

FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

MÁSTER EN OPTOMETRÍA Y VISIÓN

**Cuantificación de la visión cromática en
pacientes con distintas patologías retinianas**

*Quantification of color vision in patients with
different retinal pathologies*

Trabajo presentado por:

Laura Tortajada Isidro

María de las Nieves Valverde Sánchez

Dirigido por:

Juan Enrique Cedrún Sánchez

Madrid, a 17 de junio de 2020



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

MÁSTER EN OPTOMETRÍA Y VISIÓN

Dr. **Juan Enrique Cedrún Sánchez**, profesor del *Departamento de Optometría y Visión*, de la Universidad Complutense de Madrid.

AUTORIZA:

La presentación del trabajo titulado ***Cuantificación de la visión cromática en pacientes con distintas patologías retinianas*** realizado por ***Laura Tortajada Isidro y María de las Nieves Valverde Sánchez***, bajo mi dirección y supervisión, y que presenta para la evaluación en la asignatura Trabajo Fin de Máster del Máster en Optometría y Visión de la UCM.

Madrid, 17 de junio de 2020

Fdo.: *Juan Enrique Cedrún Sánchez*



Índice

I. Índice de tablas.....	4
II. Índice de figuras	5
III. Índice de abreviaturas y siglas.....	7
IV. Resumen.....	8
V. Abstract.....	9
1. Introducción	10
2. Hipótesis.....	14
3. Objetivos.....	14
3.1. Objetivo general.....	14
3.2. Objetivos específicos	15
4. Sujetos, material y métodos.....	15
4.1. Diseño del estudio.....	15
4.2. Sujetos.....	15
4.3. Material	16
4.4. Métodos	16
4.4.1. Agudeza visual con test ETDRS de contraste 100% y 10%	16
4.4.2. Test de Farnsworth D-15 saturado.....	19
4.4.2.1. Iluminante D65	21
4.4.2.2. Método de cuantificación del color Vingrys	22
4.5. Análisis estadístico.....	26
5. Resultados.....	27
5.1. Características de la muestra.....	27
5.2. Agudeza visual.....	28
5.2.1. Agudeza visual de lejos 100%	28
5.2.2. Influencia del contraste en la agudeza visual	29
5.3. Método de cuantificación del color Vingrys.....	29
5.4. Test de Farnsworth D-15.....	33
6. Discusión	35
7. Conclusiones	37
8. Bibliografía.....	38
9. Anexos.....	41
9.1. Autorización del comité de ética.....	41
9.2. Hoja de resultados del test Farnsworth D-15 saturado.....	42



I. Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de tricrómata anómalo. Tomada de Urtubia, 1996.....	12
Tabla 2. Clasificación de tricrómata anómalo. Tomada de Urtubia, 1996.....	13
Tabla 3. Escala de AV decimal y logMAR. Elaboración propia.....	17
Tabla 4. Características demográficas y visuales de los participantes con DMAE y RP.....	27
Tabla 5. Agudezas visuales logMAR medias con compensación habitual y con la nueva refracción en DMAE y RP en monocular.....	28
Tabla 6. Agudezas visuales logMAR con la nueva compensación para un contraste de 100% y 10% en DMAE y RP en monocular.	29
Tabla 7. Resultados del análisis de vectores mediante el método de Vingrys.....	30



II. Índice de figuras

Figura 1. Curvas de sensibilidad de los tres tipos de conos en relación a la longitud de onda. Tomada de Monaci et al., 2020. ⁽⁷⁾	11
Figura 2. Simulación del espectro visible en protanopes, deuteranopes y tritanopes. Basada en Coca, 2012. ⁽¹⁰⁾	13
Figura 3. Simulación de apariencia de color de un dicromáta. Elaboración propia.....	13
Figura 4. Representación del ángulo MAR. Elaboración propia.	17
Figura 5. Test ETDRS al contraste 100% y 10%. Tomada de Cedrún, 2018. ⁽³⁵⁾	18
Figura 6. Test Farnsworth D-15. Elaboración propia.....	19
Figura 7. Disposición perfecta de las fichas sobre la hoja de registro del test Farnsworth D-15. Elaboración propia.....	20
Figura 8. Disposiciones típicas de las fichas del test D-15 de observador normal (A) y con leve entrecruzamiento que es considerado normal (B). Elaboración propia.	20
Figura 9. Disposiciones típicas de las fichas del test D-15 para observadores tritanope (A), deuteranope (B) y protanope (C). Elaboración propia.....	20
Figura 10. Comparación de los espectros electromagnéticos de diferentes bombillas frente a la luz diurna. Basada en Caramelo et al., 2015. ⁽⁴⁴⁾	21
Figura 11. Diferentes iluminantes en el espacio CIE L*u*v* (1976). Elaboración propia.....	21
Figura 12. Representación de distintas discromatopsias con el test D-15 sobre el espacio CIE L*u*v* (1976). Elaboración propia.	23
Figura 13. Líneas de confusión de dicrómatas en espacio CIE L*u*v* (1976). Elaboración propia.	23
Figura 14. Disposición de los ángulos de confusión de los distintos ejes cromáticos. Elaboración propia.....	24
Figura 15. Vectores de diferencia de color relativos trazados para distintas discromatopsias. Basada en Vingrys, 1988. ⁽⁴⁷⁾	25
Figura 16. Agudeza visual logMAR en relación con la compensación óptica refractiva de cada ojo.....	28
Figura 17. Agudeza visual logMAR obtenida con contraste 100% y 10%.....	29
Figura 18. Relación del radio menor con el radio mayor.	30
Figura 19. Relación del C-index con el ángulo de confusión de obtenido en el test de Farnsworth D-15.	31
Figura 20. Relación del C-index con la agudeza visual (logMAR).	32
Figura 21. Relación del S-index con C-index.	32
Figura 22. Relación de TES con C-index y S-index.	33



Figura 23. Clasificación de los sujetos según las distintas anomalías en la percepción del color, sin tener en cuenta la separación por patologías. 34

Figura 24. Clasificación de las proporciones de las distintas anomalías en la percepción del color..... 34



III. Índice de abreviaturas y siglas

- **AV:** Agudeza Visual.
- **AV_{nueva}:** Agudeza Visual con la nueva compensación refractiva u óptica.
- **AV_{pre}:** Agudeza Visual con la compensación refractiva u óptica previa a la consulta.
- **C-index:** índice de confusión cromático.
- **CIE:** Commission Internationale de L'Éclairage.
- **DMAE:** Degeneración Macular Asociada a la Edad.
- **DE:** desviación estándar.
- **Dx:** diagnóstico.
- **E:** punto equienergético.
- **ETDRS:** (*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*) Estudio del tratamiento precoz de la retinopatía diabética.
- **Ficha (R):** ficha referencia test Farnsworth D-15 saturado.
- **°K:** grados Kelvin.
- **logMAR:** escala logarítmica del Mínimo Ángulo de Resolución.
- **MAR:** Mínimo Ángulo de Resolución.
- **nm:** nanómetros.
- **R_M:** radio de giro mayor.
- **R_m:** radio de giro menor.
- **RP:** Retinosis Pigmentaria.
- **S-index:** índice de selectividad cromático.
- **T_{cp}:** temperatura de color correlativa.
- **TES:** puntuación de error total.
- **VDC:** vectores de diferencia de color.
- **α:** ángulo de confusión cromático.



IV. Resumen

Introducción: La degeneración macular asociada a la edad (DMAE) y la retinosis pigmentaria (RP) son dos patologías degenerativas retinianas que afectan al área visual central y periférica ocasionando problemas en la función visual. Por ello, el objetivo es cuantificar la alteración de la visión cromática para conocer el grado de pérdida según la patología retiniana y su relación con la agudeza visual (AV), medida en diferentes contrastes.

Métodos: Este estudio transversal de carácter retrospectivo, se realizó en 63 sujetos (23-94 años), clasificados en DMAE húmeda, DMAE seca y RP. Se evaluó la visión al color mediante el test de Farnsworth D-15 saturado cuantificando su defecto cromático mediante el método de Vingrys. El estado visual se analizó mediante el test de AV ETDRS al contraste 100% y 10%.

Resultados: La prueba del color muestra que el 44% de pacientes tiene defecto tipo tritán, el 39% no manifiestan ninguna anomalía cromática y se tiene valores inferiores al 10% en defectos tipo deután y protán. Entre los parámetros descritos por Vingrys para cuantificar la visión al color destacan el ángulo de confusión (α) y el índice de confusión (C-index). Se tiene en DMAE seca un $\alpha=76,25 \pm 26,38$ y $C\text{-index}=3,32 \pm 2,02$; para DMAE húmeda $\alpha=90,63 \pm 38,65$ y $C\text{-index}=2,53 \pm 0,65$; y RP tiene $\alpha=74,98 \pm 22,96$ y $C\text{-index}=74,98 \pm 22,96$. En relación con la AV logMAR en contraste 100% se obtiene en DMAE húmeda $0,79 \pm 0,49$, DMAE seca $0,34 \pm 0,24$ y RP $0,30 \pm 0,24$, empeorando los resultados cuando el contraste es 10% en DMAE húmeda ($1,23 \pm 0,77$), DMAE seca ($0,66 \pm 0,33$) y RP ($0,48 \pm 0,25$).

Conclusiones: El defecto cromático más prevalente en DMAE y RP se da en el eje de anomalía tritán. Además, la AV se muestra disminuida cuando se reduce el contraste del test ETDRS de 100% a 10%.

Palabras clave: *Farnsworth D-15, degeneración macular asociada a la edad (DMAE), retinosis pigmentaria (RP), agudeza visual (AV), discromatopsia.*



V. Abstract

Introduction: Age-related macular degeneration (AMD) and retinitis pigmentosa (RP) are both retinal degenerative diseases that affect the central and peripheral visual area, causing problems in visual function. The aim of this project is to quantify the alteration of color vision so as to know the degree of loss according to the retinal pathology and its relationship with visual acuity (VA), which is measured in different contrasts.

Methodology: This retrospective cross-sectional study was conducted on 63 participants (from 23 to 94 years old), who were categorized as wet AMD, dry AMD and RP. Color vision was evaluated using the Farnsworth D-15 saturated test, which quantifies the color defect according to the Vingrys method. The visual state was analyzed using the ETDRS VA test at 100% and 10% contrast.

Results: The color test shows that 44% of patients have a tritan defect, 39% have no chromatic anomaly, and below 10% show values in deutan and protan defects. The main parameters reported using Vingrys method for quantifying color vision are the confusion angle (α) and confusion index (C-index). Results for dry AMD are $\alpha=76,25 \pm 26,38$ and $C\text{-index}=3,32 \pm 2,02$; for wet AMD are $\alpha=90,63 \pm 38,65$ and $C\text{-index}=2,53 \pm 0,65$; while RP has $\alpha=74,98 \pm 22,96$ and $C\text{-index}=74,98 \pm 22,96$. In relation to the logMAR VA at 100% contrast, results showed $0,79 \pm 0,49$ for wet AMD, $0,34 \pm 0,24$ for dry AMD and $0,30 \pm 0,24$ for RP. When the contrast is at 10%, the results were worse in all fields: $1,23 \pm 0,77$ for wet AMD, $0,66 \pm 0,33$ for dry AMD and $0,48 \pm 0,25$ for RP.

Conclusions: The most prevalent color defect in AMD and RP occurs on the tritan anomaly axis. In addition, VA seems to be diminished when the contrast of the ETDRS test is reduced from 100% to 10%.

Keywords: *Farnsworth D-15, age-related macular degeneration (AMD), retinitis pigmentosa (RP), visual acuity (VA), dyschromatopsia.*



1. Introducción

Los defectos cromáticos pueden verse asociados a ciertas patologías retinianas entre las que se destaca la degeneración macular asociada a la edad (**DMAE**) o la retinosis pigmentaria (**RP**) por ser las más prevalentes.

Si se hace referencia a la DMAE, patología degenerativa que afecta a un área de la retina, la mácula, responsable de la visión central. Los síntomas iniciales de la DMAE son distorsión de las líneas rectas o visión de una mancha oscura en el área central. Se distingue la *DMAE seca* o *atrófica*, la más frecuente (80-90%), con pérdida de visión muy lenta y actualmente no se dispone de tratamiento; y la *DMAE húmeda* o *exudativa*, menos frecuente (20%), con pérdida de visión más acelerada y puede ser tratada mediante inyecciones intraoculares de fármacos inhibidores del factor de crecimiento vascular endotelial (anti-VEGF).^(1, 2) La afectación en la percepción del color comienza con pérdidas tempranas en la discriminación del color previos a cambios detectables en la morfología retiniana o la agudeza visual (AV). Inicialmente, se afecta la pérdida en el eje azul-amarillo y, más tardíamente, en los ejes rojo-verde.⁽³⁾

Con respecto a la RP, enfermedad degenerativa con afectación bilateral caracterizada principalmente por la pérdida de visión periférica.^(4, 5) Se encuentra una disfunción de los bastones y pérdida progresiva de la función de ambos fotorreceptores (conos y bastones). Algunas de las manifestaciones clínicas que puede presentar esta patología son fotofobia (hipersensibilidad al deslumbramiento y a la presencia de luz difusa), ceguera nocturna o nictalopía (debido a que los bastones de retina periférica son los primeros en deteriorarse), disminución lenta y progresiva del campo visual periférico con la edad, disminución de la AV y sensibilidad al contraste. En la actualidad, no está disponible un protocolo de tratamiento estándar para pacientes con RP, es decir, no existe una cura para la pérdida de los fotorreceptores.⁽⁴⁾ El defecto cromático más común se da para el eje de anomalía tipo tritán.⁽⁶⁾ En una patología retiniana con alteración en la percepción cromática es importante su detección para poder poner tratamiento o, simplemente, asesorar a la persona para que conozca su visión cromática y modificar ciertos aspectos de su vida diaria para intentar mejorar su calidad de vida. El conocimiento de la visión cromática, por parte de los profesionales de la salud visual, es fundamental para poder ayudar lo mejor posible a los pacientes.

Los defectos al color se pueden detectar mediante una serie de tests visuales específicos como por ejemplo el test de Ishihara. El cual consta de una serie de láminas de color donde el paciente debe averiguar el número que hay en esta. Sin embargo, hay otros que lo clasifican y además lo cuantifican, como el test de Farnsworth D-15, formado por fichas de colores numeradas donde el paciente debe ordenarlas según las tonalidades de color.

Fisiología

La visión cromática es posible gracias a los estímulos luminosos recibidos por los conos. De este modo, los conos son capaces de detectar tres variables cromáticas del espectro electromagnético: **L** (longitud de onda larga), **M** (longitud de onda media) y **S** (longitud de onda corta). Estas variables cromáticas combinadas adecuadamente permiten obtener todos los demás colores (*fig. 1*).⁽⁷⁾

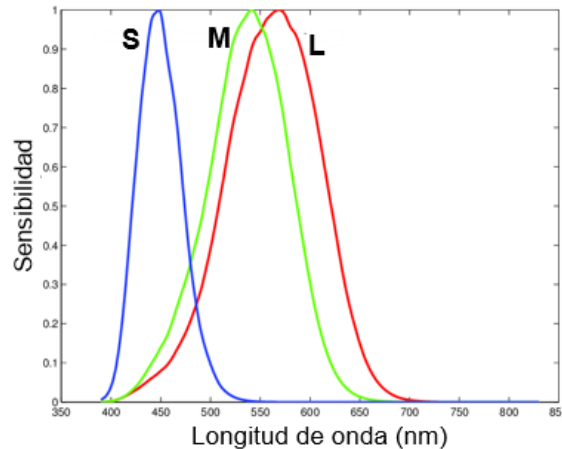


Figura 1. Curvas de sensibilidad de los tres tipos de conos en relación a la longitud de onda. Tomada de Monaci et al., 2020.⁽⁷⁾

Una disfunción en uno de estos conos provoca una anomalía cromática que puede ser de origen congénito o adquirido.

Se habla de **defecto congénito** cuando es un defecto de nacimiento o anomalía que cursa con anomalías estructurales o funcionales por causas genéticas ligadas con el cromosoma X. Por ello, el sexo masculino es más frecuente a padecer una anomalía cromática frente al género femenino puesto que la mujer debería heredar los dos cromosomas X afectados reduciendo así su probabilidad.⁽⁸⁾ Se encuentra una prevalencia de 8% en hombres y 0,5% en mujeres, siendo los defectos más frecuentes en el eje rojo-verde.⁽⁹⁾ Este tipo de defectos suele darse de forma bilateral y no está asociado a ninguna circunstancia, más allá de la genética.⁽⁸⁾

Un **defecto adquirido** puede deberse a:^(8, 10)

- Patologías como diabetes, cataratas, RP, glaucoma o DMAE.
- Toxicidad por antibióticos o solventes químicos.
- Retinopatías neurológicas como neuritis óptica.
- Traumas o lesiones en la cabeza u ojo.

Este defecto puede darse de forma distinta en cada ojo y se produce principalmente de forma monocular. Por tanto, una alteración cromática puede darse de distinta manera entre los dos ojos, pudiendo afectar de la misma manera a hombres y mujeres. La alteración más común suele ser en la percepción del color azul y afecta normalmente a ancianos o niños.^(8, 10)



Clasificación defectos cromáticos

Según el defecto cromático que padezca el paciente, se debe distinguir entre tricrómata anómalo, dicrómata, monocrómata o acrómata.

➤ **Tricrómatas anómalos:** sujetos que anatómicamente presentan los tres tipos de conos (S, M y L) pero el problema reside en que los tres fotopigmentos responsables de la visión al color presenta una anomalía o defecto produciendo una percepción cromática insuficiente, ocasionando una deficiencia visual parcial.^(8, 10) Para este tipo de defecto se distingue:^(8, 10, 11)

- *Protanomalía:* percepción débil de tonos rojos debido a una actividad deficiente de los conos L (sensibles al rojo).

- *Deuteranomalía:* percepción débil de tonos verdes debido a una actividad deficiente de los conos M (sensibles al verde).

- *Tritanomalía:* percepción débil de tonos azul-amarillo debido a una actividad deficiente de los conos S (sensibles al azul).

En la [tabla 1](#) se resume las tres categorías de un tricrómata anómalo mostrando el defecto al color que posee.⁽¹²⁾

Tabla 1. Clasificación de tricrómata anómalo. Tomada de Urtubia, 1996.

Denominación	Percepción del color	Déficit
Protanomalía	Tricrómata anormal	Rojo-Verde
Deuteranomalía	Tricrómata anormal	Rojo-Verde
Tritanomalía	Tricrómata anormal	Azul-Amarillo

➤ **Dicrómatas:** sujetos que se caracterizan porque únicamente disponen de dos tipos de fotorreceptores, es decir, tienen ausencia de un tipo de cono produciendo una deficiencia visual total. Lo que hace el observador es igualar los colores con la mezcla de dos fotopigmentos.^(10, 13) Se clasifica en ([fig.2](#)):^(10, 14)

- *Protanopía:* ausencia del fotorreceptor rojo. Confunden el rojo con el gris y el azul con el púrpura. Los protanopes tienen su punto neutro en la longitud de onda de 492 nm, percibiéndolo como blanco.

- *Deuteranopía:* ausencia del fotorreceptor verde. Confunden el verde y el púrpura con el gris. Los deuteranopes tienen su punto neutro en la longitud de onda de 499 nm, percibiéndolo como blanco.

- *Tritanopía:* ausencia del fotorreceptor azul. Confunden el amarillo verdoso y el rosa púrpura con el gris; el verde amarillento con el violado azulado y el anaranjado con el rojo púrpura. Los tritanopes tienen su punto neutro en la longitud de onda de 570 nm, percibiéndolo como blanco.

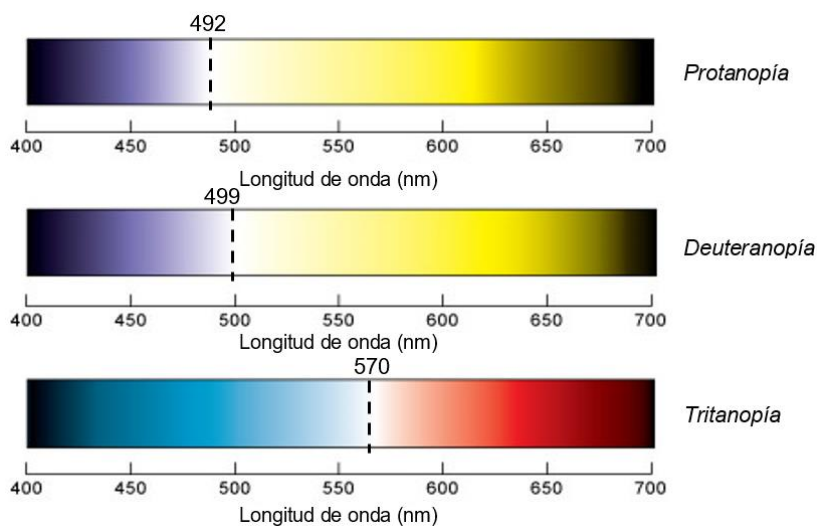


Figura 2. Simulación del espectro visible en protanopes, deuteranopes y tritanopes. Basada en Coca, 2012.⁽¹⁰⁾

En la [tabla 2](#) se resume las tres categorías de un dicrómata mostrando el defecto al color que posee.⁽¹²⁾

Tabla 2. Clasificación de tricrómata anómalo. Tomada de Urtubia, 1996.

Denominación	Percepción del color	Déficit
Protanopía	Dicrómata	Rojo-Verde
Deuteranopía	Dicrómata	Rojo-Verde
Tritanopía	Dicrómata	Azul-Amarillo

Se ha descrito teóricamente cuáles son las anomalías que presentan los individuos dicrómatas y el déficit funcional que lo provoca. Para verlo de una forma más práctica, hemos realizado una simulación de cada una de las posibles confusiones de los colores que caracterizan estas discromatopsias. Para ello, se muestran una serie de imágenes que intentan describir mediante una simulación como se percibe el mundo por un dicrómata ([fig. 3](#)).



Figura 3. Simulación de apariencia de color de un dicromáta. Elaboración propia.

- **Monocrómatas:** se caracterizan por sólo poseer un fotorpigmento en conos y otro en bastones siendo su visión al color nula. Esta deficiencia es hereditaria y poco común.^(8, 10)
- **Acrómatas:** se caracterizan porque disponen únicamente de bastones y, por tanto, carecen de la visión al color (al no tener conos). Estos pacientes perciben los objetos en tonos de grises. Además, presentan problemas visuales como fotofobia y baja AV.^(8, 10)



La visión del color es muy importante en nuestras vidas y resulta primordial tener una buena visión cromática. Además, hay una parte social, cultural y ocio de la visión de los colores.

Se pueden encontrar algunas dificultades en las actividades diarias, por ejemplo, al combinar el color de la ropa, en el reconocimiento de flores y plantas o al escoger una fruta madura. Además, también puede afectar a la conducción, estudios y trabajos.⁽¹⁰⁾

En muchas profesiones como pueden ser policías, bomberos, pilotos aéreos, personal aeroportuario y personal ferroviario entre otras, el defecto en la visión del color puede provocar situaciones de inseguridad o peligro (recogido en el Boletín Oficial del Estado ⁽¹⁵⁻¹⁹⁾).

En la conducción de vehículos, las alteraciones en la percepción cromática conocidas como discromatopsias, están permitidas por el Reglamento General de Conductores⁽²⁰⁾; aunque se ha detectado que los conductores con deficiencia en la visión del color tienen más dificultades en reconocer las señales de tráfico.⁽²¹⁻²³⁾ Esto hace que aumente el tiempo de reacción con respecto a los conductores con visión normal del color.^(24, 25)

En el área de la educación, existe una mayor dificultad en la educación de niños con anomalías cromáticas debido al frecuente uso de la utilización del color como recurso de aprendizaje.⁽²⁶⁻²⁸⁾

La realización de este trabajo se justifica debido a la alta prevalencia de pacientes que presentan DMAE (3,40% llegando a alcanzar el 8,50% en mayores de 80 años)⁽²⁹⁾ y de RP (entre 0,033% y 0,020%)⁽⁴⁾. Por tanto, es muy importante conocer cómo es la función visual de estas personas para conocer cómo se desenvuelven en su día a día. También es relevante conocer el color para detectar patologías visuales que pueden manifestarse de manera más temprana por medio de anomalías cromáticas.

2. Hipótesis

Los pacientes con enfermedades de la retina tienen alteraciones en la visión cromática adquiridas por su patología.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Analizar la visión cromática en pacientes con distintas patologías retinianas aplicando un procedimiento cuantitativo para relacionar la alteración del color y la función visual en distintas enfermedades retinianas.



3.2. Objetivos específicos

Para la consecución del objetivo general se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Conocer el estado refractivo inicial, la correcta compensación óptica y su posible repercusión en la AV en pacientes con DMAE y RP.
- ❖ Identificar si es necesario incluir en los protocolos optométricos, en personas con patologías retinianas, pruebas de contraste y color que permitan la detección precoz de posibles disfunciones.
- ❖ Explorar la influencia del contraste en la resolución espacial de las personas con patología retiniana.
- ❖ Cuantificar los defectos de la visión del color en pacientes con patologías retinianas utilizando el test de Farnsworth D-15 saturado.
- ❖ Relacionar la discriminación del color con la función visual en patologías retinianas.
- ❖ Comparar la visión del color en distintas patologías retinianas con afectación del campo central y periférico.
- ❖ Evaluar el deterioro de la función visual que se produce en pacientes con patología retiniana en bajo contraste.

4. Sujetos, material y métodos

4.1. Diseño del estudio

Estudio transversal con carácter retrospectivo en pacientes con diagnóstico de patología retiniana. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos de Madrid (*Anexo I*). Todos los procedimientos llevados a cabo a lo largo del estudio respetaron los principios éticos adheridos a la Declaración de Helsinki para sujetos humanos.

4.2. Sujetos

Para determinar el tamaño muestral (n) requerido en el estudio se realizó un estudio piloto con 13 pacientes con patología retiniana. Se consideraron los valores del índice de confusión cromático (*C-index*) por ser la variable principal de este estudio. Los cálculos se realizaron con un nivel de confianza o seguridad del 95% y un poder estadístico del 90%. De este estudio piloto se calculó un tamaño muestral necesario de 61 pacientes. Debido a que los datos son extraídos del fichero de los pacientes, se consideró el 0% de pérdidas. No obstante, se aumentó ligeramente este tamaño hasta 65 personas para reducir el riesgo de pérdidas de pacientes por no estar considerado cero por ser ya vistos por el investigador principal de este estudio. Estos 13 pacientes tenían defecto de campo visual central y periférico. La muestra de pacientes sometidos al estudio estuvo compuesta por un total de 63 sujetos (26 hombres y 37 mujeres) de edades comprendidas entre los 23 y 94 años.



La evaluación de las pruebas clínicas se realizó en la clínica de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid en pacientes con DMAE y RP.

En este estudio se utilizaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Criterios de inclusión:
 1. Pacientes con diagnóstico oftalmológico de DMAE y RP.
 2. Haber realizado la prueba de color Farnsworth D-15 saturado.
 3. Pacientes con AV menor de 1,70 logMAR.
- Criterios de exclusión:
 1. Pacientes sanos o con otras patologías retinianas.
 2. Pacientes con AV mayor de 1,70 logMAR.

4.3. Material

El material empleado en el estudio fue el siguiente:

- Ocluser.
- Gafas de prueba.
- Lentes esféricas y astigmáticas.
- Test de agudeza visual ETDRS al contraste 100% y 10%.
- Test Farnsworth D-15 saturado.
- Guantes de algodón.
- Flexo con tecnología “espectro-completo” *daylight* con temperatura de color de 6500°K.
- Hojas de recogida de resultados.

4.4. Métodos

En los siguientes puntos se enumera la metodología usada y los procedimientos desarrollados en las diferentes pruebas.

4.4.1. Agudeza visual con test ETDRS de contraste 100% y 10%

Se define la agudeza visual (*AV*) como la capacidad del sistema visual para percibir y diferenciar dos estímulos visuales separados por un determinado ángulo (α), es decir, la capacidad de resolución espacial.⁽³⁰⁾

La AV también es definida como la inversa del mínimo ángulo de resolución (*MAR*) medido en minutos de arco.^(31, 32)

$$AV_{decimal} = \frac{1}{MAR}$$

El MAR es el tamaño angular del detalle más pequeño de lo que un sujeto es capaz de resolver. Para definirlo se usa la letra E de Snellen que es dividida en cinco trazos donde se tiene en cuenta los tres brazos y los dos espacios en blanco. Es importante especificar que los cinco trazos tienen la misma anchura y cada trazo mide minuto de arco de su subtenso angular vertical (fig.4).⁽³²⁾

La distancia desde el punto de origen a la E de Snellen que se suele tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos de AV suele ser de seis metros.⁽³²⁾

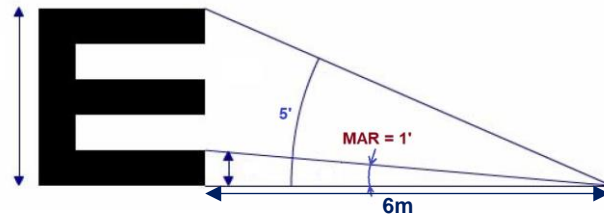


Figura 4. Representación del ángulo MAR. Elaboración propia.

En la escala logarítmica logMAR, la AV es el logaritmo decimal del tamaño angular expresado en minutos de arco del detalle más pequeño reconocido por el sujeto (tabla 3). Su expresión matemática es $logMAR = log_{10} MAR$.^(33, 34) La relación entre el valor decimal y logarítmico (logMAR) queda establecida con la siguiente expresión:

$$AV_{decimal} = 10^{-logMAR}$$

Tabla 3. Escala de AV decimal y logMAR. Elaboración propia.

Decimal	1,0	0,8	0,63	0,5	0,4	0,33	0,25	0,2	0,17	0,13	0,1
LogMAR	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

En el estudio se utilizó el test logarítmico ETDRS (*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*) con contraste del 100% y 10% (fig.5) para evaluar la AV de lejos de los pacientes.⁽³⁵⁾ Este test está formado por un conjunto de filas de letras que van de manera decreciente de forma logarítmica, siempre con la misma relación y de tal forma que de una fila a la siguiente aumenta en 0,1 unidades logarítmicas. Es decir, a menor AV, mayor será la letra y viceversa. Una línea se corresponde a 0,1 en la escala logMAR. A cada una de estas (compuesta por cinco letras) le corresponde una puntuación 0,02 en esta escala.^(36, 37)

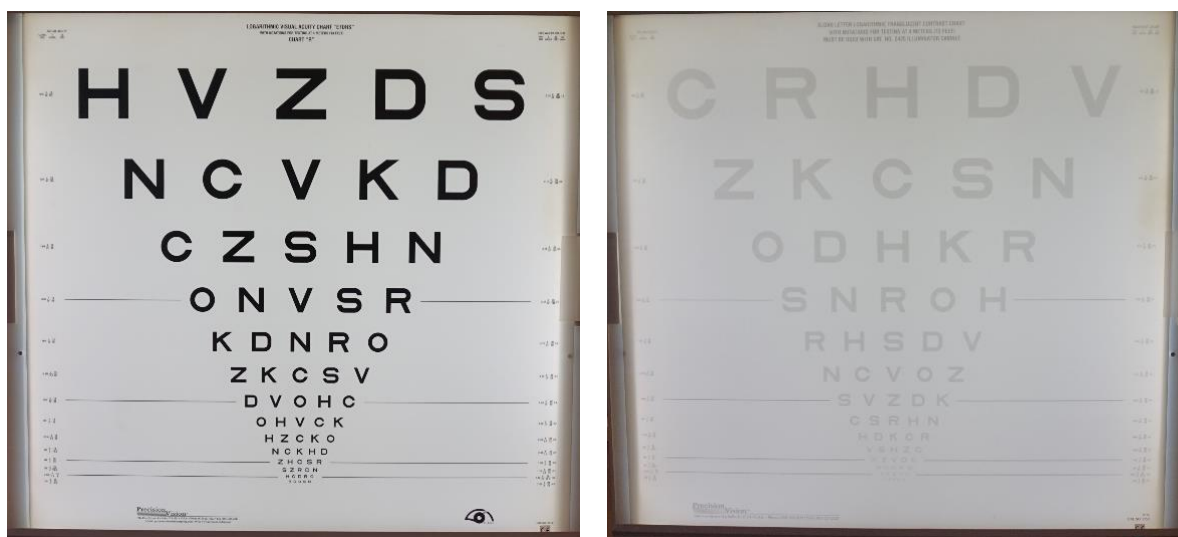


Figura 5. Test ETDRS al contraste 100% y 10%. Tomada de Cedrún, 2018.⁽³⁵⁾

Para realizar la medida de la AV de forma correcta, los ojos del paciente deben situarse a la altura de la mitad del test y ocluyendo el ojo no examinado, ya que se realiza de forma monocular y siempre empezando con el ojo de menor AV. Posteriormente, tras la realización monocular de ambos ojos, siguiendo las normas ya nombradas, se mide de forma binocular. Durante la realización de la prueba, se debe usar el método de elección forzada hasta que el paciente nombre la última letra distinguible. Además, se debe tener en cuenta la iluminación de la sala ya que influye a la hora de realizar la prueba y la cual debe ser homogénea y adecuada a las necesidades del gabinete optométrico.

La anotación del test se realiza en escala logMAR puesto que es la más precisa. La escala del test ETDRS tiene en cuenta que el espacio que ocupa cada letra es el mismo que el que existe entre estas. Este dato es importante ya que estas características son las que hacen que este test sea considerado relevante para poder hacer promedios que sean aceptados en estudios.

Además, en relación con esta escala logarítmica, destacar que existen escalas como la decimal la cual sobreestima los resultados de la AV promedio obtenidos, y otras como la fracción de Snellen que los infraestima.^(38, 39)

Para este estudio, se ha tenido en cuenta que las AV han sido tomadas con su compensación habitual (AV_{pre}) y con la mejor compensación refractiva u óptica posible que los pacientes pudiesen obtener (AV_{nueva}). Además, para la obtención de resultados, se ha requerido ojos con una AV logMAR mínima de 1,70 (0,02 en decimal).

4.4.2. Test de Farnsworth D-15 saturado

La prueba de visión cromática utilizada en este estudio fue el test de Farnsworth D-15 saturado compuesto por 15 fichas y una ficha de referencia (*R*), la cual va pegada en el estuche ([fig.6](#)). Estas 15 fichas de misma saturación y variable tonalidad se deben ir colocando en una escala creciente y permite cuantificar la visión cromática. Las fichas están hechas de baquelita con superficies mate dando similares características espectrales desde cualquier ángulo de visión.



Figura 6. Test Farnsworth D-15. Elaboración propia.

La prueba se realiza de forma monocular ya que son defectos adquiridos. Ya que en los defectos adquiridos puede estar afectado cada ojo de distinta manera, dependiendo de la afectación de la patología. Sin embargo, en los problemas congénitos se realiza de forma binocular porque el fotorreceptor afectado es igual en los dos ojos.⁽⁴⁰⁾

Sin embargo, otros tests como el Ishihara o el álbum tritán, sólo se centran en anomalías rojo-verde (test de detección) o anomalías azul-amarillo. Con este último, se podría encontrar un defecto en la percepción del color asociado a la edad de los participantes en el estudio, ya que como es sabido, con la edad se tiende a perder la sensibilidad hacia las longitudes de onda cortas (S) debido, entre otros factores, al amarilleamiento del cristalino y pérdida de conos S.^(10, 12, 41, 42)

Los pasos a seguir para realizar la prueba son:

1. Utilizar el iluminante D65, ya que las fichas deben estar uniformemente iluminadas sin que haya sombras sobre ellas.
2. Ponerse los guantes para no deteriorar los pigmentos de las fichas.
3. Colocarse el parche en el ojo que no vaya a realizar la prueba.
4. Sacar las fichas del estuche y barajarlas, lo realiza el examinador.
5. Situar las fichas sobre una superficie acromática y no muy luminosa para no restar saturación a los colores. Se suele utilizar la parte interna de la caja que contiene al propio test.
6. Organizar las fichas en una progresión continua de matices partiendo de la ficha *R*.
7. Introducir las fichas en el estuche, este se cierra y se voltea. Realizar cuando el paciente haya terminado la prueba.
8. Comprobar la numeración en la parte inferior de cada ficha.
9. Coger una hoja de registro donde se unen las líneas desde la ficha *R* reflejando el orden en el que el paciente ha colocado las fichas.
10. Comparar los resultados del paciente con el registro de la numeración correcta para obtener los patrones de percepción cromática. De esta forma se verá si existe alguna variación con el orden considerado normal ([fig.7](#)).

La hoja de registro (*Anexo I*) consta de una semicircunferencia donde vienen indicados los números del 1 al 15, empezando por la ficha R. En esta hoja se aprecia unas líneas discontinuas útiles para la identificación del eje de anomalía de la visión al color (deután, protán y tritán) (*fig.7*).⁽⁴³⁾

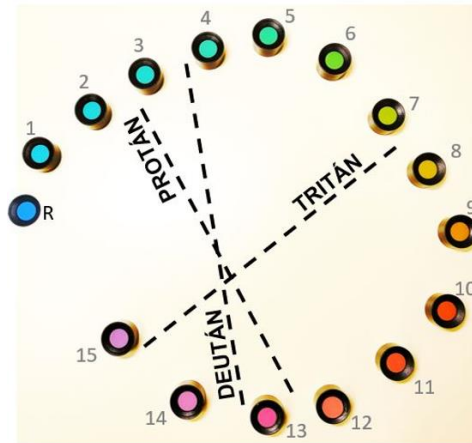


Figura 7. Disposición perfecta de las fichas sobre la hoja de registro del test Farnsworth D-15. Elaboración propia.

Los patrones se clasifican en estas categorías:⁽⁴³⁾

1. *Visión del color normal*: individuos que, por lo general, siguen el patrón de la hoja de resultados. Pueden encontrarse cruces próximos, considerados normales (*fig.8*).

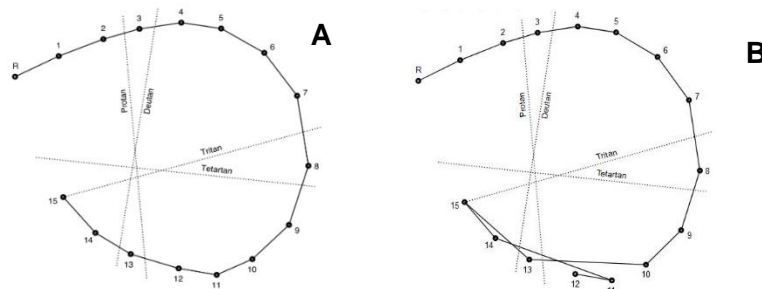


Figura 8. Disposiciones típicas de las fichas del test D-15 de observador normal (A) y con leve entrecruzamiento que es considerado normal (B). Elaboración propia.

2. *Patrones defectuosos del color*: el paciente tiene un defecto en un eje específico de anomalía tritán, deután o protán (*fig.9*). Pueden ocurrir casos límites en los que la repetición de la prueba sería recomendable.

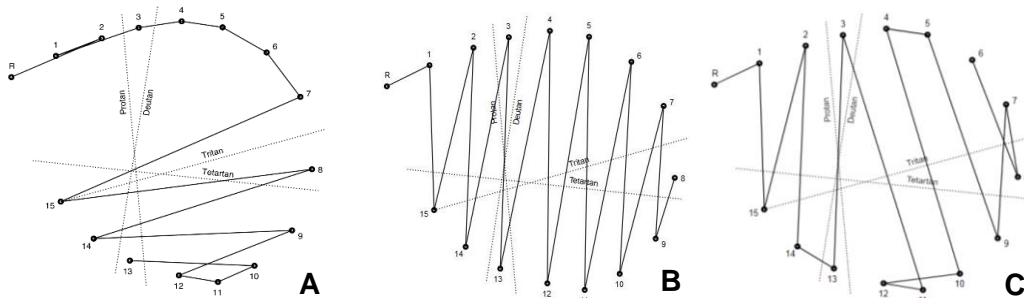


Figura 9. Disposiciones típicas de las fichas del test D-15 para observadores tritanope (A), deuteranope (B) y protanope (C). Elaboración propia.

4.4.2.1. Iluminante D65

La tonalidad del color puede cambiar la percepción dependiendo de la iluminación empleada (fig. 10), por lo que los resultados pueden variar sensiblemente dependiendo de la luz, por tanto se debe darle importancia a esta cuestión.^(10, 13)

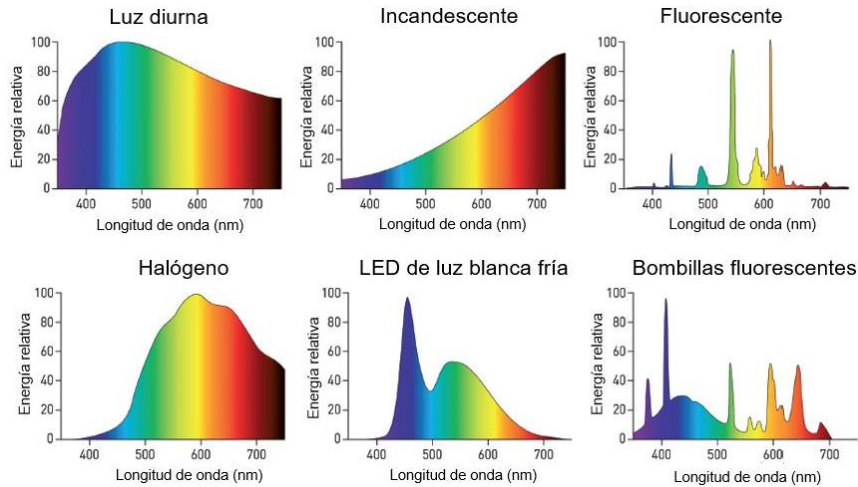


Figura 10. Comparación de los espectros electromagnéticos de diferentes bombillas frente a la luz diurna. Basada en Caramelo et al., 2015.⁽⁴⁴⁾

A la vista de la figura 10 y pensando en el iluminante más adecuado para realizar las pruebas cromáticas, se debe buscar, dentro de la Norma Europea, el iluminante que cumpla las condiciones necesarias para realizar dichas pruebas. Para que la elección del iluminante sea más sencilla, se ha plasmado sobre el diagrama de cromaticidad CIE $L^*u^*v^*$ de 1976 los distintos iluminantes en base a sus temperaturas de color correlativa (T_{cp}) (fig. 11). Observando esta figura 11, se ve que el iluminante más indicado para hacer las pruebas del color es aquel que tiene una T_{cp} entre 6000°K y 7000°K porque correspondería a la luz diurna. Teniendo en cuenta esto, se deduce que el iluminante más adecuado para realizar las pruebas que detectan las deficiencias cromáticas es el iluminante D65 porque tiene una T_{cp} de 6500°K y cuyos niveles de luminancia se encuentra entre 200-300 lux.^(45, 46)

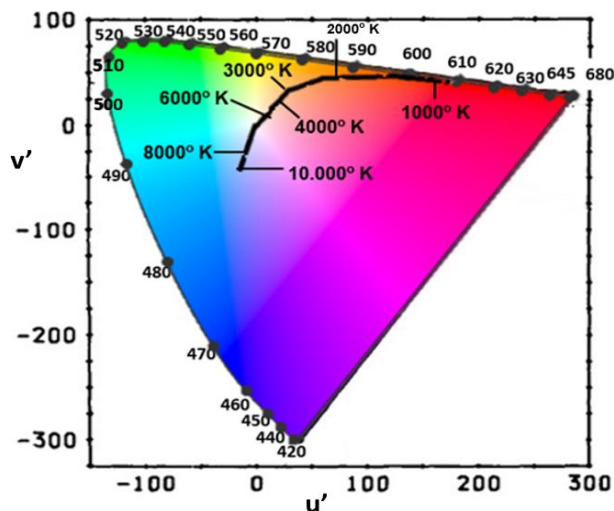


Figura 11. Diferentes iluminantes en el espacio CIE $L^*u^*v^*$ (1976). Elaboración propia.

4.4.2.2. Método de cuantificación del color Vingrys

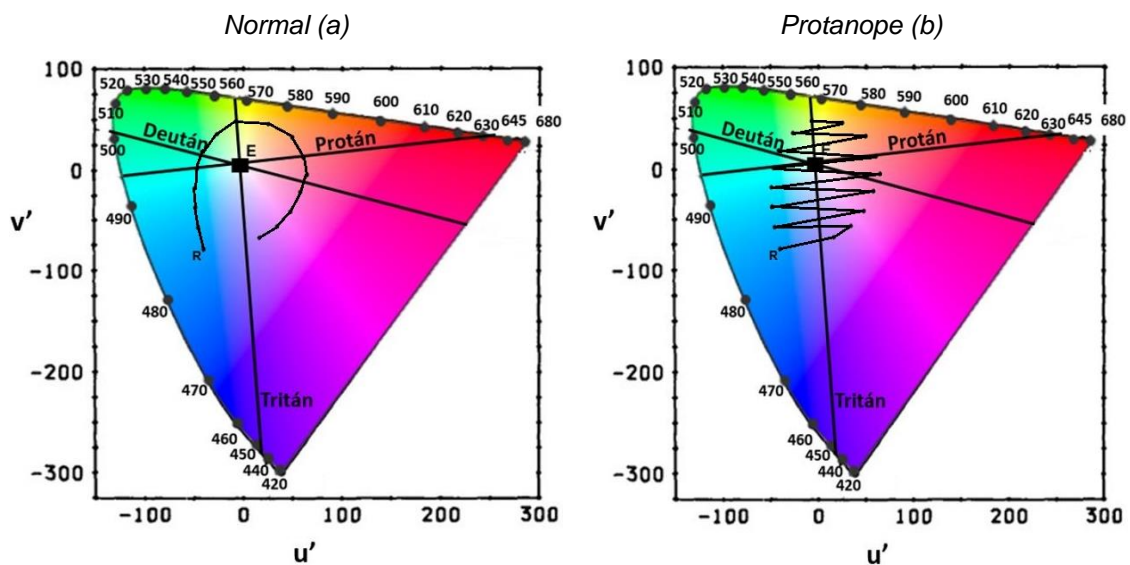
Las pruebas de la visión al color como el test de Farnsworth D-15 saturado necesitan una técnica para poder valorar de forma objetiva, comparable y cuantificable los resultados que se obtienen. Por ello, en este estudio se utilizó el método de cuantificación del color propuesto por Vingrys para valorar el defecto cromático del paciente.⁽⁴⁷⁾

Para entender este método de análisis, primero se debe trasponer las fichas del test de Farnsworth al espacio CIE $L^*u^*v^*$ de 1976 (fig. 12a), es decir, se plasma el patrón que se obtiene como resultado de la prueba D-15 sobre un diagrama de cromaticidad uniforme donde se representan los colores de igual diferencia en tono y saturación a distancias o ángulos iguales y se indican los ejes de confusión de color de los observadores dicromáticos que se cruzan en el iluminante D65. Además, se utiliza este diagrama porque es el más adecuado para predecir los colores que confunden los dicrómatas.⁽⁴⁷⁻⁴⁹⁾ En la figura 12, se muestra el punto equienergético (E) representado por un cuadrado negro, correspondiente al blanco siendo este el punto de referencia del que se parte y los ejes de confusión para las líneas protán, deután y tritán (línea negra continua) con el patrón de discromatopsia obtenido en la prueba D-15.⁽⁴⁸⁾

- *Eje confusión protanope:* se proyecta desde el rojo, pasando por E , hasta su punto neutro que es 492 nm.

- *Eje confusión deuteranope:* se representa desde el púrpura, pasando por E , hasta su punto neutro que es 499 nm.

- *Eje de confusión tritanope:* se traza desde el violeta, pasando por E , hasta su punto neutro que es 570 nm.



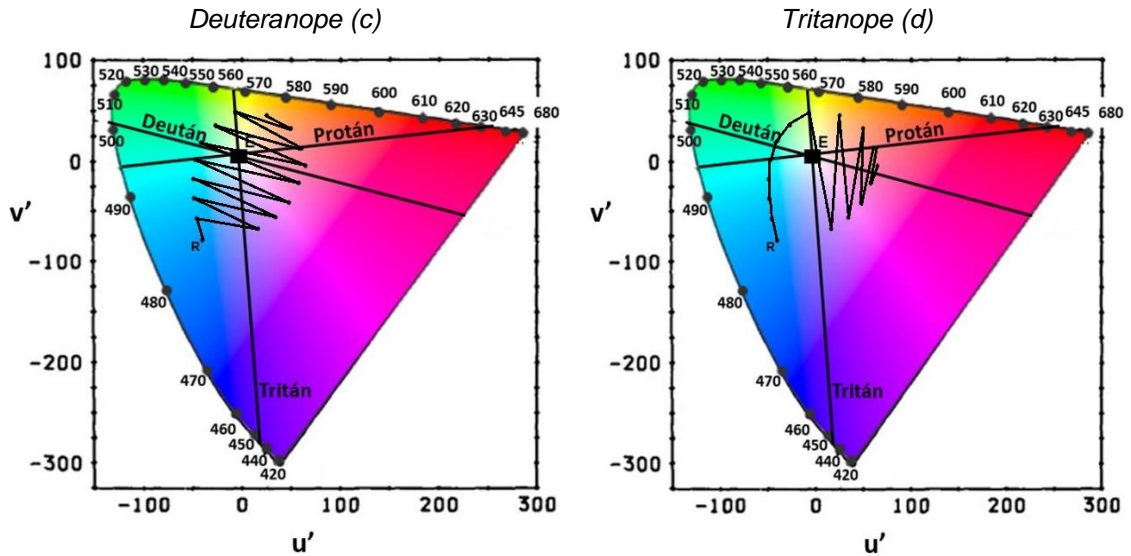


Figura 12. Representación de distintas discromatopsias con el test D-15 sobre el espacio CIE $L^*u^*v^*$ (1976). Elaboración propia.

Además, estos diagramas de cromaticidad CIE $L^*u^*v^*$ (1976) se utilizan para caracterizar las confusiones de colores de los observadores dicrómatas. Las líneas de confusión dicromáticas tienden a orientarse en diferentes ángulos proporcionando una capacidad de diagnóstico para determinar el tipo de defecto cromático (protanope, deuteranope o tritanope). Estas líneas de confusión están representadas en la [figura 13](#) en diferentes longitudes de onda (líneas discontinuas). Se simboliza el E representado por un cuadrado negro, que corresponde al blanco, siendo este el punto de referencia del que se parte.^(10, 13, 50)

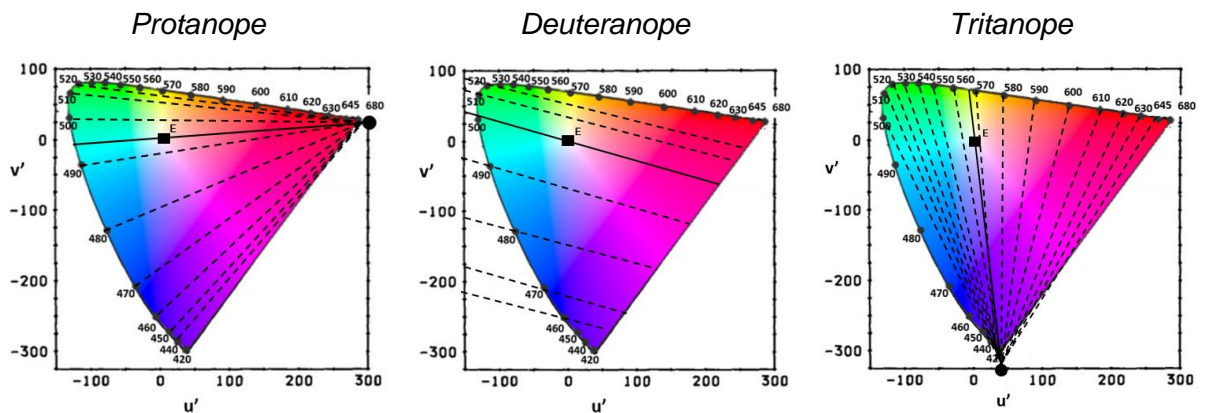


Figura 13. Líneas de confusión de dicrómatas en espacio CIE $L^*u^*v^*$ (1976). Elaboración propia.

En base a estos ejes y líneas de confusión, se calcula el momento de inercia mediante vectores de diferencia de color (VDC) que se alinean a lo largo de un eje común. Estos VCD en sujetos normales y con discromatopsia se encuentran representados sobre el espacio CIE $L^*u^*v^*$ (1976) donde la longitud de cada vector expresa la diferencia de croma y su dirección como una diferencia de ángulo de tonalidad entre las fichas y mostrándose el vector resultante (flecha gris) obtenido al sumar los VCD ([fig.15](#)). A través de estos vectores que se alinean



sobre un eje común, se puede calcular el momento de inercia mediante unos vectores denominados radios de giro mayor y menor (R_M y R_m). Siendo el R_M el que determina como es el momento de inercia y el ángulo de confusión (α) de los sujetos con discromatopsia. Si el R_M se encuentra cerca del eje vertical se dirá que tiene un momento de inercia relativamente pequeño, como ocurre en el caso del tritanope (fig. 15d). En cambio, si el R_M se encuentra cerca del eje horizontal, tendrá un momento de inercia relativamente grande, como es el caso de protanopes (fig. 15b) y deuteranopes (fig. 15c). Sin embargo, en la caso de un sujeto normal, estos radios de giro se muestran casi iguales para cualquier eje (fig. 15a).⁽⁴⁷⁾ Con respecto a la α , en las personas con discromatopsia, puede encontrarse entre los siguientes valores (fig. 14):⁽⁴⁷⁾

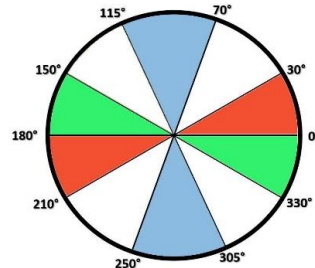
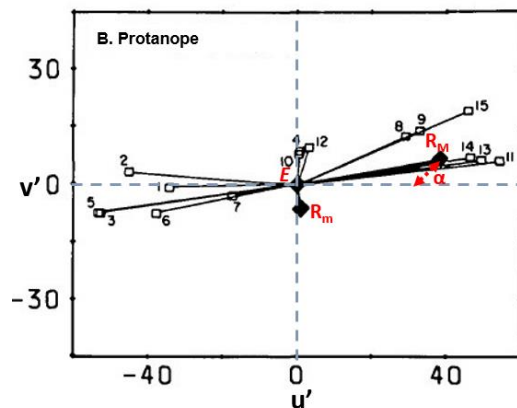
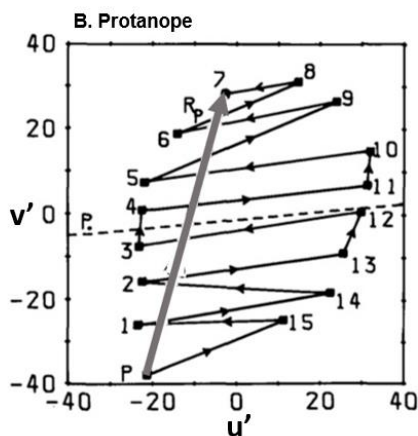
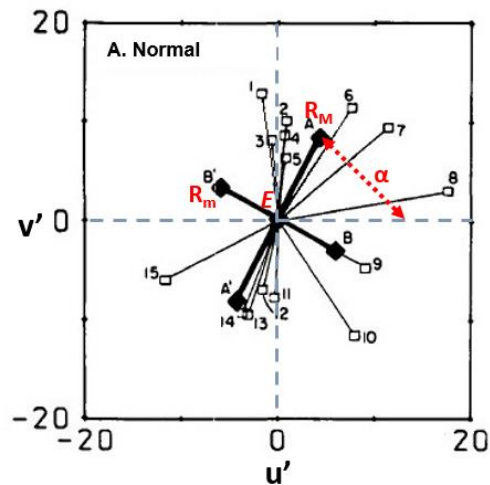
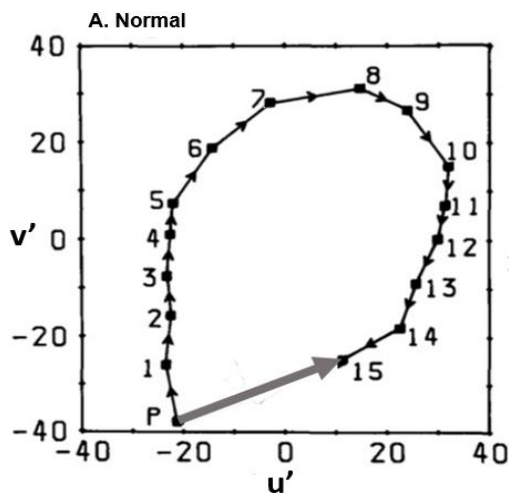


Figura 14. Disposición de los ángulos de confusión de los distintos ejes cromáticos. Elaboración propia.



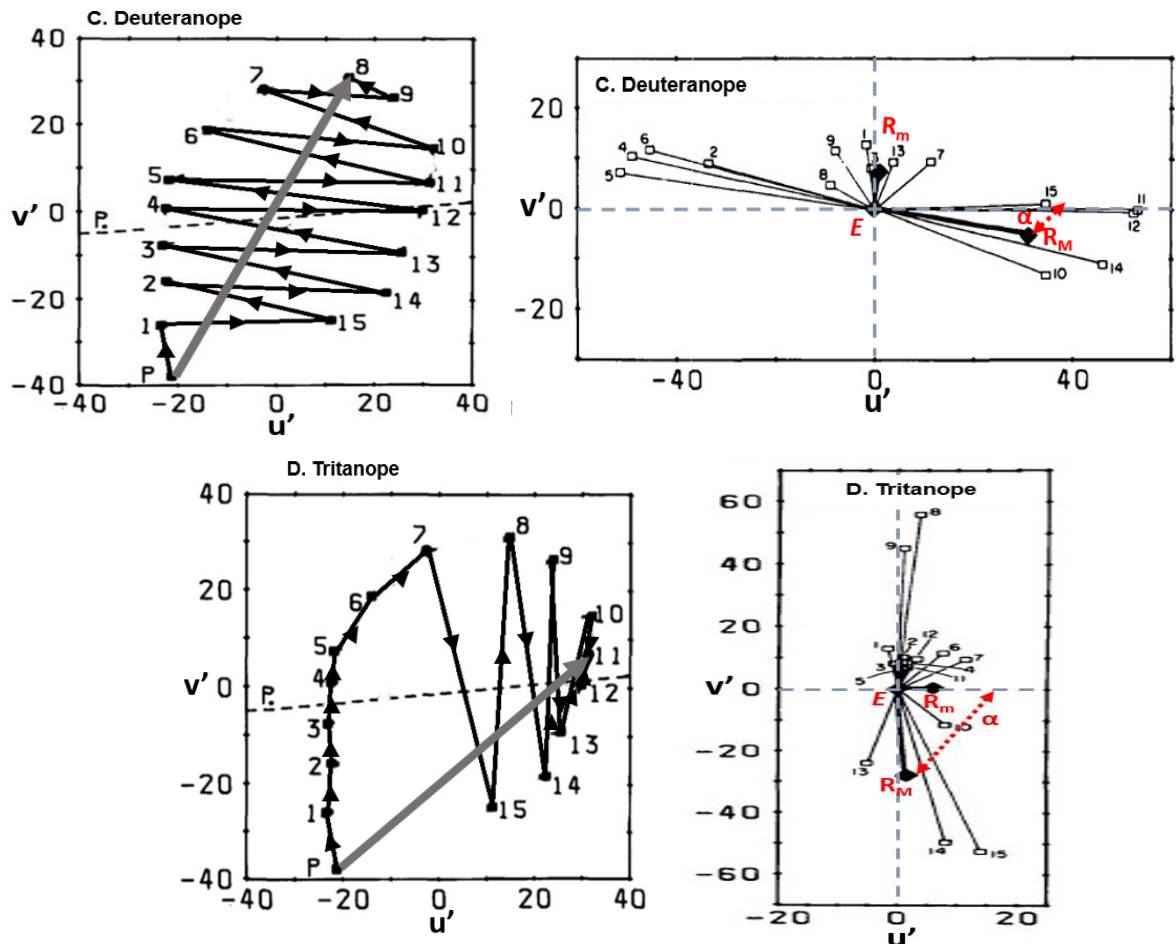


Figura 15. Vectores de diferencia de color relativos trazados para distintas discromatopsias. Basada en Vingrys, 1988.⁽⁴⁷⁾

A partir del cálculo de VDC de cualquier patrón de disposición y su momento de inercia, se obtienen los siguientes factores para cuantificar la disposición de las fichas del test Farnsworth D-15:^(47, 51-53)

- ▲ **Radio mayor (R_M):** eje principal para cuantificar la gravedad del defecto cromático y da información sobre el ángulo de confusión (α). Ante una disposición normal de las fichas este valor será de 9,20.
- ▲ **Radio menor (R_m):** eje secundario que sirve para obtener los parámetros de índice de selectividad (*S-index*) y puntuación de error total (*TES*). Ante una disposición normal de las fichas este valor será de 6,70.
- ▲ **Ángulo de confusión (α):** identifica el tipo de defecto cromático y se consigue averiguar cuál es el eje de confusión promedio del observador. La α para un patrón normal es 62° . Mientras que para cada defecto del color son:⁽⁴⁷⁾
 - Ángulo protán tiene un valor promedio de $+8,80^\circ$.
 - Ángulo deután tiene un valor promedio de $-7,40^\circ$.
 - Ángulo tritán tiene un valor promedio mayor de -70° .



- Índice de selectividad o dispersión (S-index):** cuantifica la cantidad de polaridad o la falta de aleatoriedad en una disposición de fichas. Se calcula dividiendo el R_M entre el R_m . Se considera un valor de 1,38 cuando se tiene un patrón de normalidad perfecto, sin cruces. Si los cruces siguen un mismo eje de confusión, ya sea tritán, deután o protán, este valor S-index será grande, indicando una anomalía congénita. En cambio, si los cruces son aleatorios, el valor de S-index se verá disminuido y es característico de los defectos adquiridos.

$$S - index = \frac{R_M}{R_m}$$

- Índice de confusión (C-index):** cuantifica el grado de pérdida de color relativa a una disposición perfecta de las fichas. Se calcula relacionando el R_M encontrado por un sujeto entre el R_M de una disposición normal. Se considera un valor de 1,00 cuando se tiene un patrón de normalidad perfecto. Se considera un valor anómalo cuando el C-index $> 1,38$.

$$C - index = \frac{R_{M \text{ sujeto}}}{R_{M \text{ disposición normal}}}$$

- Puntuación de error total (TES):** se obtiene haciendo la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los R_M y R_m . Se considera un valor de 11,40 cuando se tiene un patrón de normalidad perfecto.

$$TES = \sqrt{R_M^2 + R_m^2}$$

4.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos de los pacientes se llevó a cabo mediante un software estadístico con el programa estadístico *R* en su interfaz gráfica *RKward*. Se consideró un valor $p \leq 0,05$ como estadísticamente significativo. Todos los intervalos de confianza se dieron por válidos con un grado del 95% y una precisión del 15%. Se realizaron estudios de regresión lineal para las variables susceptibles de correlación. El análisis estadístico descriptivo de las asociaciones se realizó entre las medidas de AV con compensación previa y posterior, tipo de patología retiniana, defecto cromático, edad y sexo de donde calculamos los parámetros media, desviación estándar, máximo y mínimo. Además, estas asociaciones han sido evaluadas por medio de un análisis de la varianza para saber si existe una correlación entre las variables. A partir de la varianza residual se puede definir el coeficiente de determinación (R^2) que mide la proporción de variabilidad de la variable dependiente explicada por el modelo de regresión, por tanto:

$$0 \leq R^2 \leq 1$$



Cuanto mayor sea R^2 , mejor explicará el modelo de regresión la relación entre las variables, en particular:

- Si $R^2 = 0$ entonces no existe relación del tipo planteado por el modelo.
- Si $R^2 = 1$ entonces la relación que plantea el modelo es perfecta.

A partir de este R^2 se saca el coeficiente de correlación lineal (R) haciendo la raíz cuadrada de su coeficiente de determinación lineal.⁽⁵⁴⁾

$$R = \sqrt{R^2}$$

El R mide el grado de dependencia, lineal en este caso, y tomará valores entre -1 y 1.

Siendo $R = 0$ cuando no existe relación lineal, $R = 1$ existe una relación lineal creciente perfecta, y $R = -1$ hay una relación lineal decreciente perfecta.⁽⁵⁴⁾

Además del análisis estadístico con el programa R , se utilizó el programa *SigmaPlot; Exact Graphs for Exact Science* para realizar las gráficas de regresión lineal.

5. Resultados

5.1. Características de la muestra

El estudio estuvo formado por un total de 63 personas con patología retiniana, de los cuales 24 tenían DMAE (13 mujeres y 11 hombres) con una edad media de $77,50 \pm 9,40$ años, y 39 tenían RP (24 mujeres y 15 hombres) con una media de $51,70 \pm 11,80$ años (*tabla 4*). De los 63 pacientes se excluyeron siete ojos con DMAE húmeda y cuatro ojos con RP por presentar sólo percepción de luz o tener una AV peor que 1,70 logMAR en ese ojo. En este estudio se utilizaron los dos ojos puesto que la DMAE y la RP son enfermedades que pueden producir cambios, tanto retinianos como opacidades del cristalino, de manera distinta en cada uno de los ojos.

Tabla 4. Características demográficas y visuales de los participantes con DMAE y RP.

	Total (N=63)	Edad media (años)	Edad Glare	Edad media Dx (años)	Género	Edad media (años)	Tipo (ojos)
DMAE	24	77,5±9,4 (54-94)	21	70±8,7 (53-80)	Mujeres: 13	78±8,6 (60-94)	Seca: 7 Húmeda: 14*
					Hombres:11	76,7±10 (54-88)	Seca: 14 Húmeda: 6**
RP	39	51,7±11,8 (23-71)	36	29,3±11,4 (6-61)	Mujeres: 24	51±11,5 (26-71)	47 ^Y
					Hombres:15	53±12 (23-71)	27 ^{YY}
Media ± DE (Rango)		* (5 ojos perdidos), ** (2 ojos perdidos), ^Y (1 ojo perdido), ^{YY} (3 ojos perdidos)					



En esta [tabla 4](#), se encuentran casos donde la patología aparece en edades tempranas como sucede en la RP con edades de detección de 26 y 23 años (mujeres y hombres respectivamente), debido a que la RP es una distrofia retiniana con comienzos en la adolescencia. Sin embargo, en la DMAE, se encuentran valores mucho mayores como 60 y 54 años (mujeres y hombres respectivamente), ya que es una enfermedad degenerativa que aparece con la edad.

5.2. Agudeza visual

5.2.1. Agudeza visual de lejos 100%

El estudio midió la AV logMAR con un contraste 100% y se tomó con la compensación refractiva u óptica habitual (AV_{pre}) y tras la nueva compensación óptica obtenida (AV_{nueva}) ([tabla 5](#)). Donde la DMAE seca pasó de $0,54 \pm 0,32$ a $0,34 \pm 0,24$ mejorando en 0,20. La DMAE húmeda paso de $1,06 \pm 0,45$ a $0,79 \pm 0,49$ mejorando en 0,27. Y los pacientes con RP pasaron de $0,43 \pm 0,26$ a $0,30 \pm 0,24$ mejorando en 0,13.

Tabla 5. Agudezas visuales logMAR medias con compensación habitual y con la nueva refracción en DMAE y RP en monocular.

	<i>AV_{pre}</i>	<i>AV_{nueva}</i>
DMAE seca (n=21)	$0,54 \pm 0,32$ (-0,04/1,1)	$0,34 \pm 0,24$ (-0,04/0,7)
DMAE húmeda (n=27)	$1,06 \pm 0,45^*$ (0,27/1,82)	$0,79 \pm 0,49^*$ (0,1/1,82)
RP (n=78)	$0,43 \pm 0,26^Y$ (0/1,2)	$0,30 \pm 0,24^Y$ (-0,06/1,2)

n= número ojos examinados, *(7 ojos perdidos), ^Y(4 ojos perdidos)

A continuación, se recoge en un diagrama de cajas los valores de AV_{pre} y AV_{nueva} mencionados con anterioridad donde se aprecia la mejoría de AV logMAR en las tres patologías ([fig. 16](#)). Destacar que la RP es la que tiene mayor AV_{nueva} , seguido de los pacientes con DMAE seca. Los pacientes con DMAE húmeda tienen una AV notablemente peor.

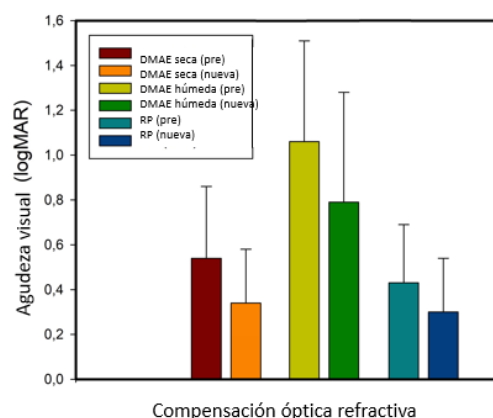


Figura 16. Agudeza visual logMAR en relación con la compensación óptica refractiva de cada ojo.



5.2.2. Influencia del contraste en la agudeza visual

Los resultados de la AV logMAR con la nueva compensación con un contraste del 100% y 10% se muestran en la [tabla 6](#). Para la DMAE seca la AV empeora en 0,32 logMAR. La DMAE húmeda empeora en 0,44 logMAR. Y para los pacientes con RP empeora en 0,18 logMAR.

Tabla 6. Agudezas visuales logMAR con la nueva compensación para un contraste de 100% y 10% en DMAE y RP en monocular.

	AV 100%	AV 10%
DMAE seca (n=21)	0,34 ± 0,24 (-0,04/0,7)	0,66 ± 0,33 (0,1/1,2)
DMAE húmeda (n=27)	0,79 ± 0,49* (0,1/1,82)	1,23 ± 0,77** (0,35/3)
RP (n=78)	0,30 ± 0,24 ^Y (-0,06/1,2)	0,48 ± 0,25 ^Y (0,1/1,12)

n= número ojos examinados, *(2 ojos perdidos), **(8 ojos perdidos),^Y(2 ojos perdidos),^Y(27 ojos perdidos)

Posteriormente, se muestran todos estos resultados en un diagrama de cajas donde se aprecia más claramente como la AV logMAR disminuye en cada patología al disminuir el contraste del test ETDRS ([fig. 17](#)). La RP es la que presenta mayor AV de bajo contraste seguida de DMAE seca. Siendo la DMAE húmeda donde hay mayor diferencia de AV al cambiar el contraste del test.

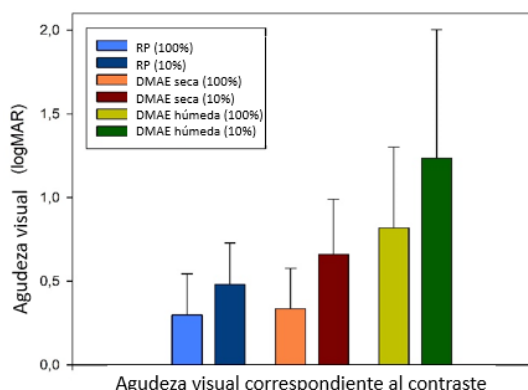


Figura 17. Agudeza visual logMAR obtenida con contraste 100% y 10%.

5.3. Método de cuantificación del color Vingrys

Las pruebas de color fueron cuantificadas mediante el método de Vingrys ([tabla 7](#)) donde se obtiene un C-index de 3,32 ± 2,02 en los pacientes con DMAE seca, 2,53 ± 0,65 en DMAE húmeda y 2,08 ± 0,84 en RP. Para S-index se obtiene 4,13 ± 2,06 en DMAE seca, DMAE húmeda 2,34 ± 1,00 y RP 2,36 ± 1,15. Como valores de la α se tiene para DMAE seca 76,25 ± 26,38, DMAE húmeda 90,63 ± 38,65 y RP 74,98 ± 22,96; este parámetro nos permite identificar el tipo de defecto cromático del paciente. Y el TES obtiene el valor mayor para DMAE húmeda (26,28 ± 6,55).



Tabla 7. Resultados del análisis de vectores mediante el método de Vingrys.

	Datos	R _m	R _M	Ángulo (grados)	C-index	S-index	TES
Disposición perfecta	-	6,70	9,20	62,00	1,00	1,38	11,40
DMAE seca (n=21)	Media ±	9,04 ±	18,50 ±	76,25 ±	3,32 ±	4,13 ±	20,77 ±
	DE	3,17	7,75	26,38	2,02	2,06	7,97
	Mínimo	6,30	9,20	37,40	1,00	1,27	11,40
	Máximo	19,20	30,60	171,30	3,32	4,13	33,20
DMAE húmeda (n=20)	Media ±	11,35 ±	23,35 ±	90,63 ±	2,53 ±	2,34 ±	26,28 ±
	DE	4,75	5,99	38,65	0,65	1,00	6,55
	Mínimo	5,70	9,20	11,30	1,00	1,13	11,40
	Máximo	21,30	34,00	174,40	3,68	5,19	38,10
RP (n=74)	Media ±	8,64 ±	19,10 ±	74,98 ±	2,08 ±	2,36 ±	21,25 ±
	DE	3,17	7,73	22,96	0,84	1,15	7,67
	Mínimo	5,60	9,20	3,70	1,00	1,22	11,40
	Máximo	22,00	34,90	138,10	3,78	5,62	35,80
Media ± DE (Rango)		DMAE húmeda 7 ojos perdidos, RP 4 ojos perdidos					

A continuación, se detalla la relación entre los diferentes factores de cuantificación de Vingrys obtenidos en los resultados de nuestros pacientes con DMAE y RP, los cuales se reflejan en la leyenda de cada figura.

En primer lugar, se muestra la relación entre R_m, R_M y C-index para las tres patologías (fig.18). Las líneas que se encuentran numeradas representan los valores del S-index (aleatoriedad), siendo la línea discontinua el valor de normalidad para el eje azul-amarillo. La línea vertical representa la normalidad del C-index para el eje azul-amarillo.

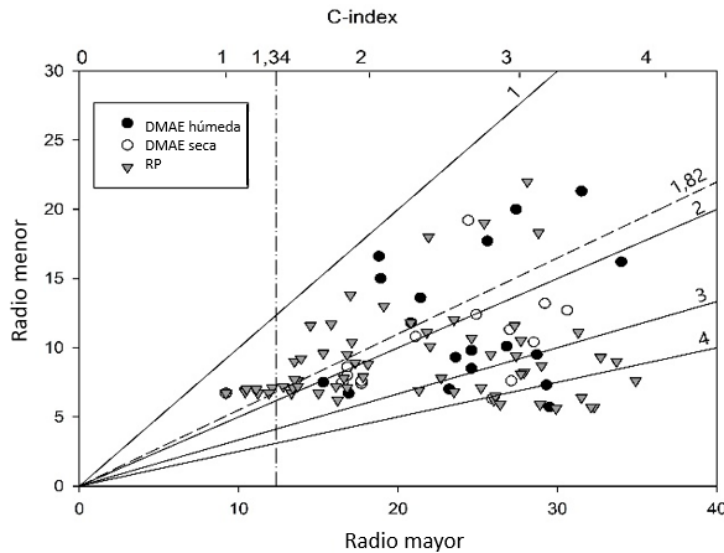


Figura 18. Relación del radio menor con el radio mayor.

Ahora, se clasifican las patologías según la relación C-index y α obtenido en el test de Farnsworth D-15 (fig.19). Existen dos rangos representados en blanco que no siguen un eje de anomalía, pudiendo ser normales o difusos dependiendo de si el C-index va de 30°-70° o de 115°-150°, respectivamente. Para valorar el defecto cromático, se ha tenido en cuenta la α asociado a cada anomalía y se ha establecido unos valores de C-index (línea discontinua) para tritán (1,34), protán (1,60) y deután (1,60) partiendo de estos valores, los que se encuentren superiores a esta línea discontinua se consideran anómalos. Hay que añadir que se observa que la mayoría de los ojos de los sujetos del estudio, independientemente de la patología, presentan anomalía tipo tritán.

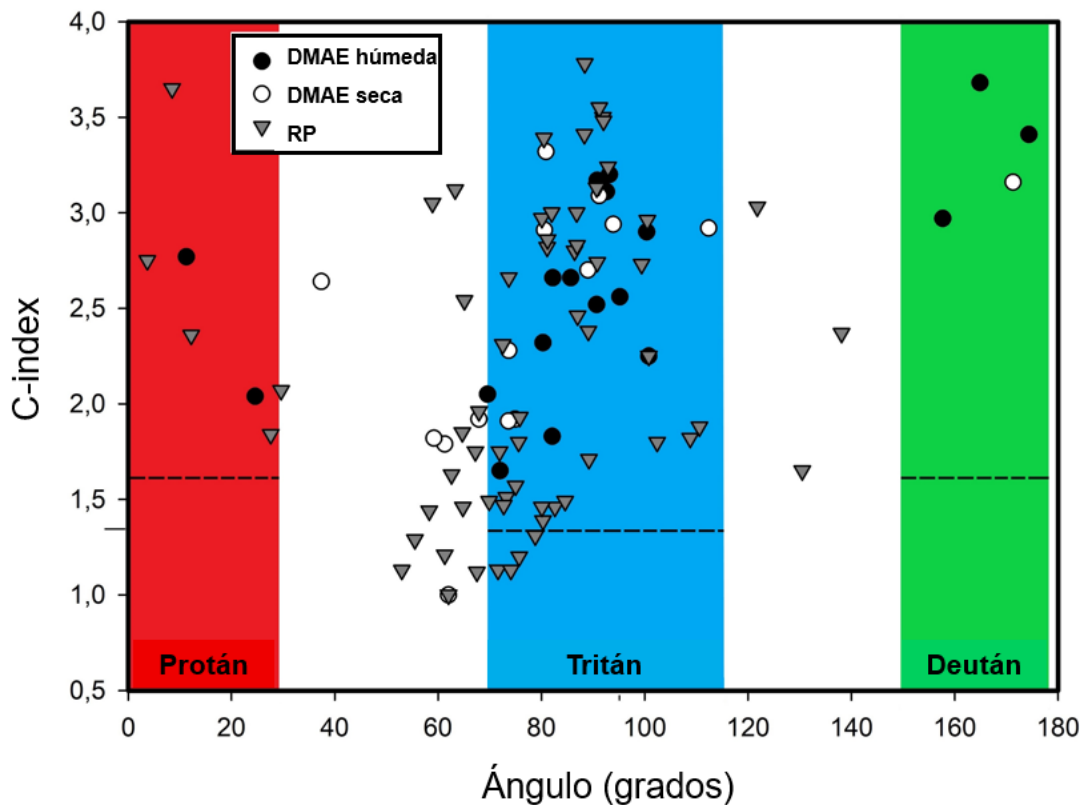


Figura 19. Relación del C-index con el ángulo de confusión de obtenido en el test de Farnsworth D-15.

A continuación, se relacionan las variables C-index y AV logMAR con una recta de ajuste para cada una de las patologías visuales consideradas (fig.20). Se puede ver que los puntos son muy dispersos y no se ajustan, en su mayoría, a la recta según indica el factor de correlación lineal R^2 , siendo los valores estadísticamente significativos para la RP ($p=0,02$) y no significativos para la DMAE seca y húmeda ($p=0,10$; $p=0,09$; respectivamente). Aunque se obtengan valores dispersos, se aprecia que línea de regresión de los sujetos con RP y DMAE seca crece con mayor pendiente que la línea de la DMAE húmeda. Esto indica que cuanto mayor AV logMAR alcance el paciente, menor C-index tendrá asociado. Los puntos tienen relación lineal positiva, con baja relación entre sí, no significativa, por lo tanto.

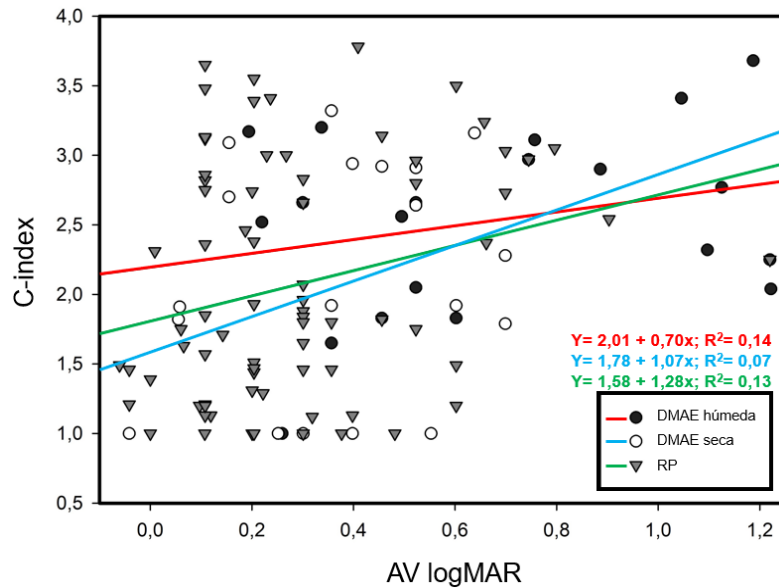


Figura 20. Relación del C-index con la agudeza visual (logMAR).

Asimismo, se muestra el S-index y C-index con una recta de ajuste para cada una de las patologías visuales consideradas (fig.21). Se representan unas líneas discontinuas que indican los valores normales del eje azul-amarillo. En base a este eje azul-amarillo, se encuentran valores normales a la izquierda de la línea vertical y por debajo de la línea horizontal se consideran valores difusos, es decir, aquellos que presentaban más contaminación o cruces más aleatorios. Se puede ver que los valores son dispersos y no se ajustan, en su mayoría, a la recta según indica el valor R^2 , siendo estos valores estadísticamente significativos en DMAE seca y RP ($p < 0,0001$) mientras que en DMAE húmeda no son valores estadísticamente significativos ($p = 0,07$). Para todas las regresiones lineales de cada patología se observa valores crecientes, es decir, a mayor C-index, mayor será su S-index.

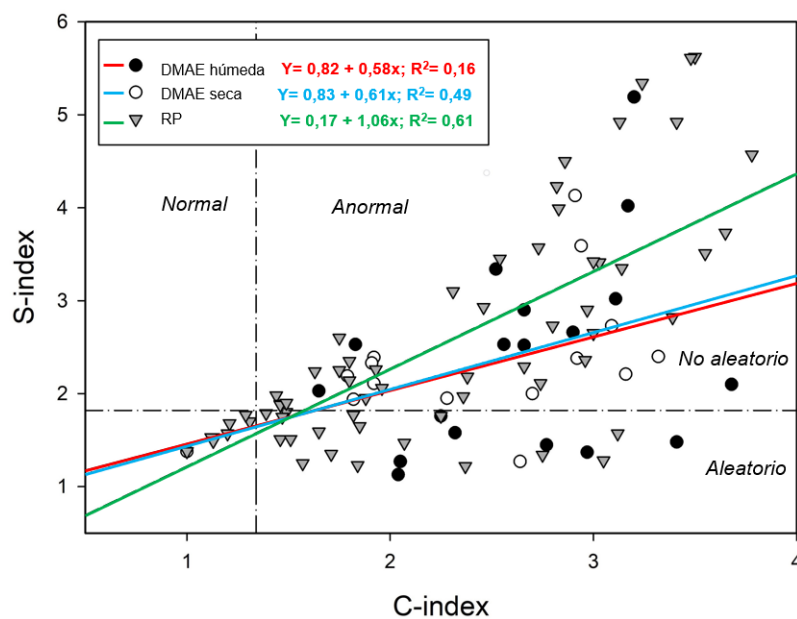


Figura 21. Relación del S-index con C-index.

Para finalizar, se representa el TES y S-index (*fig.22a*) y el TES y C-index (*fig.22b*) con una recta de ajuste para cada una de las patologías visuales consideradas. En la *fig.22a* se puede ver que los valores se ajustan perfectamente a la recta según indica R^2 , siendo muy próximo a la unidad en los tres casos. Este valor del coeficiente de correlación R^2 indica que existe una relación casi perfecta entre las dos variables. Esto es debido a que la cuantificación de la pérdida de discriminación del color (*C-index*) está muy relacionada con el nivel de deterioro en el que se encuentra el paciente debido a su patología (*TES*). Se obtuvieron valores estadísticamente significativos en DMAE seca y RP ($p < 0,004$; $p < 0,0001$, respectivamente) siendo no significativo en DMAE húmeda ($p = 0,53$). Mientras que en la *fig.22b* se puede ver que los valores son dispersos y no se ajustan, en su mayoría, a la recta según indica R^2 , siendo estos valores estadísticamente significativos para los tres tipos de patologías ($p < 0,0001$). También, se observa que a medida que aumenta el TES aumenta el S-index.

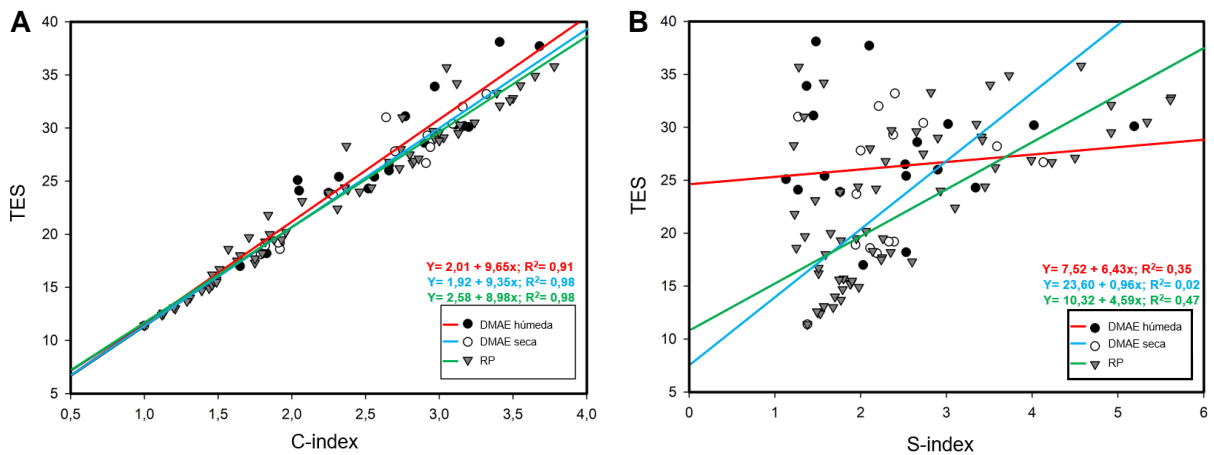


Figura 22. Relación de TES con C-index y S-index.

5.4. Test de Farnsworth D-15

Los resultados obtenidos se clasifican mediante los diferentes patrones de percepción anómala del color (tritán, deután y protán), patrón difuso y normal. El patrón difuso corresponde al grupo de pacientes que al realizar el test D-15 ha dado como resultado un patrón no identificado debido a que la respuesta se encuentra demasiado contaminada como para clasificarlo. Los resultados obtenidos en el estudio son un 44% de pacientes que tiene un defecto tipo tritán y 39% de paciente que no manifiestan ninguna anomalía de visión al color (*fig.23*). Además, se encuentran valores inferiores al 10% en defectos tipo deután y protán.

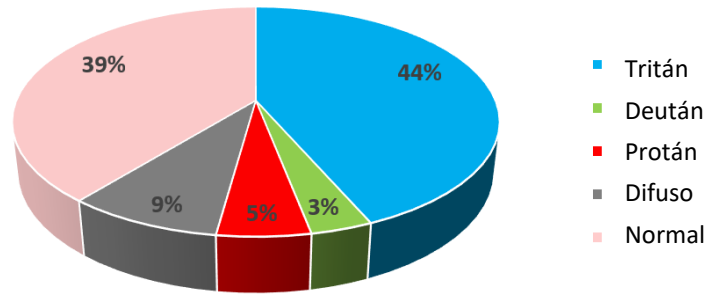


Figura 23. Clasificación de los sujetos según las distintas anomalías en la percepción del color, sin tener en cuenta la separación por patologías.

Para saber que defecto al color predomina en cada patología, se muestran unos diagramas de sectores de cada patología retiniana (*fig.24*). Se aprecia que la anomalía más común es la del tipo tritán, que predomina en DMAE húmeda con un 59% pacientes mientras que la DMAE seca tiene un 43% y la RP un 39% pacientes; esto puede ser debido a que con la edad el cristalino amarillea. Sin embargo, el 47% de pacientes que no presentan ninguna anomalía se da en RP frente al 38% de la DMAE seca y 14% de DMAE húmeda, pudiendo ser indicativo de que la RP es una patología que aparece en edad temprana y por eso no suele asociarse a una anomalía cromática. Destacar que se encuentra un 5% DMAE seca y 14% DMAE húmeda de defecto deután, mientras en RP no se manifiesta. También, hay anomalías tipo protán en RP con 6% y en DMAE húmeda con 9%, mientras que en DMAE seca no se encuentran. Tras esta comparativa, se aprecia que no existen anomalías protán en DMAE seca ni deután en RP. Aunque este suceso no debe tenerse en cuenta como una asociación a las patologías nombradas, puesto que se han encontrado casos que no están en la línea de los resultados obtenidos. Añadir, que se encuentra mayor número de casos en RP debido únicamente a que la mayor parte de la muestra del estudio padecen este tipo de patología.

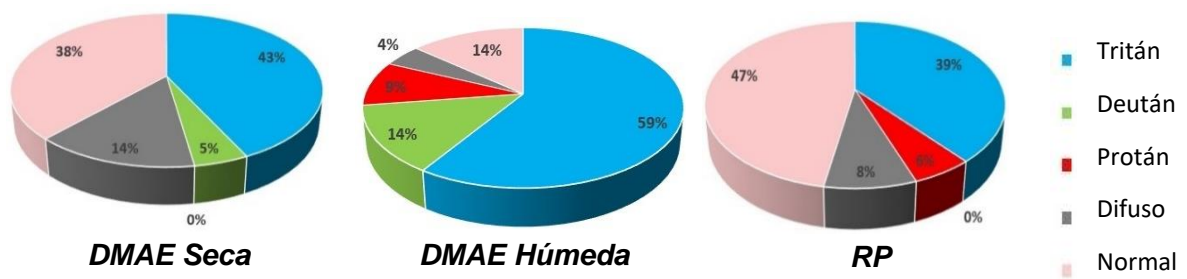


Figura 24. Clasificación de las proporciones de las distintas anomalías en la percepción del color.



6. Discusión

El presente estudio ha evaluado la visión de color de pacientes con DMAE (seca y húmeda) y RP utilizando el test Farnsworth D-15 saturado y cuantificándolo mediante el método propuesto por Vingrys.

Respecto a las características demográficas en nuestro estudio, se observa que la detección de la DMAE está comprendida entre las edades de 54-94 años, coincidiendo con la edad de estudio de otros autores como *Damián et al.* o el estudio de *VanNewkirk et al.* donde abarcaban una edad desde los 45 hasta los 90 años,^(55, 56) por tanto se trata de una patología degenerativa asociada a la edad. Sin embargo, las edades en la RP de nuestro estudio están comprometidas entre los 23 y 71 años por lo que es una patología que se suele asociar a edades tempranas, al igual que ocurre en el estudio de *Motokazu et al.* donde la edad media de padecerla es 35 años.⁽⁵⁷⁾

Entrando un poco más en detalle y haciendo referencia a la prevalencia de cada enfermedad (DMAE y RP) según el género, cabe destacar que en la muestra que hemos analizado en nuestro estudio una mayor prevalencia de mujeres en DMAE húmeda (54%) y de varones con DMAE seca (64%). Al contrario de lo que ocurre en el estudio *Spanish Eyes Epidemiological Study Group* donde se obtuvo un 54% de casos con DMAE húmeda siendo más frecuente en varones (2,50%) mientras que para la DMAE seca donde se alcanza un 46% de los casos en los cuales predomina las mujeres (1,90%). Esto es indicativo de que se trata de una enfermedad congénita. En segundo lugar, en nuestro estudio se obtiene mayor prevalencia de mujeres con RP (60%) frente a la investigación de *Fernández* donde había una mayor prevalencia de varones (55%-65%).⁽⁵⁾ Estas contrariedades entre estudios, puede deberse a la predominancia de uno de los géneros en cada estudio.

A todos los pacientes de nuestro estudio se les realizó la prueba de AV logMAR de contraste 100% y 10% con la compensación refractiva que tenían y la calculada en la consulta. Cuando se midió con el contraste 100% obtuvimos que la DMAE seca mejoraba su AV logMAR a $0,34 \pm 0,24$, la DMAE húmeda la mejoraba a $0,79 \pm 0,49$ y la RP en $0,30 \pm 0,24$. Ahora bien, al medir la AV logMAR al contraste 10%, estos pacientes empeoraban su AV logMAR, donde obtuvimos para la DMAE seca una AV logMAR $0,66 \pm 0,33$, DMAE húmeda decaía a $1,23 \pm 0,77$ y RP empeoraba a $0,48 \pm 0,25$. En otros estudios como el de *Lovie-Kitchin* y *Oomachi et al.*, también se demostró que la AV logMAR al 100% empeoraba al disminuir el contraste, obteniéndose, en pacientes con DMAE, valores de $0,33 \pm 0,30$ empeorando al disminuir el contraste con AV logMAR de $0,65 \pm 0,33$ y para la RP al máximo contraste se tiene una AV logMAR de $0,16 \pm 0,08$ reduciéndose al disminuir el contraste llegando a $0,47 \pm 0,07$.^(58, 59)



Por otro lado, haciendo referencia a los valores obtenidos en el método de Vingrys, se observa que la gran mayoría de los pacientes presenta defecto cromático en el eje tritán (70° - 115°) para un valor mínimo de C-index=1,34. También se encontraron cuatro deuteranopes y seis protanopes, a los que se les asoció un valor mínimo de C-index=1,60. Añadir que muchos de los pacientes no presentaban defecto cromático. Comparando nuestro estudio con lo obtenido por *Atchison et al.* se llega a la conclusión de que la gran mayoría de pacientes con patología asociada a la edad presenta un defecto tritán. También se encuentran casos que no presentan anomalía cromática (hay que tener en cuenta que este estudio toma como valor tritán entre 75° - 110° , para un valor mínimo de C-index=1,60).⁽⁶⁰⁾

Cuando se compara el S-index y el C-index en nuestro estudio se aprecia que la gran mayoría de pacientes obtienen un valor de C-index entre 1,50-3,50 y un valor para S-index entre 1,00-3,00. En base a esto, se sabe que muchos de los pacientes presentan una anomalía cromática. En comparación con el estudio de *Atchison et al.* donde la mayoría de sus pacientes presenta visión normal estableciendo como valores de C-index entre 1,00 - 3,50 y S-index entre 1,00 - 4,00.⁽⁶⁰⁾ Pero para ambos estudios se concluye que la mayor proporción de sujetos son tritanopes.

Para finalizar, en el presente estudio se llega a la conclusión de que la anomalía cromática más común es la del tipo tritán tanto para pacientes con DMAE seca (43%), DMAE húmeda (59%) y RP (39%). También se encontraron pacientes con anomalía tipo protán para DMAE húmeda (9%) y RP (6%). En cambio, para el deután solo lo encontramos en DMAE con un 19%. Al igual que en el estudio de *Arden*, donde predominan los pacientes de DMAE con defecto tritán, con un 28% (65–74 años) y 27,70% (75–84 años). También se dan casos de defectos en el eje protán con 7% (65–74 años) y 6,40% (75–84 años).⁽⁶¹⁾ Además, según *Pinckers et al.*, en la RP, el defecto cromático más común para una AV de 0,6-0,5 se encuentran en el eje tritán, con un 38%. Además se encuentran defectos en el eje rojo-verde con un 16%.⁽⁶²⁾ Por tanto, coincidiendo con estos autores, se deduce que el defecto tritán es tan común con este tipo de patologías retinianas.



7. Conclusiones

En respuesta a los objetivos propuestos en este estudio y los resultados obtenidos, concluimos lo siguiente:

- Resulta importante obtener una **refracción optimizada** en pacientes con patologías retinianas. Al menos 1/3 de los participantes en este estudio no portaba en sus gafas las lentes que les permitían obtener su mejor AV alcanzable.
- Se considera importante introducir dentro de los **protocolos optométricos** para pacientes con patologías retinianas o sospecha de estas, las pruebas del color como método para cuantificar el estadio de esta, además de realizar un seguimiento de su progresión. Este tipo de pruebas permite a los optometristas detectar cambios más sensibles, realizando un seguimiento más detallado de la patología.
- Los sujetos con patología retiniana de este estudio tuvieron una alteración cromática adquirida del tipo **tritán** predominantemente.
- Los pacientes con **DMAE húmeda** presentaron peores valores de AV y en las pruebas de color. Además, se encontró mayor proporción de mujeres frente a las otras patologías.
- Los pacientes con patología retiniana presentan un gran **deterioro de la AV** cuando **disminuye el contraste**.



8. Bibliografía

1. Chen Y, Bedell M, Zhang K. Age-related macular degeneration: genetic and environmental factors of disease. *Mol Interv.* 2010;10:271-81.
2. Ruiz-Moreno JM, Arias Barquet L, Armadá Maresca F, Boixadera Espax A, García Layana A, Gómez Ulla de Irazazábal F, et al. Guías de práctica clínica de la SERV: tratamiento de la degeneración macular asociada a la edad (DMAE) exudativa. *Arch Soc Esp Ophthalmol.* 2009;84:333-44.
3. O'Neill-Biba M, Sivaprasad S, Rodriguez-Carmona M, Wolf JE, Barbur JL. Loss of chromatic sensitivity in AMD and diabetes: a comparative study. *Ophtha. Physiol. Opt.* 2010;30:705-16.
4. Flores-Rodríguez P, Loma Serrano E, Gili Manzanaro P, Carracedo Rodríguez G. Retinitis pigmentosa: revisión bibliográfica. *Gaceta de optometría y óptica oftálmica.* 2013;481:34-40.
5. Fernández E. *Retinosis pigmentaria: preguntas y respuestas.* Elche: Cátedra Bidons Egara; 2007.
6. Lillo Jover J, Collado JA, Sánchez MP, Pitini I. Desarrollo madurativo, percepción del color y respuestas tritán. *Anales de psicología.* 1995;11:165-73.
7. Monaci G, Menegaz G, Susstrunk S, Knoblauch K. *Color contrast detection in spatial chromatic noise.* Lausanne: EPFL; 2002.
8. Mejía Rivera EA, López A, Enoch R, Urbina Martínez SE. Efectividad en el análisis de la percepción cromática del test Farnsworth Munsell 100 HUE computarizado en comparación con el Test Farnsworth Munsell 100 HUE manual en estudiantes de 16 a 25 años de edad. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua; 2015.
9. Shinomori K, Panorgias A, Werner JS. Discrimination thresholds of normal and anomalous trichromats: model of senescent changes in ocular media density on the Cambridge Colour Test. *J Opt Soc Am A.* 2016;33:A65-A76.
10. Coca Torrents I. Evaluación de las estrategias de adaptación a disfunciones de la visión del color. Universitat Politècnica de Catalunya; 2012.
11. Gómez Pinilla NB. Perspectivas actuales en la investigación de las alteraciones de la visión en color en diabetes. Universitat Politècnica de Catalunya; 2015.
12. Urtubia Vicario C. *Neurobiología de la visión.* 2nd ed. Barcelona: UPC; 1997.
13. Birch J. *Diagnosis of defective colour vision.* 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann; 2001.
14. Cáceres Navarrete HE. Anomalías de la Visión Cromática. Universidad de La Salle. 1977;1:38-48.
15. Ley 5/2012, de 20 de marzo, de medidas fiscales, financieras y administrativas y de creación del impuesto sobre las estancias en establecimientos turísticos. *Boletín Oficial del Estado.* 2012.
16. Real decreto 597/2002, de 28 de junio, por el que se aprueba el reglamento general de ingreso en los centros docentes de formación del cuerpo de la guardia civil. *Boletín Oficial de Estado.* 2002.
17. Real decreto 1238/2011, de 8 de septiembre, por el que se regula el servicio de dirección en la plataforma aeroportuaria. *Boletín Oficial de Estado.* 2011.
18. Real decreto 383/2011, de 18 de marzo, por el que se aprueba el reglamento de reservistas de las fuerzas armadas. *Boletín Oficial de Estado.* 2011.
19. Orden FOM/2872/2010, de 5 de noviembre, por la que se determinan las condiciones para la obtención de los títulos habilitantes que permiten el ejercicio de las funciones del personal ferroviario relacionadas con la seguridad en la circulación, así como el régimen de los centros homologados de formación y de los de reconocimiento médico de dicho personal. *Boletín Oficial de Estado.* 2010.



20. Real Decreto 818/2009, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento General de Conductores. *Boletín Oficial del Estado*. 2018.
21. Curcio CA, Millican CL, Allen KA, Kalina RE. Aging of the human photoreceptor mosaic: evidence for selective vulnerability of rods in central retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1993;34:3278-96.
22. Hofer H, Carroll J, Neitz J, Neitz M, Williams DR. Organization of the human trichromatic cone mosaic. *J Neurosci*. 2005;25:9669-79.
23. Tagarelli A, Piro A, Tagarelli G, Lantieri PB, Risso D, Olivieri RL. Colour blindness in everyday life and car driving. *Acta Ophthalmol Scand*. 2004;82:436-42.
24. Cole BL. The handicap of abnormal colour vision. *Clin Exp Optom*. 2004;87:258-75.
25. Almustanyir A, Hovis JK. Predicting the CN lantern test for railways with clinical color-vision tests. *Optom Vis Sci*. 2020;97:332-9.
26. Logan NS, Gilmartin B. School vision screening, ages 5–16 years: the evidence-base for content, provision and efficacy. *Ophthalm Physiol Opt*. 2004;24:481-92.
27. Suero MI, Pérez AL, Díaz F, Montanero M, Pardo PJ, Gil J, et al. Does daltonism influence young children's learning? *Learning and Individual Differences*. 2005;15:89-98.
28. Torrents A, Bofill F, Cardona G. Suitability of school textbooks for 5 to 7 year old children with colour vision deficiencies. *Learning and Individual Differences*. 2011;21:607-12.
29. Solé González L, Abreu González R, Alonso Plasencia M, Abreu Reyes P. Calculadora de riesgo de evolución a DMAE avanzada: aplicación en práctica clínica habitual. *Arch Soc Canar Oftal*. 2013;24:41-7.
30. Martín Herranz R, Vecilla Antolínez G. *Manual de optometría*. Madrid: Médica Panamericana; 2010:1-21.
31. Navarro Valls JJ. Efecto de la luz cenital difusa sobre la agudeza visual y la sensibilidad al contraste en la conducción mesópica. Universidad Europea de Madrid; 2013.
32. García Aguado J, Sánchez Ruiz-Cabello FJ, Colomer Revuelta J, Cortés Rico O, Esparza Olcina MJ, et al. Valoración de la agudeza visual. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2016;18:267-74.
33. González Cabrera Y, Leyet Romero M, Rodríguez Masó S, Leal Hernández B, Rosselló Leyva A. Consideraciones actuales sobre el uso del optotipo logMAR en la baja visión. *Rev Cub Oftal*. 2018;31:34-44.
34. Menezo JL, España Gregori E. *Técnicas exploratorias en oftalmología*. Barcelona: Espaxs; 2006.
35. Cedrún Sánchez JE. Retinosis pigmentaria: optimización de la función visual mediante lentes ópticas especiales. Universidad Complutense de Madrid; 2018.
36. González Cabrera Y, Leyet Romero M, Rodríguez Masó S, Leal Hernández B, Rosselló Leyva A. Current considerations on the use of logMAR optotype in low vision. *Rev Cub Oftal*. 2018;31:34-44.
37. Hazel CA, Elliott DB. The dependency of logMAR visual acuity measurements on chart design and scoring rule. *Optom Vis Sci*. 2002;79:788-92.
38. Touzeau O. Calculating the mean visual acuity and the change in visual acuity with a decimal acuity chart. *J Fr Ophthalmol*. 2003;26:586-90.
39. Holladay JT. Proper method for calculating average visual acuity. *J Refract Surg*. 1997;13:388-91.
40. Adler FH, Hart WM, Moses RA. *Fisiología del ojo: aplicación clínica*. 9th ed. Madrid: Mosby-Doyma; 1994.



41. Lawrenson JG. Age-related cataract. Epidemiology, pathogenesis and management. *Contín Profession Dev OT*. 2003;24-9.
42. García Sánchez J, García Feijoo J. *Oftalmología : Memorix*. Madrid: EDIMSA; 2015.
43. Bowman KJ. The farnsworth dichotomous test - the panel D-15. *Austra J Optom*. 1973;56:13-24.
44. Caramelo Gomes C, Preto S. Should the light be static or dynamic? *Procedia manufacturing*. 2015;3:4635-42.
45. UNE. Colorimetría. Parte 2: Iluminantes patrón CIE. UNE-EN ISO 11664-2:20072011.
46. Dain SJ, Atchison DA, Hovis JK. Limitations and precautions in the use of the farnsworth-munsell dichotomous D-15 test. *Optom Vis Sci*. 2019;96:695-705.
47. Vingrys AJ, King-Smith PE. A quantitative scoring technique for panel tests of color vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1988;29:50-63.
48. Pridmore RW. Orthogonal relations and color constancy in dichromatic colorblindness. *Plos One*. 2014;9.
49. Álvaro Llorente L. Evaluación de herramientas de simulación y estudio de las preferencias del color en daltónicos dicrómatas. Universidad Complutense de Madrid; 2015.
50. Travieso-Gonzalez CM. *Colorimetry and image processing*. Rijeka, HR: IntechOpen; 2018:3-21.
51. Cedrún Sánchez JE, et al. OPTOM 2016 E-Abstract 664.
52. Sadigui Vidal P, Moreno Ochaita V. Cuantificación de la visión cromática en pacientes con degeneración macular. Universidad Complutense de Madrid; 2017.
53. Castro Herranz MBd, Muñoz Sánchez L. Cuantificación de la confusión cromática a través de filtros de corte selectivo en pacientes sanos. Universidad Complutense de Madrid; 2017.
54. Girón Daviña P. *El foróptero y la campana de Gauss: manual de estadística para óptica*. Madrid, ESP: C. Nieto; 2009.
55. Damián J, Pastor-Barriuso R, Armadá F, Arias L. Epidemiología de la degeneración macular asociada con la edad. *Aten primaria*. 2006;38:51-7.
56. VanNewkirk MR, Nanjan MB, Wang JJ, Mitchell P, Taylor HR, McCarty CA. The prevalence of age-related maculopathy: the visual impairment project. *Ophthalmology*. 2000;107:1593-600.
57. Tsujikawa M, Wada Y, Sukegawa M, Sawa M, Gomi F, Nishida K, et al. Age at onset curves of retinitis pigmentosa. *Arch Ophthalmol*. 2008;126:337-40.
58. Lovie-Kitchin JE. High contrast and low contrast visual acuity in age related macular degeneration. *Clinical and Experimental Optometry*. 1989;72:79-83.
59. Oomachi K, Ogata K, Sugawara T, Hagiwara A, Hata A, Yamamoto S. Evaluation of contrast visual acuity in patients with retinitis pigmentosa. *Clin Ophthalmol*. 2011;5:1459-63.
60. Atchison DA, Bowman KJ, Vingrys AJ. Quantitative scoring of panel tests for assessment of colour vision in age related maculopathy. *Clinical and Experimental Optometry*. 1991;74:6-10.
61. Arden GB, Wolf JE. Colour vision testing as an aid to diagnosis and management of age related maculopathy. *Br J Ophthalmol*. 2004;88:1180-5.
62. Pinckers A, Van Aarem A, Keunen JE. Colour vision in retinitis pigmentosa. *Int Ophthalmol*. 1993;17:143-6.

9. Anexos

9.1. Autorización del comité de ética



Hospital Clínico San Carlos

Comunidad de Madrid

Dictamen Protocolo Favorable

C.P. VCPR 2019 - C.I. 19/468-E

07 de noviembre de 2019

CEIC Hospital Clínico San Carlos

Dra. Mar García Arenillas
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

CERTIFICA

Que el CEIC Hospital Clínico San Carlos en su reunión del día 23/10/2019, acta 10.2/19 ha evaluado la propuesta del promotor/investigador referida al estudio:

Título: Cuantificación de la visión cromática en pacientes con distintas patologías retinianas.

Código Interno: 19/468-E

Promotor: Master Optometría y Visión. Facultad de Óptica y Optometría. Universidad Complutense de Madrid.

Versión Protocolo Evaluada: Noviembre 2019

Versión Hoja Información al Paciente Evaluada:

Que en este estudio:

- o Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- o Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- o La capacidad del investigador y los medios disponibles son adecuados para llevar a cabo el estudio.
- o El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto de los postulados éticos.
- o Se cumplen los preceptos éticos formulados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos y en sus posteriores revisiones, así como aquellos exigidos por la normativa legal aplicable en función de las características del estudio.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto por D. Juan Enrique Cedrún Sánchez, como investigador principal, en la Facultad de Óptica y Optometría. Universidad Complutense de Madrid.

Lo que firmo en Madrid, a 07 de noviembre de 2019

Dra. Mar García Arenillas
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos



9.2. Hoja de resultados del test Farnsworth D-15 saturado

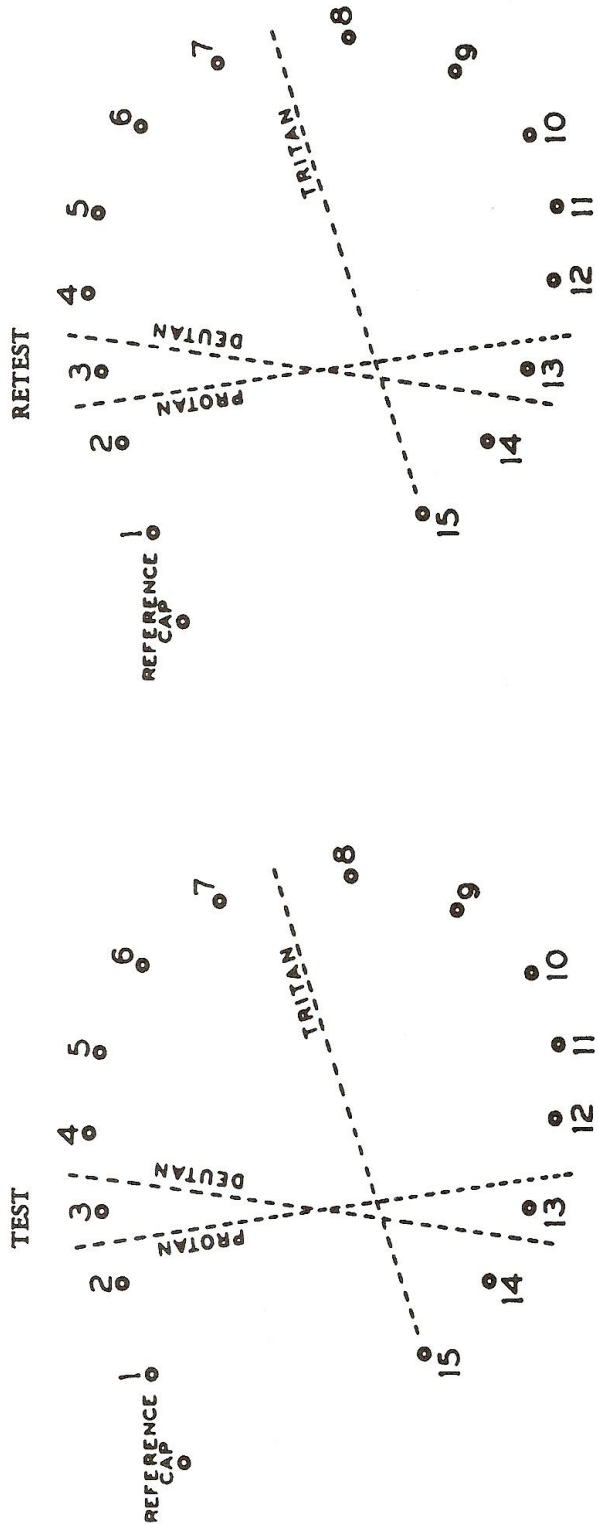
FARNSWORTH DICHOTOMOUS TEST for Color Blindness—Panel D-15

Name.....Age.....Date.....File No.....

Department.....Tester.....

DICHOTOMOUS ANALYSIS	
Type	Axis of Confusion
PROTAN (RED-bluegreen)	<input type="checkbox"/>
DEUTAN (GREEN-redpurple)	<input type="checkbox"/>
TRITAN (VIOLET-greenishyellow)	<input type="checkbox"/>
PASS <input type="checkbox"/>	
FAIL <input type="checkbox"/>	

<u>Test</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Subject's Order	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<u>Retest</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Subject's Order	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Printed in U.S.A.
50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 A B C D E