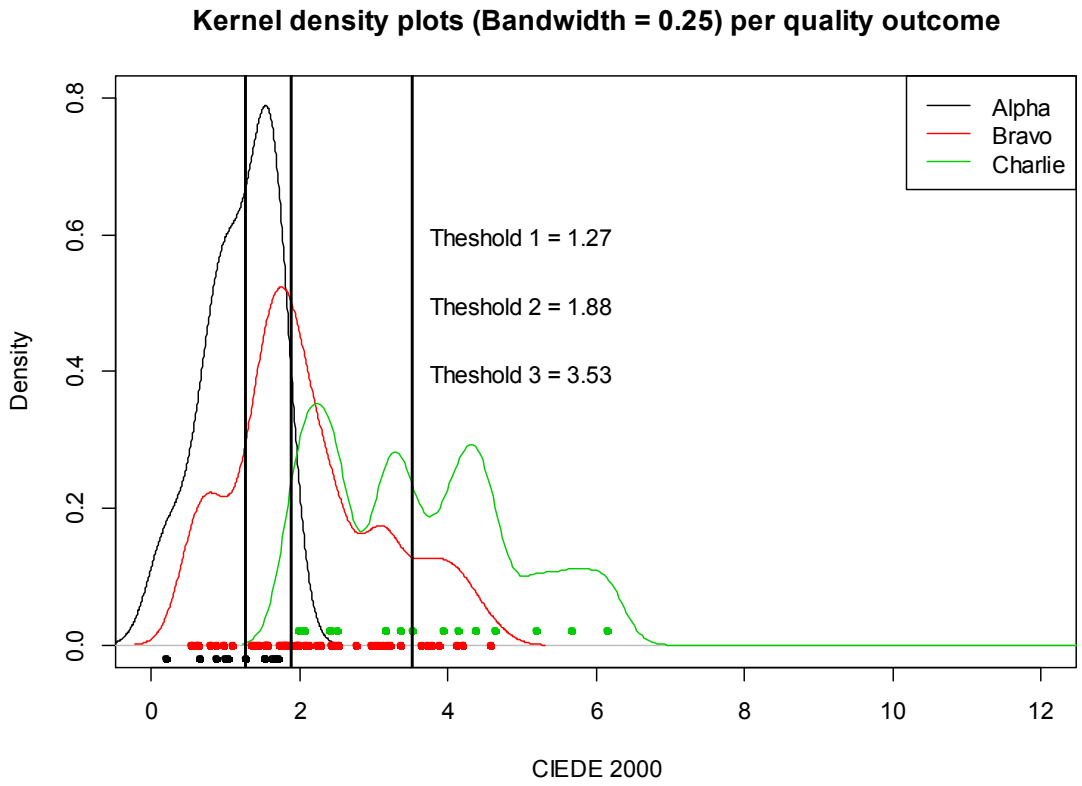

Figura 17: nos muestra en una gráfica los valores en color negro el Alpha, en rojo el Bravo y en verde el Charlie junto al CIEDE 2000 con la estadística de Kernel.

7. DISCUSIÓN

El espectrofotómetro se utilizó en estos estudios al considerarse el "gold standard" en la toma de color dental (8, 72-74). Este instrumento toma en cuenta todos los factores que pueden influir en el aspecto estético del diente, tal como la pulpa y la encía, que pueden afectar significativamente la percepción del color. Previas observaciones realizadas con el ojo humano o técnicas convencionales, los espectrofotómetros fueron un 33% más precisos en obtener con un 93% de acierto objetivo en el total de los casos estudiados (15, 19). Por tanto, en este estudio se comparó la situación in vivo con la de in vitro para confirmar si la vitalidad de la pulpa dental tenía influencia en las propiedades ópticas del diente con el fin de validar los estudios in vitro y para conocer cuál era el mejor momento para utilizar los dientes en un estudio in vitro después de la extracción (véase el momento donde el color se estabiliza). Los colorímetros tienen una gran repetibilidad en las medidas, pero son menos precisos y están sujetos a errores sistemáticos causados por la dificultad de captar la superficie convexa de la muestra y no registrar la reflectancia espectrofotométrica, mientras que los espectrofotómetros, aunque sean difíciles de utilizar in vivo, miden el color desde los datos de la reflectancia o transmisión (15, 44).

Un diagnóstico correcto de la causa de la decoloración dental es indispensable porque puede afectar de forma profunda el tratamiento a realizar (50). Los dentistas deben tener un profundo conocimiento de las diferentes etiologías de la decoloración dental para así, poder realizar un adecuado diagnóstico que les permita planificar un tratamiento correcto (47). Cabe recordar que el color dental viene determinado por las propiedades ópticas de la luz (75).

En este estudio, acorde a dicha clasificación, no ha habido una causa extrínseca (ver criterios de inclusión en la metodología) de decoloración, y como todos los dientes eran vitales la extracción dental ha sido la única posible causa intrínseca de la decoloración dental (ver diagrama 3).

Decoloración intrínseca Local causado por una hemorragia intrapulpar

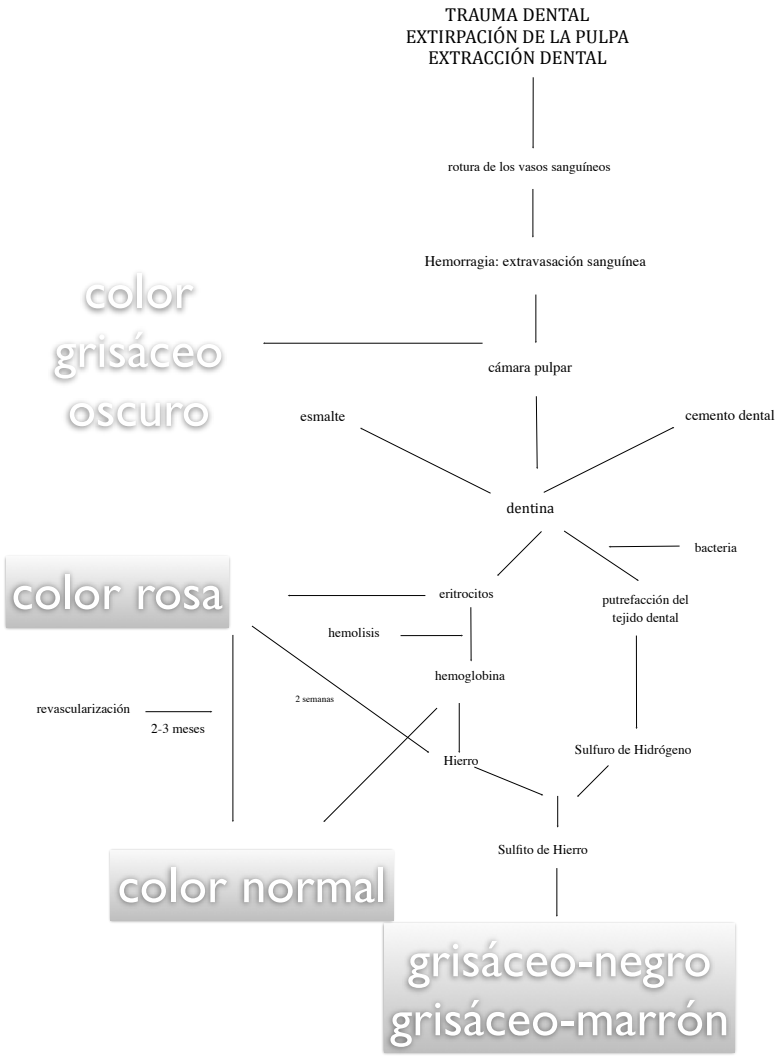

Diagrama 3: decoloración local intrínseca causada por una hemorragia intrapulpar.

En nuestro primer estudio no solo se evaluó el efecto de la pulpa vital, sino como influye el entorno en el cual se encuentra el diente ya sea in vivo o in vitro y como puede afectar al color y a la apariencia del diente después de la extracción, por todo ello, que estudiamos los valores L* a* b* y la transparencia in vitro. No conocemos estudios previos sobre los cambios de las propiedades ópticas del esmalte y el complejo esmalte-dentina antes y después de la extracción y en que momento se estabiliza el color de un diente extraído. Clínicamente no se puede analizar de una forma separada el

mismo grosor de esmalte y de dentina, ya que en un diente intacto es imposible encontrar dentina expuesta (68). Es por esta razón, que la mayoría de los estudios in vivo e in vitro están realizados combinando ambos tejidos (76). Acorde a otros estudios (5, 66), los valores de L* a* b* y de transparencia de 2mm de esmalte y de 3mm del complejo esmalte-dentina han sido calculados para poder estudiar todos los componentes del color.

Buscamos el mejor momento en el cual se puede utilizar un diente in vitro, aquel momento será en el que no haya variedad del color y presente una estabilización del color para poder utilizarlo. Esto por ejemplo sería de gran utilidad en aquellos estudios donde queremos observar los cambios de color de una restauración de composite y su integración con el diente a lo largo del tiempo. Es de suma importancia porque si queremos hacer un estudio cuantitativo in vitro y realizamos dos mediciones del L* a* b* de un diente, la primera al realizar una restauración composite y la segunda al cabo de un mes y aparece una diferencia en el color en el antes y después no sabremos si es causada por un cambio de color del propio diente o de la restauración de composite. Por tanto, la integración óptica de la restauración al diente puede verse afectada o por un cambio del L* a* b* del diente o de las propiedades de la composición del composite que no es estable en el tiempo. Por tanto es fundamental conocer en qué momento se estabiliza el color del diente después de la extracción dental para poder realizar estudios in vitro y evitar malinterpretaciones de los resultados.

La influencia de la utilización de fondos en la toma de color en dientes naturales ha sido estudiado in vivo en estudios previos (70). Hay estudios donde dicen que el fondo utilizado no influye en la percepción del color (77), otros que influye poco (78) y en la mayoría de estudios en los cuales aseguran que afecta mucho (79-81) pero nunca han alcanzado un consenso aclarando cual es el fondo ideal para estudiar in vitro. En nuestro estudio el fondo negro dio discrepancias con el fondo blanco y esto corrobora con el estudio del Dr. Stefano Ardu (70) en el cual estudió in vivo la influencia de distintos fondos; negro, blanco y gris y los comparó con las imágenes tomadas sin ningún tipo de fondo ya que él consideró que estas imágenes simulan más la situación clínica. En dicho estudio llegaron a la conclusión que el fondo negro era la que mejor simulaba la situación clínica y aconsejaron no utilizar el fondo blanco en las tomas de color in vivo.

En la mayoría de estudios de color de los materiales dentales están realizados en el laboratorio, por lo tanto, es de suma importancia determinar que fondo corresponde mejor a la situación intraoral para buscar el mejor entorno de laboratorio.
En nuestro primer estudio analizamos in vivo y in vitro el fondo a utilizar pero no se pudo realizar las tomas de color con el espectrofotómetro sin fondo, ya que en la parte in vitro es imposible de simular las condiciones del diente en boca.
No ha habido estudios donde evaluasen las propiedades ópticas del mismo diente in vivo y en vitro con fondo blanco y fondo negro. Nuestro estudio corroboran que hay diferencias significativas entre el fondo negro y el fondo blanco en los valores in vivo pero paradójicamente cuando se hace los estudios in vitro el fondo blanco se asemeja más a la realidad clínica del color inicial del incisivo. Según nuestros resultados, siempre que queramos conservar el color original del diente, el fondo a utilizar en un estudio in vitro es el blanco y en un estudio in vivo el fondo negro sería el fondo a utilizar. El fondo negro se podría utilizar en estudios in vitro pero pasada 1 semana después de la extracción ya que es el momento donde se estabiliza el color del diente extraído.

En estudios in vitro, podríamos recomendar utilizar el fondo blanco para el esmalte en cualquier periodo de tiempo porque la variación entre valores del L* a* b* al cabo del tiempo es poca. El fondo negro lo podríamos recomendar cuando el diente lleva una semana fuera de boca porque es donde encuentra la estabilidad del color como se puede observar en la figura 14, pero no será el color original del diente. Sería interesante realizar unas mediciones del L* a* b* al cabo de 6 meses y un año para asegurarnos de que no exista más variación de las propiedades ópticas del diente. De todas maneras entre los valores obtenidos al cabo de una semana de la extracción y al mes de ésta apenas hubieron cambios en el color.

En la luminosidad en esmalte y en el complejo esmalte-dentina podríamos recomendar utilizar el fondo blanco porque la variación entre valores del L* al cabo del tiempo es poca. El fondo negro no lo podríamos recomendar porque existe variación de la L* al cabo del tiempo, excepto si utilizamos el diente a las 24 horas de ser extraído donde tiene valores muy similares al in vivo. Estos datos son de importancia si queremos estudiar composites específicos de esmalte.

El L* a* b* del esmalte utilizando el fondo blanco es más estable en T0-T4 donde no hay diferencias significativas (p<0,05). Mientras que utilizando el fondo negro sí que hay diferencias significativas (p>0,05) con la luminosidad (2,02), con la a* (1,36) y con la b* (1,67). Si queremos estudiar el color original del esmalte con materiales restauradores como el composite o la cerámica, posiblemente deberíamos utilizar el fondo blanco en lugar del fondo negro porque su color es más cercano al del in vivo. A la semana post-extracción (T3) los valores L* a* b* se estabilizan con el fondo negro, por tanto, serían dientes aptos para ser estudiados in vitro, aunque no tendrán el color natural del diente in vivo pero sí un color estable al menos hasta el primer mes de la extracción según nuestro estudio. Con la transparencia obtenemos diferencias significativas (p>0,05) en T0-T4 (2,32), este dato es importante porque existen composites en el mercado específicos de esmalte y si los productores estudian sus materiales con dientes extraídos, probablemente encontraran errores en la transparencia de dichos materiales.

El L* a* b* del complejo esmalte-dentina utilizando el fondo blanco es más estable en T0-T4 donde no se han encontrado diferencias significativas (p<0,05). Por el otro lado, utilizando el fondo negro sí que han habido diferencias significativas (p>0,05) en T0-T4 en la a* (1,36) y con la b* (1,92), mientras que con la L* no se han encontrado. A partir de la semana de la extracción (T3) los valores L* a* b* se estabilizan con el fondo negro, aunque no tienen el color original del diente in vivo, se podrían utilizar dichos dientes extraídos para estudios in vitro.
Los resultados utilizando el fondo blanco en el presente estudio han sido menos variables que al utilizar el fondo negro.

Hemos calculado la transparencia ya que con esta fórmula se tiene en consideración la cantidad de a* y de b* mientras que en la fórmula de la opacidad no se tiene en cuenta. Hemos observado un incremento de la transparencia en los 2mm de puro esmalte y en los 3mm del complejo esmalte-dentina en el tiempo estudiado. Un fenómeno producido probablemente por la deshidratación de la pulpa dental. La razón por la cual la translucidez se estabiliza una hora después de la extracción, mientras no hay diferencias entre el in vivo y el in vitro, puede ser que la dentina es más opaca y es la que determina

el color del diente. Estos hallazgos de la transparencia deben ser considerados con precaución, porque pequeños errores midiendo el grosor de áreas dentales específicas podrían interferir en el resultado final.

En el esmalte y en el complejo esmalte-dentina el valor del color amarillo del b* cae enseguida causado por la extracción, pero a la hora se recupera sutilmente pero nunca a su valor original. Este dato ocurre utilizando los dos fondos, puede ser por el resultado del Sulfato de Hierro. También en el fondo negro es probable causado porque los colores amarillo y blanco son muy similares porque no ha habido diferencias significativas ($p>0,05$) para los valores de a* y L*.

Hemos observado que el incremento de la translucidez durante el tiempo pueda ser ocasionado por la deshidratación de la pulpa, pero diferencias significativas ($p>0,05$) solo se encontraron en el esmalte. El esmalte es más translucido y el color juega un menor papel por la dispersión longitudinal en el rango azul. La translucidez es la relativa cantidad de luz que atraviesa un material (82). Por lo consiguiente, el grosor del material translúcido influirá de una manera significativa al color definitivo independientemente del fondo utilizado. Los valores de reflectancia de los fondos tendrán un efecto en los colores calculados, porque el color del fondo y la continuidad óptica entre el material translúcido y el fondo afectará el color translúcido del material en el fondo (67, 68).

Si tenemos dientes extraídos pero que no sabemos cuando fueron extraídos de boca y nos interesa "saber" el color original, el fondo blanco es el que se mantiene más estable las medidas L* a* b* desde el mismo momento de la extracción, pero según nuestros resultados a partir de la semana si que podemos utilizar el fondo negro porque L* a* b* se estabiliza. Por lo tanto, si vamos a realizar un estudio de composite solo in vitro y tenemos un diente que lleva más de una semana fuera de boca, vamos a tomar el color con el espectrofotómetro con el fondo negro porque es el fondo más ideal para estudiar las propiedades ópticas del diente y del composite, ya que es el que tiene las propiedades ópticas más similares al in vivo.

En nuestro segundo estudio se utilizó el fondo negro porque los dientes empleados tenían más de un mes fuera de boca y según nuestros resultados del primer estudio, con el fondo negro se obtuvieron valores estables al cabo de la primera semana post

extracción. También porque como hemos comentado anteriormente en otros estudios corroboran que hay que utilizar el fondo negro en estudios in vitro (70) y en restauraciones de composite Clase IV (83). En el segundo estudio no se evaluaron fondos.

El objetivo del segundo estudio, era relacionar valores objetivos (espectrofotómetro), con valores subjetivos (ojo humano), pero resulta que los valores obtenidos por los tres evaluadores son muy subjetivos y existe una ligera discrepancia entre ellos. Esto corrobora otros estudios anteriores donde se ha observado que los valores del espectrofotómetro son más fiables y objetivos (59) que los conseguidos por el ojo humano en medir el color. Una forma ideal sería aumentar mucho el número de observadores, porque cuantos más operadores tengamos la variable operador disminuye, por tanto, los valores observados que relacionan los conseguidos entre los observadores y el espectrofotómetro podrían haber variado ligeramente si en vez de tres operadores el número hubiese sido mayor. Este estudio demuestra que realmente es muy difícil relacionar valores subjetivos con valores objetivos y que hemos empezado la senda de este camino.

Otra limitación de los valores subjetivos entre los tres operadores en este estudio es que la evaluación óptica de la restauración Clase IV se realizó una vez y que si se repitiese la evaluación podrían volver a variar ligeramente su apreciación de la restauración. Según como se ha visto en varios estudios (21) el valor de la máquina es constante a lo largo del tiempo, por tanto, es mucho más objetivo. Ya está en marcha un estudio donde vamos a realizar las mediciones subjetivas con más evaluadores y con una segunda medición al cabo del mes. También somos conscientes de que el porcentaje de personas que tengan una titulación de Máster de Estética no es elevado, por lo tanto, es importante realizar el estudio con profesionales dentro de la profesión de la odontología y sobretodo, con las personas a las cuales va encaminado nuestro trabajo que es la gente sin conocimientos sobre la estética dental ya que valores considerados estéticamente no aceptables por un dentista podría ser aceptable para un paciente.

Los parámetros donde es perceptible o aceptable las diferencias de color en restauraciones estéticas varía. Hay algunos autores donde aseguran que existe

correlación entre el ojo humano y el espectrofotómetro (84-86), otros argumentan que posiblemente exista una pequeña correlación (17, 87) y otros autores que han fracasado en encontrar dicha correlación (51, 88-90). Hay algún autor que concluye que la luminosidad es donde más coincide entre el observador y el espectrofotómetro mientras que el croma y el tono no coinciden en absoluto (9). Por tanto, este estudio tiene posibles limitaciones metodológicas como el número de observadores, donde sólo se realizó una sola medición a lo largo del tiempo y demasiada especialización en los observadores.

Los dientes Alpha no se puede ver prácticamente ninguna diferencia y la restauración parece real. En los incisivos Bravo se percibe un poco artificial pero clínicamente está bien y no hace falta cambiarla. En los dientes Charlie, hay una diferencia que se puede ver y no está aceptable clínicamente, así que normalmente, con una diferencia tan grande se haría otra vez la reconstrucción.

Relacionando los resultados cualitativos de los observadores con el espectrofotómetro los dientes Alpha tenían un valor de 1,27 del CIELAB 2000, el Bravo de 1,88 y el Delta 3,53. Estos valores del DELTAE00 donde nos indican si una restauración de composite es estética o no, tiene una gran importancia para realizar estudios in vitro de restauraciones estéticas de composite para saber si las propiedades ópticas de dichas resinas son o no detectables por el ojo humano.

En un estudio clínico (84) las restauraciones juzgadas aceptables tenían un valor de ΔE^*_{ab} menor a 3,7. En otro estudio el 50% de los observadores consideraron una restauración no aceptable cuando el valor ΔE^*_{ab} se aproximaba a 3,3 (91). Estudio entre la correlación entre los valores del ΔE^*_{ab} y el observador humano verifica la existente relación entre las medidas del L* a* b* y la respuesta del observador dental (85). La correlación entre diferencias de color en coronas cerámicas entre el espectrofotómetro y el ojo humano no estuvieron de acuerdo en todas las dimensiones del espacio de color como en la cromacidad. Se ha visto que los valores obtenidos con el ΔE^*_{ab} son dependientes de la cromacidad, ya que según el color se relacione el espectrofotómetro con el ojo humano varía; en el rojo (a*) el ΔE^*_{ab} estaba en el 1,1 mientras que el amarillo (b*) en el 2,1 (92). Por tanto, existen limitaciones en ΔE^*_{ab}, ya que la fórmula matemática aplica por igual el a* y el b* mientras el ojo humano diferencia más el color

amarillo (b*) del rojo (a*). En nuestro estudio se ha utilizado el sistema CIELab 2000, ya que esta fórmula matemáticamente más compleja tiene más en cuenta el ojo humano al no dar la misma importancia a la a* que a la b*. Nuestro estudio no coincide con previos estudios porque al utilizar la fórmula ΔE^*_{00} nos dan resultados distintos, pero a nuestro entender mucho más reales al relacionar el espectrofotómetro con el ojo humano porque minimizan la limitación matemática de la cromacidad. En nuestro estudio se relaciona el ojo humano con un aparato electrónico como el espectrofotómetro en el antes y después de una restauración estética de composite Clase IV utilizando el DELTAE00. A nuestro entender, es el primer trabajo que se hace sobre diente real que tome en consideración también el hecho que no se realiza sobre algo completamente opaco como un diente artificial, sino que también es un poco transparente y donde existe la variación normal que tiene un diente natural que esta reconstruido.

Existen otros parámetros, aparte del color, para cualquier observador a la hora de decir si una restauración es clínicamente aceptable o no. Por tanto, hay límites en nuestro estudio en que no solo dependemos que el restaurador escoja correctamente el color de la dentina y el esmalte, sino que existen más variables que no podemos controlar como la forma, la macro y microtextura superficial, el pulido y el brillo de la restauración final, que clínicamente influirán en la restauración esta bien realizada o no. Nosotros hemos querido hacer un trabajo donde no solo hemos tenido en consideración el color dental, sino el color aplicado a la restauración dental.

Hay que tener presente que las restauraciones realizadas por los dos alumnos del Máster de Estética Dental de la Universitat Internacional de Catalunya, casi el 75% fueron evaluadas como restauraciones aceptables por tres especialistas en odontología estética. Si la evaluación de las restauraciones hubiese sido realizada por dentistas no especialistas en estética o por personas ajenas al mundo de la odontología, probablemente muchos restauraciones marcadas como Charlie podrían ser Bravo y muchas con Bravo podrían ser Alpha. Esto habría que tenerlo en cuenta a la hora de relacionar el ojo humano de un especialista en odontología estética con el espectrofotómetro o si fuera relacionar el ojo humano "no entrenado" en odontología estética con dicho aparato electrónico. Supuestamente los resultados saldrían desiguales

y los valores relacionados entre ellos serían completamente diferentes. En el estudio se ha utilizado dentistas con una alta sensibilidad por la estética dental, ya que así al realizar estudios con distintos composites y/o de su técnica a utilizar y relacionarlos entre el ojo humano y los resultados del ΔE^*_{00} aportaran resultados más fiables para saber si una restauración de composite es o no apta para llevar en boca. Sin embargo, el ojo humano no es capaz de percibir diferencias mínimas en el color y las diferencias estadísticas detectadas en este estudio, en principio, no deberían ser un problema para la práctica diaria ya que, los valores cuantitativos, aunque tengan diferencias significativas a nivel numérico, a nivel visual no siempre lo son.

La finalidad de esta tesis se basa en mejorar las metodologías presentes y permitir una mejor reinterpretación de todos los datos conseguidos hasta ahora.

8. CONCLUSIONES

Conclusión principal Estudio 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción.

Los dientes anteriores sufren un cambio de sus propiedades ópticas al comparar el in vivo e in vitro al utilizar el fondo blanco y el negro.

Conclusión principal Estudio 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

La relación final de los valores objetivos del espectrofotómetro (CIELAB00) con los valores subjetivos (Alpha, Bravo, Charlie) de la evaluación del ojo humano entre restauraciones de Clase IV de composite en dientes anteriores in vitro fueron los siguientes:

CIELAB00 1,27 = Alpha

CIELAB00 1,88 = Bravo

CIELAB00 3,53 = Charlie

Conclusiones secundarias del Estudio 1: Evaluación espectrofotométrica in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción.

Sí que hay cambios en los valores CIE L* a* b* en T0 (in vivo), T1 (inmediatamente después de la extracción), T2 (1 día después de la extracción), T3 (1 semana después de la extracción), T4 (1 mes después de la extracción) con fondo blanco y fondo negro en esmalte y en el complejo esmalte-dentina.
El mejor momento para utilizar los dientes extraídos con fondo blanco es a partir de la primera hora.

El mejor momento para utilizar los dientes extraídos con fondo negro es a partir de la primera semana.

Existen diferencias significativas $p>0,05$ entre los valores CIE L* a* b* obtenidos con fondo negro y blanco.

Conclusiones secundarias del Estudio 2: Evaluación Espectrofotométrica de la Integración Óptica en Restauraciones Clase IV de Composite.

Los tres operadores mediante la evaluación visual de 100 restauraciones de Clase IV ha sido de un 16 % para Alpha, 58,33% para Bravo y 25,67% para Charlie.

9. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Las perspectivas de futuro serían las siguientes:

Estudio 1:

1. repetir este estudio por un periodo de tiempo más largo, porque a lo mejor lo que nos interesa es evaluar las propiedades ópticas del composite a lo largo de un año.
2. estudios multicéntricos
3. muestra de dientes más larga y que incluyan incisivos laterales y caninos tanto del maxilar superior como del maxilar inferior.
4. repetir el estudio pero tomando el color in vivo, posteriormente realizar una clase IV in vivo y posteriormente tomar el color in vitro durante un periodo de tiempo de 6 meses.

Estudio 2:

1. aumentar la muestra de 3 observadores a 10 observadores.
2. repetir la medición tanto del espectrofotómetro como de los observadores al cabo de un mes.
3. estudios multicéntricos.
4. incluir caninos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Braun A, Glockmann A, Krause F. Spectrophotometric evaluation of a novel aesthetic composite resin with respect to different backgrounds in vitro. Odontology / the Society of the Nippon Dental University. 2013;101(1):60-6.
2. Ardu S, Krejci I. Biomimetic direct composite stratification technique for the restoration of anterior teeth. Quintessence Int. 2006;37(3):167-74.
3. Lefever D, Mayoral JR, Mercade M, Basilio J, Roig M. Optical integration and fluorescence: a comparison among restorative materials with spectrophotometric analysis. Quintessence Int. 2010;41(10):837-44.
4. Dietschi D, Abdelaziz M, Krejci I, Di Bella E, Ardu S. A novel evaluation method for optical integration of class IV composite restorations. Aust Dent J. 2012;57(4):446-52.
5. Ardu S, Braut V, Gutemberg D, Krejci I, Dietschi D, Feilzer AJ. A long-term laboratory test on staining susceptibility of esthetic composite resin materials. Quintessence Int. 2010;41(8):695-702.
6. Oliveira DC, Souza-Junior EJ, Prieto LT, Coppini EK, Maia RR, Paulillo LA. Color stability and polymerization behavior of direct esthetic restorations. J Esthet Restor Dent. 2014;26(4):288-95.
7. Manauta J, Salat A, Putignano A, Devoto W, Paolone G, Hardan LS. Stratification in anterior teeth using one dentine shade and a predefined thickness of enamel: a new concept in composite layering--Part I. Odonto-stomatologie tropicale = Tropical dental journal. 2014;37(146):5-16.
8. Weyhrauch M, Igiel C, Pabst AM, Wentaschek S, Scheller H, Lehmann KM. Interdevice agreement of eight equivalent dental color measurement devices. Clin Oral Investig. 2015.
9. Gomez-Polo C, Gomez-Polo M, Celemin-Vinuela A, Martinez Vazquez De Parga JA. Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour. J Dent. 2014;42(6):742-5.
10. Olms C, Klinke T, Pirek P, Hannak WB. Randomized multi-centre study on the effect of training on tooth shade matching. J Dent. 2013;41(12):1259-63.
11. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. J Dent. 2008;36 Suppl 1:S2-7.
12. Alkhatib MN, Holt R, Bedi R. Age and perception of dental appearance and tooth colour. Gerodontology. 2005;22(1):32-6.
13. Odioso LL, Gibb RD, Gerlach RW. Impact of demographic, behavioral, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. Compend Contin Educ Dent Suppl. 2000(29):S35-41; quiz S3.
14. Xiao J, Zhou XD, Zhu WC, Zhang B, Li JY, Xu X. The prevalence of tooth discolouration and the self-satisfaction with tooth colour in a Chinese urban population. J Oral Rehabil. 2007;34(5):351-60.
15. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e2-16.
16. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, Weyhrauch M, Schmidtmann I, Wentaschek S, et al. Are dental color measuring devices CIE compliant? Eur J Esthet Dent. 2012;7(3):324-33.

17. Hugo B, Witzel T, Klaiber B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. Clin Oral Investig. 2005;9(4):244-50.
18. Lehmann KM, Igiel C, Schmidtmann I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e65-70.
19. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. J Dent Res. 2002;81(8):578-82.
20. Liu MC, Aquilino SA, Lund PS, Vargas MA, Diaz-Arnold AM, Gratton DG, et al. Human perception of dental porcelain translucency correlated to spectrophotometric measurements. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists. 2010;19(3):187-93.
21. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. Journal of endodontics. 1998;24(12):786-90.
22. Karamouzos A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE. Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. J Oral Rehabil. 2007;34(8):613-21.
23. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. The Journal of prosthetic dentistry. 1986;56(1):35-40.
24. Ardu S, Feilzer AJ, Devigus A, Krejci I. Quantitative clinical evaluation of esthetic properties of incisors. Dent Mater. 2008;24(3):333-40.
25. Amengual-Lorenzo J. Colour measurement reproducibility using specific dental colorimeters. RCOE. 2005;10(3):263-7.
26. Pascual Moscardo A, Camps Alemany I. Chromatic appreciation in the clinic and the laboratory. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2006;11(4):E363-8.
27. Miller L. Organizing color in dentistry. J Am Dent Assoc. 1987;Spec No:26E-40E.
28. Chu SJ, Devigus A, Mieleszk AJ. Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry: Quintessence Publishing Company; 2004.
29. Burkinshaw SM. Colour in relation to dentistry. Fundamentals of colour science. Br Dent J. 2004;196(1):33-41; discussion 29.
30. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. J Dent. 2004;32 Suppl 1:3-12.
31. Muia P. Paul Muia explains his four dimensional tooth color system. Quintessence Dent Technol. 1983;7(1):57-62.
32. Kina S, Bruguera A. Invisible: Restauraciones estéticas cerámicas. Editorial Artes Médicas Latinoamericana Brasil-España. 2008.
33. Vanini L. Light and color in anterior composite restorations. Pract Periodontics Aesthet Dent. 1996;8(7):673-82; quiz 84.
34. Lee YK, Yu B. Measurement of opalescence of tooth enamel. J Dent. 2007;35(8):690-4.
35. McLaren EA. Luminescent veneers. J Esthet Dent. 1997;9(1):3-12.
36. Cornell D, Winter R. Manipulating light with the refractive index of an all-ceramic material. Pract Periodontics Aesthet Dent. 1999;11(8):913-7.
37. Johnston WM. Color measurement in dentistry. J Dent. 2009;37 Suppl 1:e2-6.
38. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. Int J Periodontics Restorative Dent. 2003;23(5):467-79.

39. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. Int J Prosthodont. 2002;15(1):73-8.
40. Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. The Journal of prosthetic dentistry. 2006;96(6):391-6.
41. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. The Journal of prosthetic dentistry. 2002;88(6):585-90.
42. Lee YK. Comparison of CIELAB DeltaE(*) and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermocycling of resin composites. Dent Mater. 2005;21(7):678-82.
43. Ghinea R, Perez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD. Color difference thresholds in dental ceramics. J Dent. 2010;38 Suppl 2:e57-64.
44. Perez Mdel M, Ghinea R, Herrera LJ, Ionescu AM, Pomares H, Pulgar R, et al. Dental ceramics: a CIEDE2000 acceptability thresholds for lightness, chroma and hue differences. J Dent. 2011;39 Suppl 3:e37-44.
45. Marin PD, Bartold PM, Heithersay GS. Tooth discoloration by blood: an in vitro histochemical study. Endod Dent Traumatol. 1997;13(3):132-8.
46. ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. J Dent Res. 1995;74(1):374-80.
47. Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining: a review of the literature. Br Dent J. 2001;190(6):309-16.
48. Dahl JE, Pallesen U. Tooth bleaching--a critical review of the biological aspects. Crit Rev Oral Biol Med. 2003;14(4):292-304.
49. Hattab FN, Qudeimat MA, al-Rimawi HS. Dental discoloration: an overview. J Esthet Dent. 1999;11(6):291-310.
50. Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Nonvital tooth bleaching: a review of the literature and clinical procedures. Journal of endodontics. 2008;34(4):394-407.
51. Guan YH, Lath DL, Lilley TH, Willmot DR, Marlow I, Brook AH. The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison. J Oral Rehabil. 2005;32(1):7-15.
52. Manauta J, Salat A. Layers, An Atlas of Composite Resin. Stratification Quintessenza Edizioni. 2012.
53. Cal E, Guneri P, Kose T. Comparison of digital and spectrophotometric measurements of colour shade guides. J Oral Rehabil. 2006;33(3):221-8.
54. Alsaleh S, Labban M, AlHariri M, Tashkandi E. Evaluation of self shade matching ability of dental students using visual and instrumental means. J Dent. 2012;40 Suppl 1:e82-7.
55. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. J Dent. 2014;42(1):48-52.
56. Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. The Journal of prosthetic dentistry. 2006;96(6):402-11.
57. Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA, Jr., Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. The Journal of prosthetic dentistry. 2007;98(2):110-9.
58. Yap AU, Sim CP, Loh WL, Teo JH. Human-eye versus computerized color matching. Oper Dent. 1999;24(6):358-63.

59. Chu SJ, Tarnow DP. Digital shade analysis and verification: a case report and discussion. Pract Proced Aesthet Dent. 2001;13(2):129-36; quiz 38.
60. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. The Journal of prosthetic dentistry. 2009;101(3):193-9.
61. Todorovic A, Todorovic A, Gostovic AS, Lazic V, Milicic B, Djurisic S. Reliability of conventional shade guides in teeth color determination. Vojnosanit Pregl. 2013;70(10):929-34.
62. Spectroshade 2013 [14/06/2015]. Available from: http://www.spectroshade.it.
63. Corcodel N, Helling S, Rammelsberg P, Hassel AJ. Metameric effect between natural teeth and the shade tabs of a shade guide. Eur J Oral Sci. 2010;118(3):311-6.
64. Li Y. Tooth color measurement using Chroma Meter: techniques, advantages, and disadvantages. J Esthet Restor Dent. 2003;15 Suppl 1:S33-41.
65. Española RA. Real Academia Española 2015. Available from: http://www.rae.es.
66. Shillingburg HT, Jr., Grace CS. Thickness of enamel and dentin. J South Calif Dent Assoc. 1973;41(1):33-6 passim.
67. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. Int J Prosthodont. 1995;8(1):79-86.
68. Yu B, Ahn JS, Lee YK. Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. Acta Odontol Scand. 2009;67(1):57-64.
69. Mayoral JR, Arocha MA, Dominguez S, Roig M, Ardu S. In vivo spectrophotometric evaluation of pure enamel and enamel-dentine complex in relationship with different age groups. J Dent. 2013;41(12):1245-50.
70. Ardu S, Braut V, Di Bella E, Lefever D. Influence of background on natural tooth colour coordinates: an in vivo evaluation. Odontology / the Society of the Nippon Dental University. 2014;102(2):267-71.
71. Hickel R, Roulet JF, Bayne S, Heintze SD, Mjor IA, Peters M, et al. Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98--FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns. J Adhes Dent. 2007;9 Suppl 1:121-47.
72. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. J Dent. 2014;42(6):637-44.
73. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists. 2007;16(2):93-100.
74. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. J Dent Res. 1989;68(12):1755-9.
75. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. The Journal of prosthetic dentistry. 2002;87(2):149-52.

76. Gozalo-Diaz D, Johnston WM, Wee AG. Estimating the color of maxillary central incisors based on age and gender. The Journal of prosthetic dentistry. 2008;100(2):93-8.
77. Ma YG, Zhang N, Deng XL. [Influence of background color on chromatic value of four all-ceramic system core materials]. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. 2010;45(6):367-9.
78. Baumann MA, Schifferdecker B. [Color determination in dental ceramics]. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 1994;104(4):423-9.
79. Ardu S, Gutemberg D, Krejci I, Feilzer AJ, Di Bella E, Dietschi D. Influence of water sorption on resin composite color and color variation amongst various composite brands with identical shade code: an in vitro evaluation. J Dent. 2011;39 Suppl 1:e37-44.
80. Lee YK, Powers JM. Influence of background color on the color changes of resin composites after accelerated aging. Am J Dent. 2007;20(1):27-30.
81. Lee YK, Lim BS, Kim CW. Difference in the colour and colour change of dental resin composites by the background. J Oral Rehabil. 2005;32(3):227-33.
82. Brodbelt RH, O'Brien WJ, Fan PL, Frazer-Dib JG, Yu R. Translucency of human dental enamel. J Dent Res. 1981;60(10):1749-53.
83. Betrisey E, Krejci I, Di Bella E, Ardu S. The influence of stratification on color and appearance of resin composites. Odontology / the Society of the Nippon Dental University. 2015.
84. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res. 1989;68(5):819-22.
85. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. J Dent Res. 1989;68(12):1760-4.
86. van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmit WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. The Journal of prosthetic dentistry. 1990;63(2):155-62.
87. Derdilopoulou FV, Zantner C, Neumann K, Kielbassa AM. Evaluation of visual and spectrophotometric shade analyses: a clinical comparison of 3758 teeth. Int J Prosthodont. 2007;20(4):414-6.
88. Goldstein GR, Schmitt GW. Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. The Journal of prosthetic dentistry. 1993;69(6):616-9.
89. Klemetti E, Matela AM, Haag P, Kononen M. Shade selection performed by novice dental professionals and colorimeter. J Oral Rehabil. 2006;33(1):31-5.
90. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. The Journal of prosthetic dentistry. 1998;80(6):642-8.
91. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. Dent Mater. 1987;3(5):246-51.
92. Douglas RD, Brewer JD. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. The Journal of prosthetic dentistry. 1998;79(3):254-60.

ANEXOS

CEIC Comitè Ètic d'Investigació Clínica
Clínica Universitària d'Odontologia
Universitat Internacional de Catalunya

7. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Número del estudio: EST-ECL-2011-02-NF
Versión del protocolo: 1.0
Fecha de la versión: 08 de Marzo del 2011
Fecha de presentación: 08 de Marzo del 2011
Título: Evaluación espectofotométrica *in vivo* e *in vitro* de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción

Investigadores principales: Dr. Juan Ricardo Mayoral, Dr. Stefano Ardu
Investigadora secundario: Enric Soler Gomis
Tutor: Dr. Juan Ricardo Mayoral
Departamento: Patología y Terapéutica Dental
Línea de investigación: Propiedades Ópticas del Complejo Esmalte-Dentina
Título de la investigación: Evaluación espectofotómetrica *in vivo* e *in vitro* de los incisivos centrales superiores antes y después de la extraccion

Yo, Sr./Sra.: ……..

- He recibido información verbal acerca del estudio y he leído la información escrita que se adjunta, de la que he recibido una copia.
- He comprendido lo que se me ha explicado.
- He podido comentar el estudio y realizar preguntas al profesional responsable.
- Doy mi consentimiento para tomar parte en el estudio y asumo que mi participación es totalmente voluntaria.
- Entiendo que podré retirarme en cualquier momento sin que ello afecte a mi futura asistencia médica.

Mediante la firma de este formulario de consentimiento informado, doy mi consentimiento para que mis datos personales se puedan utilizar como se ha descrito en este formulario de consentimiento, que se ajusta a lo dispuesto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Página 1 de 2

CEIC Comitè Ètic d'Investigació Clínica
Clínica Universitària d'Odontologia
Universitat Internacional de Catalunya

Entiendo que recibiré una copia de este formulario de consentimiento informado.

Firma del paciente o la paciente
N.º de DNI

Fecha de la firma

DECLARACIÓN DEL LA INVESTIGADORA

El paciente o la paciente que firma esta hoja de consentimiento ha recibo, por parte del profesional, información detallada de forma oral y escrita del proceso y naturaleza de este estudio de investigación, y ha tenido la oportunidad de preguntar cualquier duda en cuanto a la naturaleza, los riesgos y las ventajas de su participación en este estudio.

Firma del investigador o investigadora
Nombre:

Fecha de la firma

Página 2 de 2

Figura 18: Consentimiento informado de los pacientes para firmar del Estudio 1

CEIC Comitè Ètic d'Investigació Clínica
Clínica Universitària d'Odontologia
Universitat Internacional de Catalunya

CARTA APROVACIÓ ESTUDI PEL CEIC

Número de l'estudi: EST-ECL-2011-02-NF
Versió del protocol:1.0
Data de la versió:08/03/2011
Títol:"Evaluación espectofotométrica piloto in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción"

Sant Cugat del Vallès, 10 de marzo de 2011

Dr.Juan Ricardo Mayoral/Dr. Stefano Ardu

Referència: "Évaluación espectofotométrica piloto in vivo e in vitro de los incisivos centrales superiores antes y después de la extracción"

Benvolguts Doctors,

Els membres del CEIC de la Clínica Universitària d'Odontologia, els hi agraeixen l'aportació científica en el camp de la investigació i la presentació del Protocol en aquest Comité per a la seva avaluació.

Valorades les noves aportacions realitzades a l'estudi, sol.licitades pel nostre CEIC, el passat dia 08 de març de 2011, li comuniquem que el dictamen final ha sigut FAVORABLE.

Quedem a la seva disposició per a qualsevol dubte o aclaració al respecte.

Atentament,

Sra. Imma Puga
Presidenta CEIC

1

Figura 19: Carta de aprobación por el Comité Ético del Estudio 1.

IN-VIVO AND *IN-VITRO* SPECTROPHOTOMETRIC EVALUATION OF UPPER CENTRAL INCISORS BEFORE AND AFTER EXTRACTION

Enric Soler[a], Juan R Mayoral[a], Fernando Duran[a], Juan Basilio[a], Miguel Roig[a], Stefano Ardu[b*]

[a] *Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, International University of Catalonia, Barcelona, Spain.*

[b] *Division of Cariology & Endodontology, School of Dentistry, University of Geneva, Geneva, Switzerland.*

Corresponding author: Stefano Ardu.

E-mail address: stefano.ardu@unige.ch

Summary

Objectives: In this *in-vivo* and *in-vitro* study, we investigated the influence of pulpal vitality on the optical properties of teeth over a 1-month period.

Methods: We monitored two specific areas (2 mm-thick pure enamel and 3 mm-thick enamel–dentine complex) in 10 teeth against two backgrounds (one white and one black) using a calibrated reflectance spectrophotometer at the following time points: before extraction (T0); immediately after extraction (T1); at 1 day postextraction (T2); at 1 week postextraction (T3); and at 1 month postextraction (T4). We recorded tooth colour based on the *Commission Internationale d'Eclairage L* a* b** model and translucency and analysed these characteristics over time using analysis of variance.

Results: The 2 mm-thick pure enamel area showed no significant changes ($p < 0.05$) in L^*, a^* and b^* values within the first 7 days (T0–3). Transparency was only discernible up to 1 day (T0–1). The 3 mm-thick enamel–dentine complex exhibited no significant differences ($p < 0.05$) in L^* and a^* values within the first 7 days (T0–3), whereas b^* values changed significantly immediately after extraction (T0–1). Transparency values did not significantly differ ($p < 0.05$) within the first day (T0–2).

Conclusions: Within the limitations of this study, we conclude that the optical characteristics (i.e., colour and transparency) of teeth change after extraction.

1. Introduction

Given the high expectations for optimal aesthetic results in the anterior zone (1), the restoration of this area poses one of the greatest challenges for the clinician (2). Several parameters contribute to the aesthetic outcome, including tooth colour (3, 4), surface condition, outer form, position in the dental arch and integration with the patient's overall appearance (1). The optical characteristics of natural teeth are determined by the interaction of their enamel, dentine and underlying pulp with light. These characteristics include varying degrees of translucency and opacity, as well as opalescence, iridescence and fluorescence (2, 5, 6). Aesthetic demands call for imperceptible restorations; therefore, treatments are moving towards ultraconservative restoration approaches using adhesive techniques, which preserve as

much of the healthy hard dental tissue as possible (7). To this end, different therapeutic options are available, such as direct composite restorations, onlays, indirect laminate veneers and full ceramic crowns, which allow re-establishment of the anterior region.

Before choosing a treatment plan for the restoration, the clinician must take into consideration the shape, texture, characteristics, opacity and translucency (8) of the dentition. Consequently, it is essential to measure the colour of the natural teeth and share this information with the dental technician. Even with the assistance of shade guides, selecting the shape and colour of a restoration remains challenging for the clinician, dental assistant and dental technician (9–12). The dental shade guide most widely used at present is VITAPAN® Classical (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany; 4, 6, 13); however, it is highly subjective and limited (11, 14), because it depends not only on colour but also on the environment, light exposure, angle of perception and verbal transmission of colour (15). In addition to shade guides, spectrophotometry, colourimetry, spectroradiometry and digital photography have also been proposed as methods of colour matching (11, 16–18). The spectrophotometer, which includes photographic functions that reduce or overcome the limitations and inconsistencies of traditional shade-matching guides (13), facilitates an objective and quantitative method of tooth colour measurement called the L^* a^* b^* model. This model, developed by the *Commission Internationale d'Eclairage* (CIE; International Commission on Illumination), is widely used to describe the colour spectrum visible to the human eye: negative L^* values indicate white whereas positive L^* values indicate black; negative a^* values indicate green whereas positive a^* values indicate magenta; and negative b^* values indicate blue whereas positive b^* values signify yellow. The L^* a^* b^* colour model is three-dimensional (3D) and can only be properly represented in a 3D space.

Tooth colour is determined by phenomena associated with optical properties and light (19), as well as the colour of dentine (20) and intrinsic and extrinsic colorations. Intrinsic colour is determined by the optical properties of enamel and dentine and their interplay with light (20), while extrinsic colour depends on the absorption of materials by the enamel surface. Any change in enamel, dentine or coronal pulp structure can alter the light-transmitting properties of the tooth (21).

To our knowledge, no studies have compared changes in the optical properties of teeth immediately before and after extraction and in subsequent follow-up examinations. Several *in-vitro* studies on aesthetic restorations have used extracted teeth but, to date, it is unknown whether tooth colour changes after extraction or if putrefaction of the pulpal tissue affects its optical properties. In this *in-vivo* and *in-vitro* study, we used a spectrophotometer to investigate the influence of pulpal vitality on the optical properties of natural dentition over a 1-month period. Our null hypothesis was that there would be no significant difference in the optical properties and translucency of the upper central incisors before and after extraction under *in-vivo* or *in-vitro* conditions. We aimed to pinpoint the precise moment when the colour of an extracted tooth changes to identify the optimum time to use a tooth for scientific investigation and to determine whether it is necessary to extract the pulp tissue beforehand. These findings may represent an invaluable contribution to *in-vitro* research.

2. Materials and Methods

We randomly selected 10 patients of the International University of Catalonia, Barcelona, Spain requiring extraction of an intact maxillary central incisor for periodontal reasons. Only incisors without malformations and intrinsic stains, cracks, wear or restorations were included in the study. The study was approved by the ethics and scientific committees (Approval Reference: EST-ECL-2011.02NF) of the International University of Catalonia and patients gave written informed consent to undergo intraoral spectrophotometer analysis and four postextraction analyses of the tooth. Prior to spectrophotometric measurements, patients brushed their teeth using 70 RDA toothpaste and a standard toothbrush (Colgate Total; Colgate-Palmolive AG, Thalwil, Switzerland).

2.1 Spectrophotometric measurements

A calibrated reflectance image spectrophotometer (SpectroShade, Handy Dental Type 713000, Serial No. HDL0090; MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy) was used in this study (Figure 1).

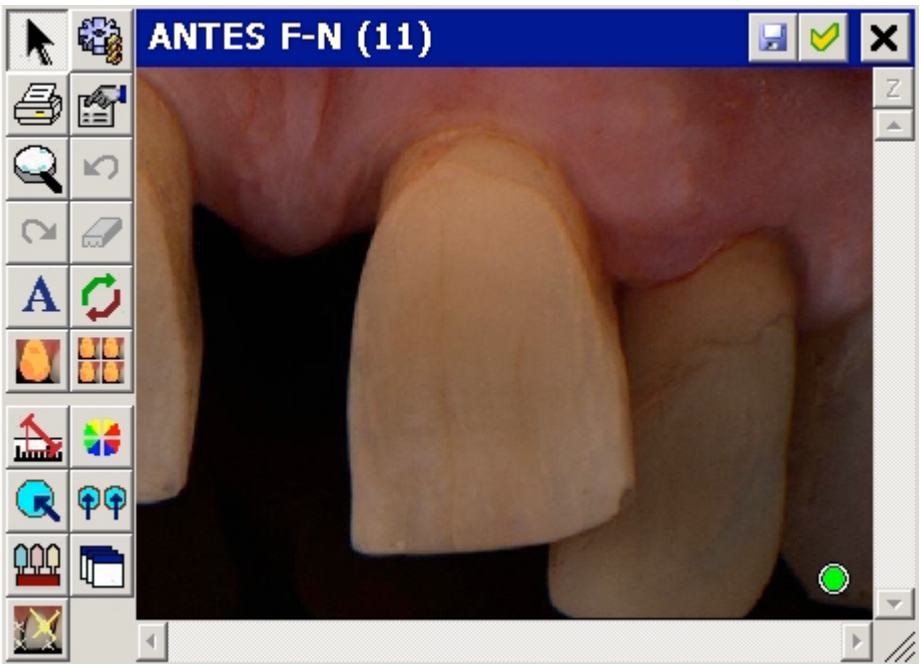

Figure 1. A calibrated reflectance image taken with a spectrophotometer (SpectroShade, Handy Dental Type 713000, Serial No. HDL0090; MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy).

The spectrophotometer featured a built-in aiming routine that enabled reproducible positioning perpendicular to the facial tooth surface, ensuring identical measurement conditions for all teeth evaluated. The device was equipped with a D65 light source (6500°K), the light emitted by which was transformed into monochromatic light by a grating and splinted to simultaneously illuminate each tooth from two sides at 45°. The reflected light was directed at 0° on to the system's two detector areas (both 18 × 13 mm^2). One detector was a colour charge-coupled device (CCD) chip that generated a colour video image, whereas the other was a black and white CCD chip that recorded spectrophotometric data. Polarization filters were used to eliminate surface gloss. Data were stored in a proprietary image file format used to create detailed CIE L^* a^* b^* data (6).

Each tooth was measured against both a white and a black background at the following time points:

- before extraction (T0);
- immediately after extraction (T1);
- at 1 day postextraction (T2);
- at 1 week postextraction (T3); and
- at 1 month postextraction (T4; Figure 2).

The white background was used to calculate the transparency of each tooth over time. All teeth were stored in artificial saliva at 37°C. Two areas of each tooth were selected to measure tooth colour at each time point: the first measurement was taken 2 mm from the incisal edge, a region that contains only enamel; and the second was performed 3 mm from the incisal edge, a region that, according to Shillingburg and Grace (22), contains enamel and dentine in equal proportions. CIE *L** *a** *b** measurements of the entire surface of each central upper incisor were performed on both a white and a black background using a spectrophotometer. To achieve a secure fit between the palatal tooth area and the background, the patient was asked to bite on the plastic background (white: *L**, 96.61; *a**, 0.68; and *b**, 2.56) and (black: *L**, 0.44; *a**, 0.09; and *b**, 0.13), which was placed behind the upper central incisor as reported in previous studies (23). To avoid dehydration of the teeth, the patients were asked to rinse their mouths with water for 30 seconds between spectrophotometric measurements.
After extraction, each tooth was digitally scanned to obtain a 3D reconstruction of the orobuccal thickness of the enamel–dentine complex. The CIE *L** *a** *b** values of the entire surface of each tooth were calculated on the white and black backgrounds and translucency was determined according to the formula shown in Equation 1.

$$TP = \left[(L_B{}^* - L_W{}^*)^2 + (a_B{}^* - a_W{}^*)^2 + (b_B{}^* - b_W)^2 \right]^{1/2}$$

Equation 1. The formula used to calculate translucency from Commission Internationale d'Eclairage L* a* b* *measurements.*

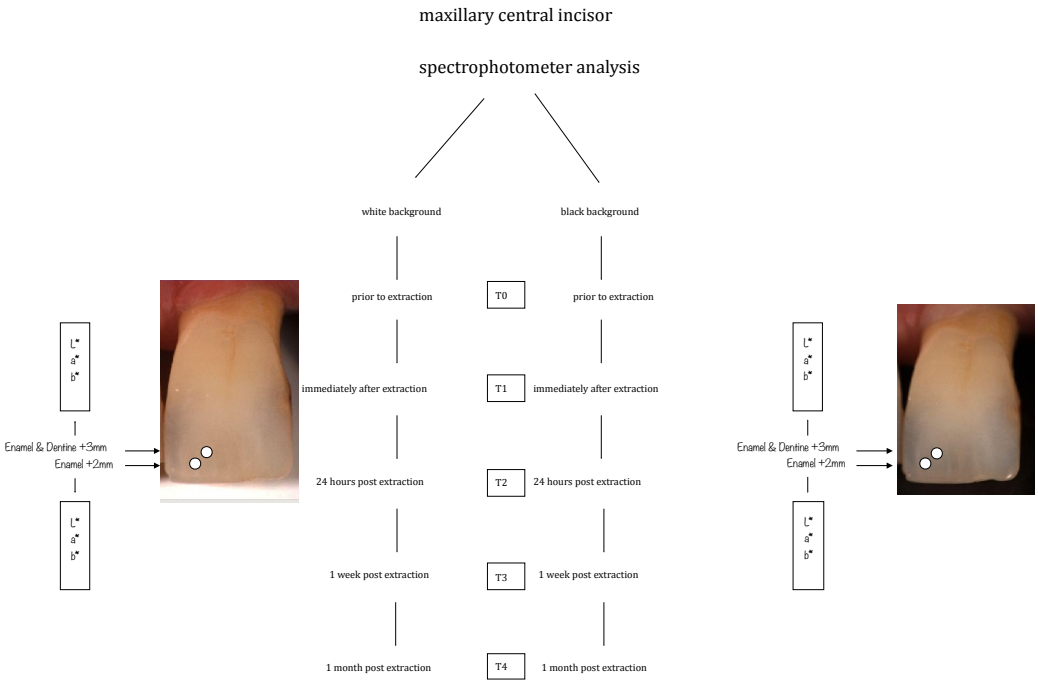

Figure 2. Study protocol.

2.2 Determining enamel and dentine thickness

Areas of pure enamel 2 mm thick were identified by comparing the optical data from 3D images scanned with the calibrated reflectance image spectrophotometer in gloss mode (Figure 3).

A digital calliper was used to measure enamel thickness in the orofacial direction and CIE *L* a* b** measurements were taken on both a white and a black background using a spectrophotometer. Areas of tooth 3 mm thick, consisting of an equal amount of enamel and dentine (22), were detected and CIE *L* a* b** values were obtained on both a white and a black background with the same methodology used to measure the enamel. Owing to the absence of exposed dentine in intact teeth, no direct measurements on pure dentine samples were possible.

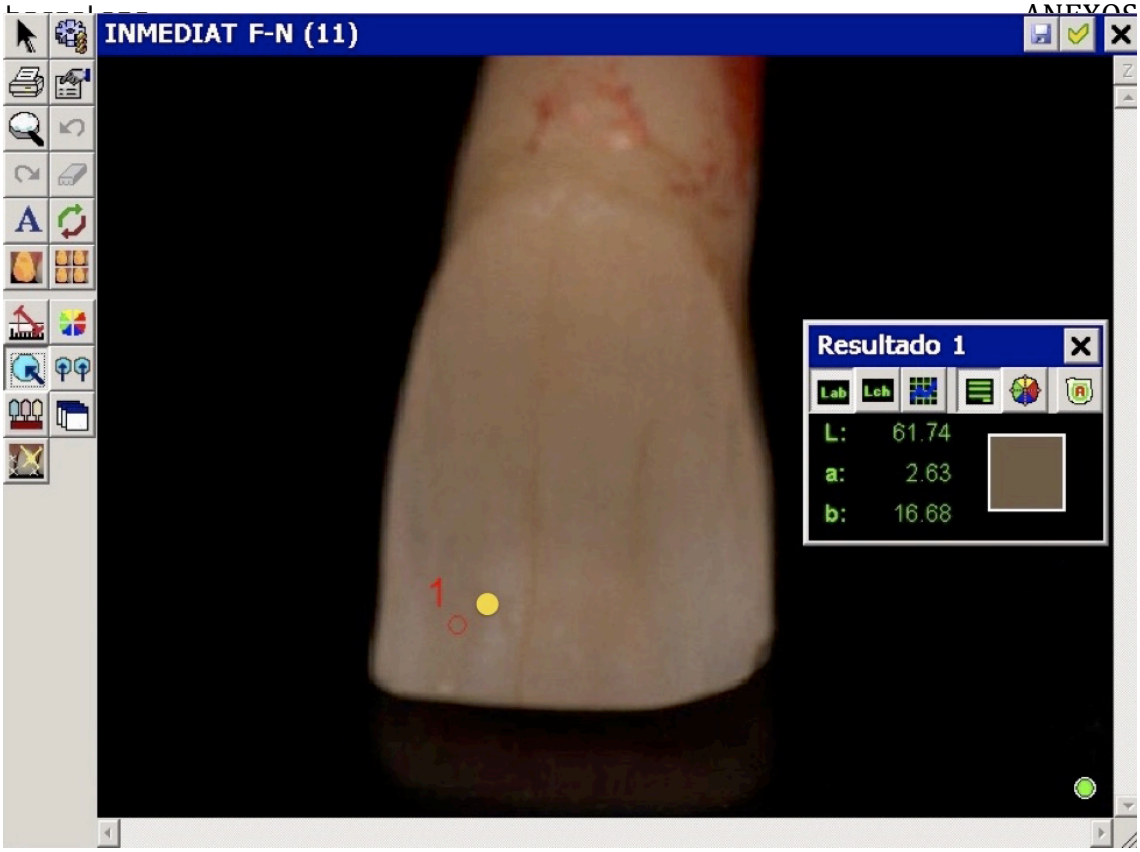

Figure 3. Central incisor on a black background immediately after extraction, showing the Commission Internationale d'Eclairage L* a* b* *value for 3 mm-thick enamel–dentine complex (yellow dot) and for 2mm pure enamel (red dot) as measured using a spectrophotometer (SpectroShade, Handy Dental Type 713000, Serial No. HDL0090; MHT, Arbizzano di Negar, Verona, Italy).*

2.3 Determining translucency

The CIE *L* a* b** values for the white and black backgrounds were established and translucency (TP) was calculated (24). According to Johnston, translucency is defined as the ability of a layer of coloured substance to allow the appearance of an underlying background to show through (24, 25).

TP values were obtained for both the enamel (+2 mm) and the enamel–dentine complex (+3 mm). An exhaustive description of the methodology and mathematical formulae used to calculate TP in this study is provided in previous publications (26, 27).

2.4 Statistical analysis

The distribution of the values was evaluated for normality using the Shapiro–Wilk test and a p-value of > 0.05 was considered to denote statistical significance. Given the normal distribution of the time data, the values were analysed using repeated measures analysis of variance (ANOVA) and estimates of the mean and standard deviation were obtained using STATGRAPHICS (StatPoint Technologies, Inc. Warrenton, VA, United States).

3. Results

Table 1 shows the mean and standard deviation of *L* a* b** values for enamel and enamel–dentine complex analysed using repeated measures ANOVA, which exhibited significant differences ($p > 0.05$). To determine the differences among the groups, we used the Bonferroni method for multiple comparisons.

Analysis of 2 mm-thick pure enamel revealed no statistically significant changes ($p < 0.05$) in *L**, *a** and *b** values within the first 7 days (T0–3). Transparency was only detectable after 1 day (T0–2; see Table 2).

Analysis of 3 mm-thick enamel–dentine complex revealed no statistically significant differences ($p < 0.05$) in *L** and *a** values within the first 7 days (T0–3), whereas *b** values changed significantly immediately after extraction (T0–1). Transparency values did not change significantly ($p < 0.05$) within the first day (T0–2; see Table 2). Figure 4 shows a complete representation of the data distribution.

Table 1 - Descriptive statistics of L* a* b* and transparency (TP) for enamel (+2mm) and enamel–dentine complex (+3mm) before extraction (T0), immediately after extraction (T1), and at 24 hours (T2), 1 week (T3) and 1 month after extraction (T4). L* a* b* values were measured against a black background.

TIME	ENAMEL									ENAMEL + DENTINE								
	L +2mm			a +2mm			b +2mm			L +3mm			a +3mm			b +3mm		
	Mean	SD	HG	Mean	SD	HG	Mean	SD	HG	Mean	SD	HG	Mean	SD	HG	Mean	SD	HG
T0	63.26	4.14	BC	4.04	2.05	B	17.79	5.11	B	63.78	4.59	AB	4.31	1.83	B	19.57	6.13	C
T1	64.50	4.57	C	3.00	1.38	A	15.38	5.22	A	65.06	4.70	B	3.08	1.21	A	15.77	4.73	A
T2	63.39	4.21	BC	2.96	1.36	A	16.40	5.11	AB	63.69	4.07	AB	3.09	1.35	A	17.46	5.65	B
T3	62.32	3.34	AB	2.91	1.26	A	16.30	4.26	A	62.75	3.78	A	3.10	1.27	A	17.65	4.88	B
T4	61.23	3.83	A	2.68	1.27	A	16.11	4.10	A	62.29	3.88	A	2.94	1.37	A	17.64	5.62	B

Table 1. Descriptive statistics for the L* a* b* *and transparency values of enamel (+2 mm) and enamel–dentine complex (+3 mm): mean and standard deviation values before extraction, immediately after extraction and at 24 hours, 1 week and 1 month after extraction.*

	TP +2mm			TP +3mm		
	Mean	SD	HG	Mean	SD	HG
T0	5.41	3.00	A	4.83	2.21	A
T1	6.14	2.11	AB	5.61	2.03	AB
T2	7.03	7.59	AB	6.59	1.86	AB
T3	7.70	2.12	B	6.79	2.26	B
T4	7.73	6.84	B	6.47	2.13	B

Homogeneous groups (HG): Groups not connected with the same letter are significantly different. Mean (SD).

Table 2. Descriptive statistics for the transparency values of enamel (+2 mm) and enamel–dentine complex (+3 mm): mean and standard deviation values before extraction, immediately after extraction and at 24 hours, 1 week and 1 month after extraction.

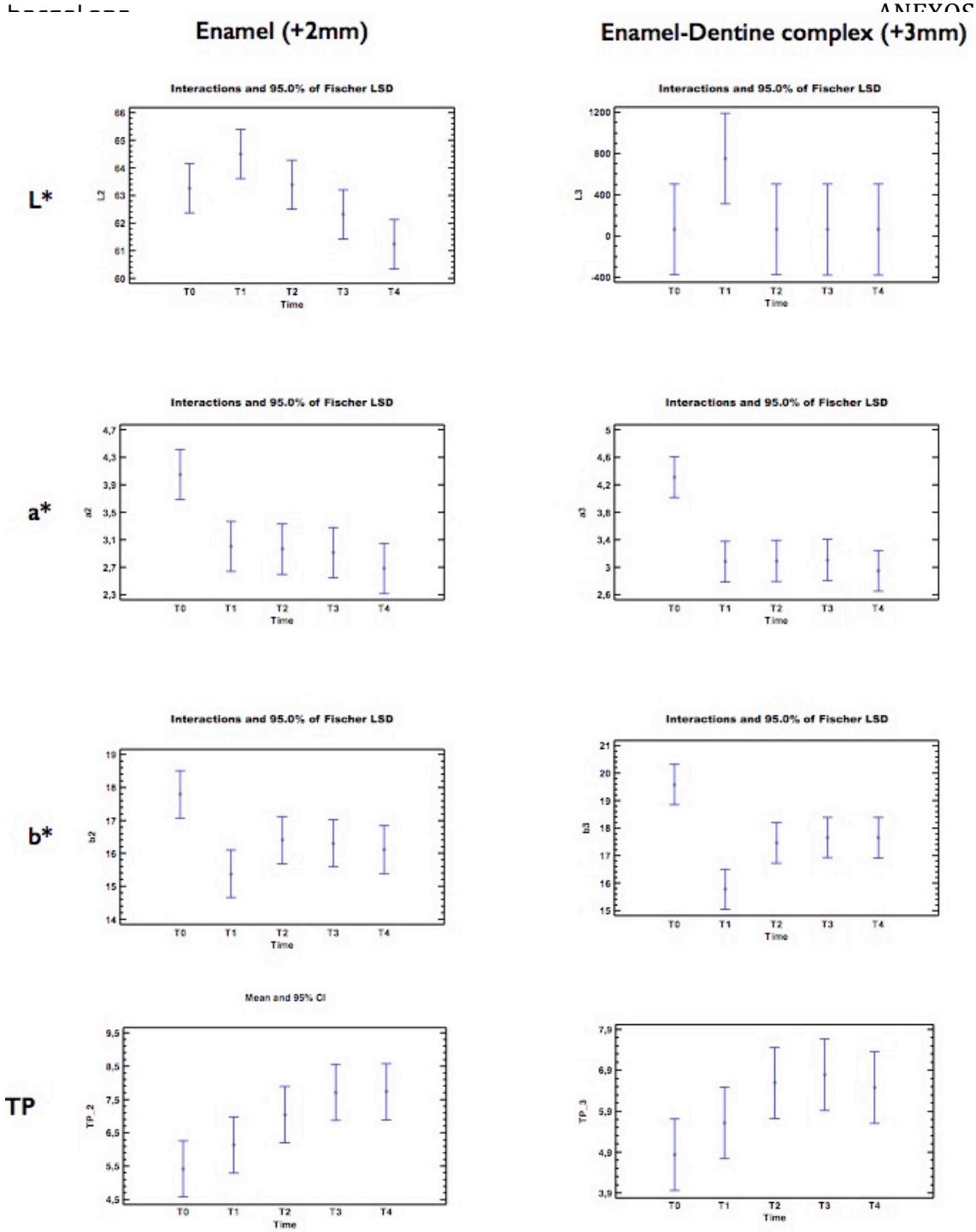

Figure 4. L* a* b *and transparency values of enamel (+2 mm) and enamel–dentine complex (+3 mm) before extraction, immediately after extraction and at 24 hours, 1 week and 1 month after extraction against a black background.*

4. Discussion

The spectrophotometer is considered the gold-standard instrument for the measurement of tooth colour (6, 28–30) because it takes into account all clinical factors that influence the aesthetic characteristics of

teeth, such as the nature of the pulp and gingiva, which can significantly affect the perception of tooth colour. Compared with observations made using the human eye or conventional techniques, the spectrophotometer is 33% more accurate and obtains a more objective colour match in 93.3% of cases (13, 15). In this study, we compared spectrophotometric measurements obtained *in vivo* with those obtained *in vitro* to ascertain whether pulp vitality influences the optical properties of teeth. Given its profound effect on treatment outcome, accurate diagnosis of the cause of tooth discoloration is indispensable. To facilitate accurate diagnosis and, consequently, identify an appropriate treatment plan, dental practitioners require a complete understanding of the aetiology of tooth discoloration (26). Discoloration varies in appearance and severity (31) and, depending on its location and aetiology (32), is classified as intrinsic, extrinsic, or a combination of the two.

Discoloration is caused by extrinsic factors (chromogens derived from the regular consumption of wine, coffee, tea, carrots, oranges, liquorice, chocolate, and/or tobacco, use of mouth rinses, and/or presence of plaque) and intrinsic factors that are either systemic (drug-related, metabolic and/or genetic) or local (pulp necrosis, intrapulpal haemorrhage, residual pulp tissue after endodontic therapy, endodontic materials, coronal filling materials, root resorption and/or ageing). According to this classification, there were no extrinsic causes this study and, because all the teeth were vital (19), the only intrinsic cause was tooth extraction (Figure 5). In this paper, we studied the effect of the pulp *in vivo*, which can affect both the aesthetics and appearance of teeth after extraction, as well as L^* a^* b^* and transparency values *in vitro*.

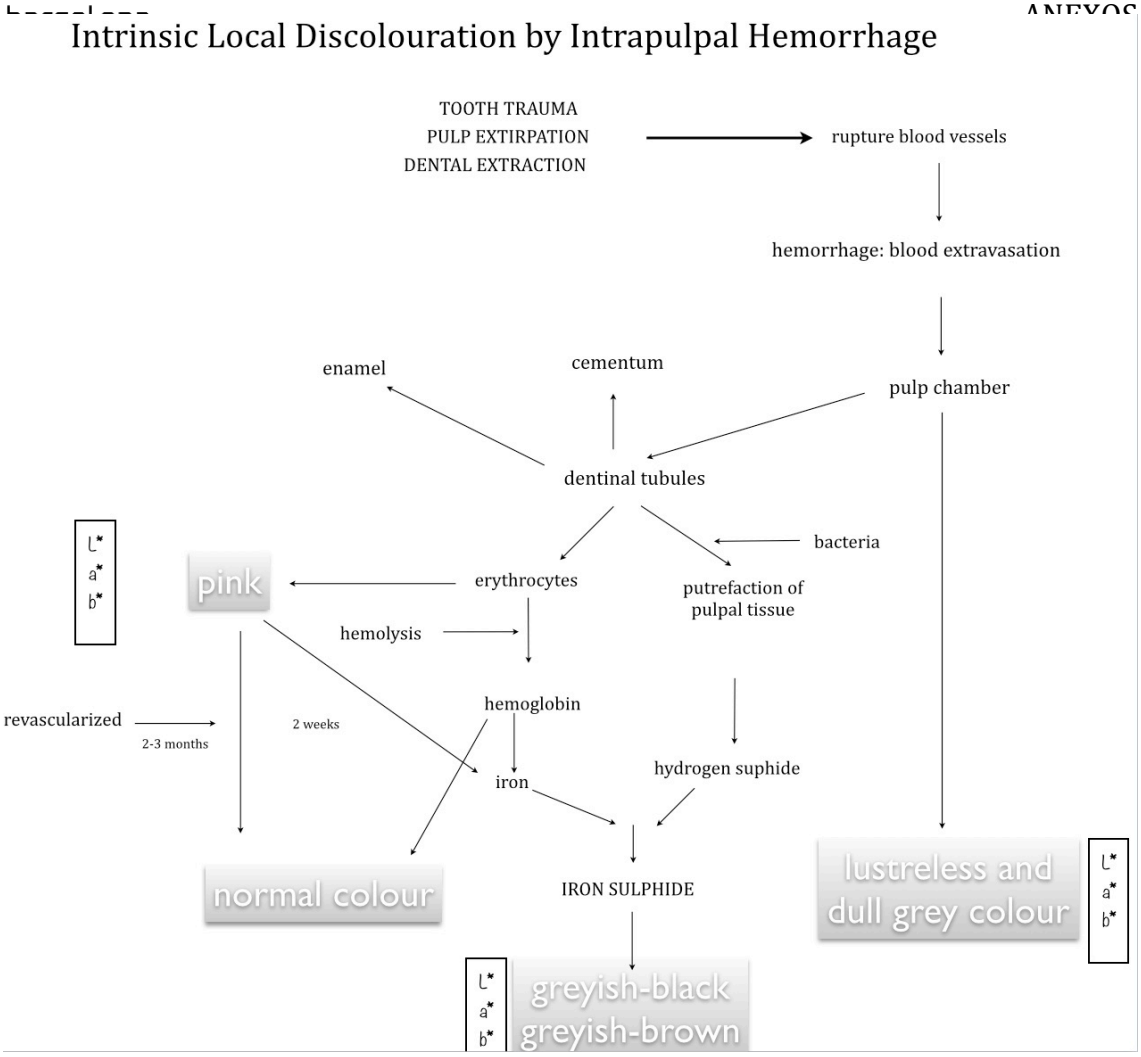

Figure 5. Intrinsic local discolouration caused by intrapulpal haemorrhage.

To our knowledge, no previous studies have evaluated differences in the optical properties of enamel and enamel–dentine complex before and after extraction. It is impossible to separately analyse enamel and dentine of the same thickness, because exposed dentine is not found in intact teeth (25). Consequently, most studies have been conducted by combining the two pieces of information (33). In this study, we measured the *L* a* b** values and transparency of 2 mm-thick pure enamel and 3 mm-thick enamel–dentine complex to investigate the components of tooth colour in accordance with other studies (22, 26).

The influence of the background on natural tooth colour coordinates was studied in a previous *in-vivo* investigation (34), which showed that a black background best simulates the clinical situation of a Class IV restoration (35). However, to calculate transparency, we also performed all measurements on a white background.

It is interesting to note that the *L* a* b** values of 2 mm-thick pure enamel, as well as those of 3 mm-thick enamel–dentine complex, tend to decrease over time when analysed on a black background. This may be due to the decomposition of erythrocytes through haemolysis. Indeed, the iron contained in erythrocytes adheres to hydrogen sulphide to form iron sulphide, which is black. This phenomenon causes a reduction in *L* a* b** values, making the tooth darker, with hints of green and less yellow.

Conversely, we observed an increase in the translucency of 2 mm-thick pure enamel and 3 mm-thick enamel–dentine complex over time, a phenomenon that may be caused by pulp dehydration and physical changes in the necrotic factors, which tend to change the volume of the pulp.

These findings should be considered with caution, because even minor errors in measuring the thickness of specific dental areas could influence the outcome. Future, multicenter studies on larger numbers of participants of different ages could be used to develop resin composite materials based on natural tooth colours, which change over time.

This study demonstrates that, because the colour properties of extracted teeth change, clinicians and researchers must exercise caution when using them as substrate for the development of resin composite materials. However, the fact that the human eye cannot perceive minor differences in colour suggests that the statistical differences detected in this study would not pose a problem in daily practice.

5. Conclusions

The null hypothesis that there are no significant differences in the optical properties and translucency of the upper central incisors when evaluated and compared under *in-vivo* and *in-vitro* conditions was partially rejected. Time influences the L^* a^* b^* and transparency values of 2 mm-thick pure enamel and 3 mm-thick enamel–dentine complex. Within the limitations of this study, we conclude that the optical characteristics of teeth, including colour and transparency, change after extraction.

References

1. Braun A, Glockmann A, Krause F. Spectrophotometric evaluation of a novel aesthetic composite resin with respect to different backgrounds in vitro. *Odontology* 2013;**101**:60-6.
2. Lefever D, Mayoral JR, Mercade M, Basilio J, Roig M. Optical integration and fluorescence: a comparison among restorative materials with spectrophotometric analysis. *Quintessence Int* 2010;**41**:837-44.
3. Manauta J, Salat A, Putignano A, Devoto W, Paolone G, Hardan LS. Stratification in anterior teeth using one dentine shade and a predefined thickness of enamel: a new concept in composite layering--Part I. *Odontostomatol Trop* 2014;**37**:5-16.
4. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent* 2008;**36 Suppl 1**:S2-7.
5. Dozic A, Kleverlaan CJ, Aartman IH, Feilzer AJ. Relation in color of three regions of vital human incisors. *Dent Mater* 2004;**20**:832-8.
6. Weyhrauch M, Igiel C, Pabst AM, Wentaschek S, Scheller H, Lehmann KM. Interdevice agreement of eight equivalent dental color measurement devices. *Clin Oral Investig* 2015.
7. Devoto W, Saracinelli M, Manauta J. Composite in everyday practice: how to choose the right material and simplify application techniques in the anterior teeth. *Eur J Esthet Dent* 2010;**5**:102-24.
8. Ardu S, Braut V, Gutemberg D, Krejci I, Dietschi D, Feilzer AJ. A long-term laboratory test on staining susceptibility of esthetic composite resin materials. *Quintessence Int* 2010;**41**:695-702.
9. Hugo B, Witzel T, Klaiber B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Investig* 2005;**9**:244-50.
10. Lehmann KM, Igiel C, Schmidtmann I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent* 2010;**38 Suppl 2**:e65-70.
11. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, Weyhrauch M, Schmidtmann I, Wentaschek S, et al. Are dental color measuring devices CIE compliant? *Eur J Esthet Dent* 2012;**7**:324-33.
12. Klaff D. Achieving the predictable composite resin restoration, part two: the nature of colour. *Restorative & Aesthetic Practice* 2003;**5**:12-31.
13. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010;**38 Suppl 2**:e2-16.
14. Derdilopoulou FV, Zantner C, Neumann K, Kielbassa AM. Evaluation of visual and spectrophotometric shade analyses: a clinical comparison of 3758 teeth. *Int J Prosthodont* 2007;**20**:414-6.
15. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;**81**:578-82.
16. Liu MC, Aquilino SA, Lund PS, Vargas MA, Diaz-Arnold AM, Gratton DG, et al. Human perception of dental porcelain translucency correlated to spectrophotometric measurements. *J Prosthodont* 2010;**19**:187-93.
17. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod* 1998;**24**:786-90.

18. Karamouzos A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE. Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil* 2007;**34**:613-21.
19. Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Nonvital tooth bleaching: a review of the literature and clinical procedures. *J Endod* 2008;**34**:394-407.
20. ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res* 1995;**74**:374-80.
21. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004;**32 Suppl 1**:3-12.
22. Shillingburg HT, Jr., Grace CS. Thickness of enamel and dentin. *J South Calif Dent Assoc* 1973;**41**:33-6 passim.
23. Mayoral JR, Arocha MA, Dominguez S, Roig M, Ardu S. In vivo spectrophotometric evaluation of pure enamel and enamel-dentine complex in relationship with different age groups. *J Dent* 2013;**41**:1245-50.
24. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont* 1995;**8**:79-86.
25. Yu B, Ahn JS, Lee YK. Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand* 2009;**67**:57-64.
26. Ardu S, Feilzer AJ, Braut V, Benbachir N, Rizcalla N, Mayoral JR, et al. Pilot in vivo image spectro-photometric evaluation of optical properties of pure enamel and enamel-dentin complex. *Dent Mater* 2010;**26**:e205-10.
27. Ardu S, Feilzer AJ, Devigus A, Krejci I. Quantitative clinical evaluation of esthetic properties of incisors. *Dent Mater* 2008;**24**:333-40.
28. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *J Dent* 2014;**42**:637-44.
29. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 2007;**16**:93-100.
30. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res* 1989;**68**:1755-9.
31. Dahl JE, Pallesen U. Tooth bleaching--a critical review of the biological aspects. *Crit Rev Oral Biol Med* 2003;**14**:292-304.
32. Hattab FN, Qudeimat MA, al-Rimawi HS. Dental discoloration: an overview. *J Esthet Dent* 1999;**11**:291-310.
33. Gozalo-Diaz D, Johnston WM, Wee AG. Estimating the color of maxillary central incisors based on age and gender. *J Prosthet Dent* 2008;**100**:93-8.
34. Ardu S, Braut V, Di Bella E, Lefever D. Influence of background on natural tooth colour coordinates: an in vivo evaluation. *Odontology* 2014;**102**:267-71.
35. Betrisey E, Krejci I, Di Bella E, Ardu S. The influence of stratification on color and appearance of resin composites. *Odontology* 2015.

13

Figura 20: Artículo enviado al Journal of Dentistry y esperando contestación.

ESTUDIO 2

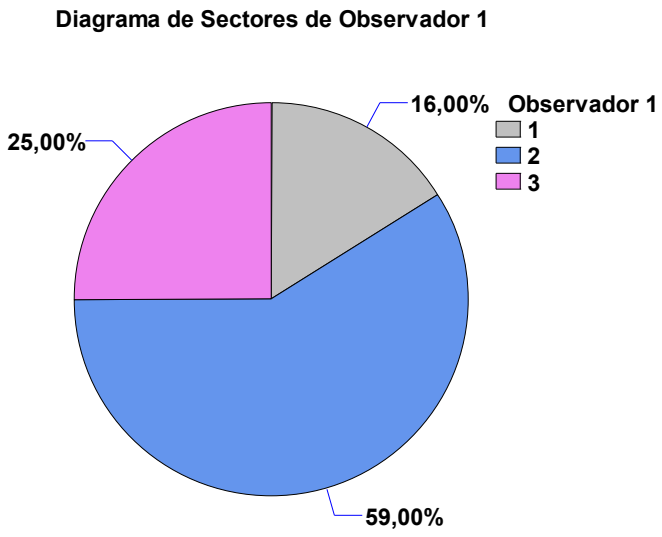

Figura 21: Diagrama de Sectores del Obervador 1. La zona gris corresponde al Alpha, el azul corresponde al Bravo y la zona rosa al Charlie

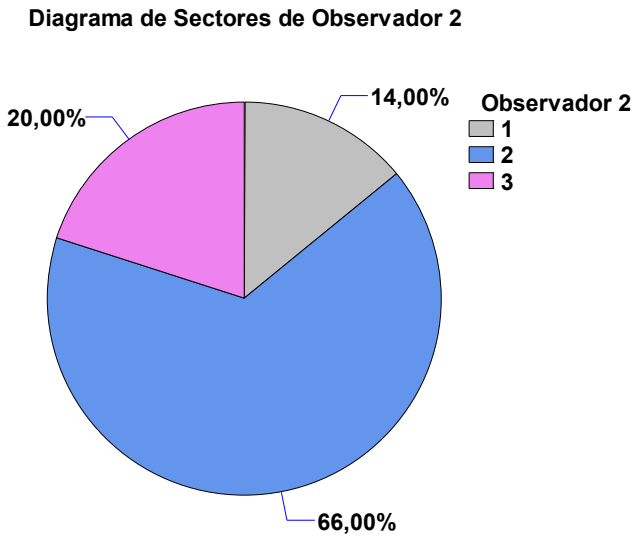

Figura 22: Diagrama de Sectores del Obervador 2. La zona gris corresponde al Alpha, el azul corresponde al Bravo y la zona rosa al Charlie

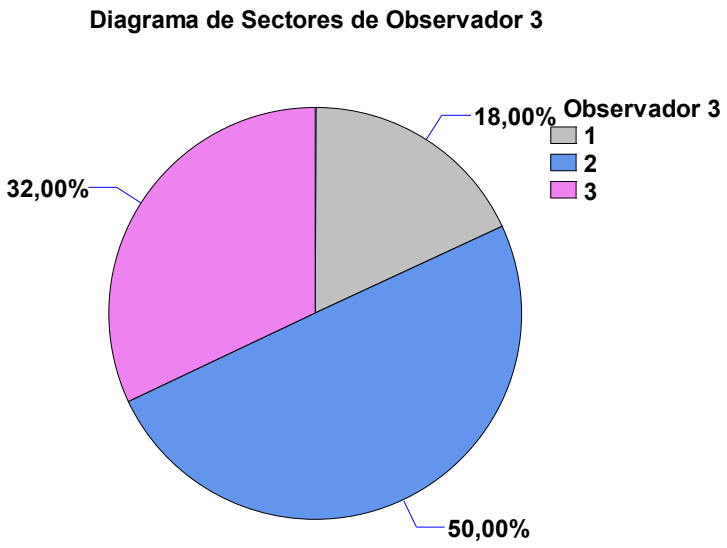

Figura 23: Diagrama de Sectores del Obervador 3. La zona gris corresponde al Alpha, el azul corresponde al Bravo y la zona rosa al Charlie

ID	OB1	OB2	OB3	OB_median
1	1	2	1	1
2	2	2	3	2
3	2	3	3	3
4	2	2	2	2
5	1	2	2	2
6	2	2	2	2
7	3	3	3	3
8	2	2	2	2
9	3	2	3	3
10	2	2	2	2
11	2	3	3	3
12	2	2	2	2
13	2	1	1	1
14	2	2	2	2
15	2	2	3	2
16	2	3	2	2
17	2	3	2	2
18	3	2	2	2
19	2	2	1	2
20	1	3	2	2
21	2	3	3	3
22	2	2	3	2

23	2	1	1	1
24	1	1	1	1
25	3	2	2	2
26	3	2	2	2
27	3	3	3	3
28	2	2	2	2
29	1	2	2	2
30	2	3	2	2
31	1	2	2	2
32	3	3	3	3
33	2	2	1	2
34	2	2	3	2
35	2	2	2	2
36	1	2	2	2
37	2	2	1	2
38	1	2	2	2
39	3	2	3	3
40	3	2	3	3
41	2	2	3	2
42	1	2	2	2
43	2	1	2	2
44	1	2	1	1
45	1	2	1	1
46	2	2	2	2
47	2	3	3	3
48	3	2	2	2
49	3	2	2	2
50	3	3	3	3
51	2	2	2	2
52	3	2	2	2
53	2	2	3	2
54	2	2	2	2
55	3	3	3	3
56	2	2	2	2
57	2	1	2	2
58	2	2	2	2
59	2	2	1	2
60	3	2	2	2
61	2	2	2	2
62	3	3	3	3
63	2	1	2	2
64	1	1	1	1
65	2	2	2	2
66	2	2	3	2
67	2	2	2	2
68	2	2	1	2
69	2	2	3	2
70	1	1	1	1

71	1	1	2	1
72	3	2	2	2
73	3	2	2	2
74	1	1	1	1
75	2	2	2	2
76	2	3	3	3
77	2	2	1	2
78	3	2	2	2
79	2	2	2	2
80	2	2	2	2
81	2	3	2	2
82	2	3	2	2
83	2	2	3	2
84	1	2	1	1
85	2	3	2	2
86	2	1	1	1
87	2	2	2	2
88	2	2	3	2
89	3	2	3	3
90	3	2	3	3
91	3	2	2	2
92	2	2	3	2
93	3	3	3	3
94	3	3	3	3
95	2	1	1	1
96	3	2	3	3
97	2	1	2	2
98	2	1	3	2
99	2	2	2	2
100	2	2	3	2

Figura 24: donde muestra los resultados de los tres observadores: 1=Alpha, 2=Bravo, 3=Charlie y la media de las tres.

ID	Antes de la Clase IV			1 semana de la Clase IV			CIEDE00
	L1	a1	b1	L2	a2	b2	
1	65,53	0,40	13,32	64,49	-0,33	13,33	1,27
2	53,38	3,09	22,37	60,71	1,68	16,04	7,61
3	70,69	-1,68	7,57	65,34	-1,55	9,03	4,38
4	70,97	-0,93	12,82	69,40	-0,70	13,57	1,34
5	71,89	-1,42	9,02	68,28	-0,66	10,29	3,12
6	69,91	0,84	16,69	70,97	0,41	16,90	0,97
7	72,65	-1,34	9,57	68,91	-0,07	14,39	4,63
8	63,92	4,08	20,52	64,52	3,40	20,18	0,86
9	68,55	-1,20	9,32	70,05	-0,89	11,68	2,06
10	64,43	1,75	15,38	62,87	2,00	17,50	1,79
11	58,63	3,68	15,56	58,14	1,69	14,74	2,42
12	55,06	4,52	14,11	54,65	4,76	17,87	2,28
13	65,91	2,22	20,91	66,50	1,94	18,21	1,52
14	59,12	2,85	16,62	58,98	1,47	14,94	1,82
15	70,67	0,24	16,23	70,06	0,00	16,34	0,56
16	64,83	0,98	15,64	64,90	0,40	13,33	1,55
17	63,39	2,67	17,77	64,43	1,80	16,05	1,57
18	72,61	-2,28	6,02	71,24	-1,50	11,21	4,19
19	62,18	3,47	16,84	64,30	1,30	14,15	3,37
20	66,32	0,20	15,11	65,78	-0,01	14,57	0,60
21	70,03	0,27	12,51	67,16	0,43	13,83	2,41
22	71,36	-0,85	11,82	69,43	-0,54	15,88	2,96
23	62,13	3,36	19,22	63,30	3,46	19,22	1,00
24	69,43	-2,14	11,84	68,52	-0,98	12,03	1,66
25	66,14	3,95	19,34	64,33	2,16	18,38	2,46
26	66,16	1,78	15,40	65,45	1,68	14,97	0,64
27	65,37	1,35	19,86	63,70	0,07	13,85	3,93
28	65,41	0,03	14,34	64,41	0,01	12,30	1,52
29	61,85	4,07	15,97	63,20	4,89	14,98	1,72
30	61,65	3,73	15,08	59,60	0,63	14,45	4,20
31	66,04	0,72	16,09	68,16	0,19	17,99	2,12
32	62,92	1,50	20,54	69,92	1,10	16,22	6,14
33	65,79	1,62	15,84	65,58	0,54	13,27	1,99
34	67,68	0,74	12,18	68,75	0,11	14,22	1,76
35	66,00	0,74	16,00	67,66	0,64	17,88	1,72
36	63,39	2,78	18,02	65,06	2,21	17,39	1,55
37	68,79	0,28	15,40	70,31	-0,28	14,12	1,57
38	77,10	-1,36	8,25	74,79	-0,81	10,41	2,42
39	77,15	-2,26	-8,46	72,64	-1,49	12,17	17,91
40	72,90	-1,61	4,23	73,03	-1,77	8,24	3,15
41	69,81	-0,05	12,13	66,15	-0,32	14,12	3,18
42	65,60	-0,03	11,19	66,26	-0,84	12,53	1,46
43	62,62	0,40	14,44	62,43	0,08	13,03	0,97
44	62,77	0,40	14,10	64,70	0,11	13,42	1,71
45	61,59	0,29	13,59	61,28	0,34	15,24	1,04
46	66,18	-0,10	11,04	66,08	-0,33	14,08	1,96

47	69,21	-0,17	11,20	64,37	-0,19	13,38	4,14
48	69,52	-0,30	14,34	64,87	0,39	15,46	3,88
49	68,76	1,21	19,73	68,63	0,36	12,02	4,57
50	68,84	-0,25	11,83	65,23	-0,20	13,78	3,15
51	61,81	2,36	20,53	65,98	1,47	18,75	3,71
52	65,16	0,54	17,57	65,36	0,33	15,22	1,38
53	67,93	-0,12	14,49	65,68	-0,64	14,90	1,94
54	65,19	0,95	16,50	66,38	0,34	14,19	1,81
55	63,70	1,47	15,91	66,51	-0,50	15,30	3,36
56	67,64	0,63	13,23	62,77	-0,02	12,38	4,12
57	66,15	1,16	16,07	68,02	0,92	15,55	1,55
58	68,79	0,14	15,68	66,94	-0,54	14,30	1,89
59	66,63	-0,63	10,29	68,81	0,08	14,22	3,22
60	70,72	-0,57	6,98	63,57	-0,09	11,38	6,56
61	68,74	-0,28	10,78	64,69	-0,58	13,20	3,64
62	60,39	0,17	11,04	57,31	0,04	19,39	5,67
63	64,76	0,20	15,98	67,12	-11,00	15,77	11,79
64	69,46	0,38	12,63	68,37	-0,66	12,25	1,62
65	65,62	-0,01	12,29	72,57	-0,64	11,97	5,50
66	64,41	3,00	20,15	64,96	1,53	17,11	2,23
67	69,74	1,00	16,30	67,48	0,95	16,56	1,79
68	69,48	2,19	19,95	70,28	1,06	19,04	1,44
69	66,95	3,17	20,37	66,78	1,71	18,30	1,82
70	74,16	-0,66	13,78	73,87	-0,28	14,37	0,65
71	64,94	0,35	13,41	64,72	0,39	13,37	0,19
72	67,26	0,83	14,58	70,10	0,64	16,11	2,43
73	60,92	3,10	18,18	60,25	2,66	18,39	0,79
74	65,44	0,10	14,75	65,87	0,46	15,87	0,87
75	64,10	1,68	16,74	63,88	1,71	17,76	0,60
76	66,03	1,21	11,68	71,00	0,04	13,43	4,37
77	64,88	1,03	14,41	65,93	1,21	17,25	1,87
78	63,08	0,38	15,28	65,36	0,59	16,05	1,96
79	58,96	0,24	13,56	58,50	0,13	14,04	0,53
80	64,50	1,28	19,99	64,04	0,73	16,38	2,08
81	64,94	1,18	12,25	65,14	0,58	13,32	1,08
82	64,80	0,53	11,60	68,64	0,01	14,87	3,78
83	67,04	1,23	13,24	66,70	0,20	13,22	1,36
84	70,57	1,46	16,68	74,37	0,18	12,92	3,92
85	64,93	4,35	17,92	61,99	4,12	18,31	2,50
86	77,31	0,08	16,26	72,15	0,22	15,77	3,79
87	69,29	0,94	10,83	71,32	0,91	12,90	2,07
88	70,11	0,42	16,30	73,43	-0,26	13,84	3,03
89	65,06	3,41	18,37	70,46	1,56	14,41	5,19
90	64,90	4,82	19,61	62,00	4,80	20,61	2,50
91	67,46	-0,78	11,70	66,74	-0,38	11,89	0,79
92	68,43	1,39	14,22	67,43	0,38	14,55	1,53
93	68,27	0,28	12,55	65,99	-0,23	12,01	1,97

94	67,45	1,29	16,48	65,94	0,52	14,13	2,04
95	69,20	1,65	12,92	67,97	0,81	13,49	1,52
96	67,53	1,68	13,45	71,24	0,46	11,31	3,53
97	70,98	0,64	10,34	68,15	0,47	11,09	2,27
98	64,57	1,56	14,43	67,45	0,44	13,67	2,76
99	66,33	3,88	18,20	64,83	1,45	16,59	3,07
100	78,72	-1,68	2,22	75,30	-1,62	2,90	2,52

Figura 25: se muestran los valores L*1, a*1 y b*1 que corresponden previos a la restauración Clase IV y los valores L*2, a*2 y b*2 que corresponden después de la restauración estética.