



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Evaluación de la función visual y de la neuro-retina en
sujetos con diagnóstico de daltonismo.

Autor/es:

Álida Monreal López

Director/es:

María Isabel Fuertes Lázaro

Elena García Martín

Facultad de Ciencias

Grado en Óptica y Optometría

Curso académico 2020/2021

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABREVIATURAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. VISIÓN DEL COLOR	5
1.2. DEFICIENCIAS DE LA VISIÓN DEL COLOR: DALTONISMO.....	8
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS:	11
2.1. HIPÓTESIS	11
2.2. OBJETIVOS	11
3. METODOLOGÍA:	12
3.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.2. ASPECTOS ÉTICOS.....	12
3.3. DISEÑO DEL ESTUDIO	12
3.4. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	12
3.5. PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN	13
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
4. RESULTADOS:	15
4.1. CARACTERÍSTICAS EPIDEMIOLÓGICAS	15
4.2. COMPARACIÓN ENTRE GRUPOS	15
5. DISCUSIÓN:	22
6. CONCLUSIONES:	24
BIBLIOGRAFÍA:	25

RESUMEN

Objetivo: Evaluar si el daltonismo produce una afectación de la función de la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la visión cromática y si provoca variaciones en el espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina, en el área macular y en el complejo de células ganglionares de la retina en sujetos diagnosticados.

Material y métodos: Se incluyeron 26 ojos de sujetos diagnosticados de daltonismo y 26 ojos de controles sanos sin daltonismo. Se llevó a cabo la exploración de la función visual, en la cual se midió la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la visión cromática. Además, se realizó la exploración de la estructura neuro-retiniana mediante la medición del espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina, del área macular y del complejo de células ganglionares de la retina, empleando el tomógrafo de coherencia óptica Spectralis y los siguientes protocolos: RFNL glaucoma, RFNL-N axonal y Fast Macular. Se llevó a cabo el análisis de espesores de las diferentes capas retinianas en el área macular y peripapilar.

Resultados: La agudeza visual y la sensibilidad al contraste no mostraron diferencias significativas entre los dos grupos de estudio, aunque esta última se mostró ligeramente superior en los sujetos con diagnóstico de daltonismo. Además, se observó una alteración significativa de la función de visión cromática en el grupo de sujetos daltónicos respecto al grupo de controles sanos. Por otro lado, se registró un adelgazamiento generalizado del espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina y del complejo de células ganglionares retinianas en el grupo de sujetos daltónicos respecto al grupo de controles sanos, especialmente evidenciado en el área macular.

Conclusiones: Los sujetos con diagnóstico de daltonismo, respecto a los controles sanos, presentan una agudeza visual levemente disminuida, una sensibilidad al contraste ligeramente superior (ambas no significativas) y una alteración evidenciada y significativa de la visión cromática. Además, el grupo de pacientes muestran un adelgazamiento generalizado de la capa de fibras nerviosas de la retina y del complejo de células ganglionares retinianas, especialmente en el área macular.

Palabras clave: Daltonismo, función visual, estructura neuro-retiniana, tomografía de coherencia óptica.

ABREVIATURAS

AV: Agudeza Visual

CCG: Complejo de Células Ganglionares

CFNR: Capa de Fibras Nerviosas de la Retina

CVR: Color Vision Recorder

ETDRS: Early Treatment Diabetic Retinopathy Study

OCT: Tomografía de Coherencia Óptica

RNFL: Retinal Nerve Fiber Layer

SC: Sensibilidad al Contraste

TSNIT: Temporal-Superior-Nasal-Inferior-Temporal

1. INTRODUCCIÓN

1.1. VISIÓN DEL COLOR

La neuro-retina

La **retina** es la capa interna del globo ocular, en la cual comienza el procesamiento neural de la imagen. Se encarga de recibir la señal luminosa que posteriormente será transformada en el impulso nervioso que será transmitido al cerebro a través del nervio óptico.

Podemos dividir la retina estructural y funcionalmente en dos partes: su capa más externa, el **epitelio pigmentario**, que se encuentra en contacto con la coroides, y la **neuro-retina**, constituida por el resto de las capas de esta túnica.

La **neuro-retina** es la unidad funcional del sistema nervioso central que se encarga de convertir la señal luminosa proveniente del exterior en el impulso nervioso que será transmitido hacia el cerebro, con la finalidad de percibir una imagen.

Está compuesta por 9 capas:

1. **Capa de células fotorreceptoras:** segmentos externos de los fotorreceptores.
2. **Capa limitante externa:** uniones zonulares adherentes entre los fotorreceptores y las células de Müller.
3. **Capa nuclear o granular externa:** núcleos celulares de los fotorreceptores.
4. **Capa plexiforme externa:** conexión sináptica entre los fotorreceptores y las células bipolares.
5. **Capa nuclear o granular interna:** núcleos celulares de las células bipolares, horizontales y amacrinas.
6. **Capa plexiforme interna:** conexión sináptica entre las células bipolares, amacrinas y ganglionares.
7. **Capa de células ganglionares:** núcleos de las células ganglionares.
8. **Capa de fibras del nervio óptico:** axones de las células ganglionares, que constituyen el nervio óptico.
9. **Capa limitante interna:** separa la retina del humor vítreo.

Además, podemos diferenciar 5 elementos neuronales (Figura 1):

1. **Células fotorreceptoras:** captan la señal luminosa y la transforman en impulso nervioso.
2. **Células horizontales:** recogen y regulan la información procedente de los fotorreceptores y realizan sinapsis de estos con las células bipolares.
3. **Células bipolares:** procesan y conducen el impulso nervioso procedente de los fotorreceptores hacia las células ganglionares.
4. **Células amacrinas:** realizan la sinapsis entre las células bipolares y las células ganglionares.
5. **Células ganglionares:** forman el nervio óptico. Transmiten el impulso nervioso hacia la corteza occipital, área cerebral encargada de la visión. ¹

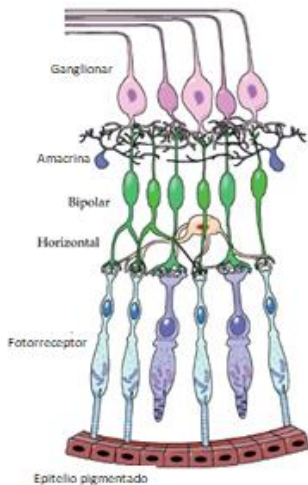


Figura 1. Células neuronales que componen las diferentes capas retinianas. Fuente: Fairchild, M. D. *Color Appearance Models* (2005, 2nd Edition, pp. 1-34, John Wiley & Sons, Ltd).

El procesamiento neural de la imagen comienza en la neuro-retina, en las células neuronales (Figura 2):

1. Los **fotorreceptores** retinianos captan la señal luminosa procedente del medio y la transforman en el impulso nervioso mediante una serie de reacciones enzimáticas y bioquímicas.
2. Las señales obtenidas por los fotorreceptores son procesadas por el resto de células neuronales de la retina.
3. El impulso nervioso llega a las células ganglionares, cuyos axones se unen formando el **nervio óptico**.
4. A través del nervio óptico, la señal eléctrica es conducida por el **quiasma óptico** y recorre el **tracto óptico** hasta el **cuerpo geniculado lateral** del cerebro, en el tálamo.
5. Finalmente, gracias a las radiaciones ópticas del cuerpo geniculado lateral, el impulso nervioso llega a la zona del cerebro encargada de la visión: el **área visual primaria**, en el lóbulo occipital del córtex.³

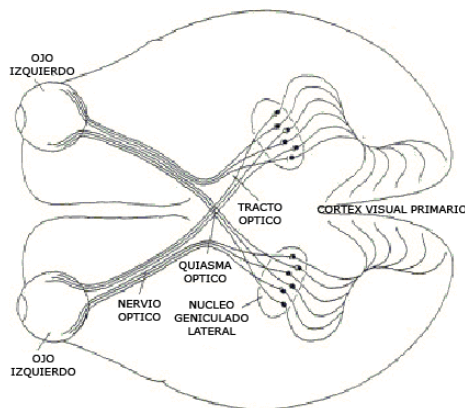


Figura 2. Representación esquemática de la vía neural de la visión, que permite el procesamiento de la imagen. Fuente: Casanova, J. A. A. *Bases neuro-fisiológicas de la visión | Psicología de la percepción visual*.

Los fotorreceptores

Los fotorreceptores son las células neuro-retinianas encargadas de recibir la señal luminosa y transformarla en impulsos nerviosos, de forma que pueda ser transmitida al resto de capas de la neuro-retina y sea enviada al cerebro, donde se formará la correspondiente imagen.

Existen dos clases de fotorreceptores: los **bastones** y los **conos**.

En la retina hay, aproximadamente, 120 millones de bastones y 6 millones de conos. Los bastones se encuentran localizados en la zona retiniana más periférica, mientras que los conos disminuyen en número hacia esta área, siendo más abundantes en la zona central, en la fovea (Figura 3).

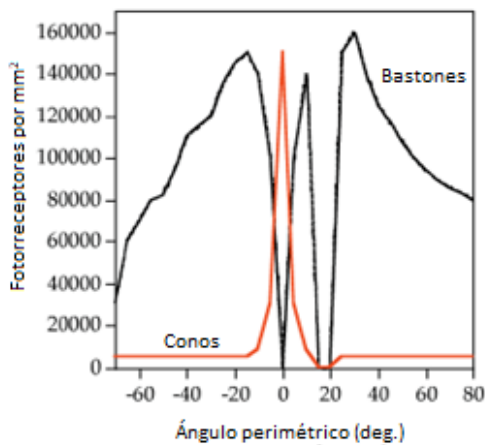


Figura 3. Distribución por mm² de los bastones y conos a lo largo de la neuro-retina. Podemos observar como el mayor número de conos se localiza en la fovea, los bastones se distribuyen en la periferia y existe una ausencia de ambos tipos en la zona correspondiente con el punto ciego, donde no hay visión (lugar donde se localiza el nervio óptico). Fuente: Fairchild, M. D. *Color Appearance Models* (2005, 2nd Edition, pp. 1-34, John Wiley & Sons, Ltd).

Una de las mayores diferencias entre estos dos tipos celulares es su función visual: por un lado, los bastones son los responsables de la respuesta a niveles de baja intensidad luminosa, es decir, en visión escotópica, mientras que los conos lo son a niveles de alta intensidad luminosa, es decir, en visión fotópica. De esta forma, el conjunto de ambos nos permite una visión a diferentes intensidades luminosas, ya que cada tipo se encarga de su visión correspondiente y a iluminaciones medias (iluminación mesópica) trabajan a la vez.

Además, cada fotorreceptor contiene en su interior un **pigmento visual**: una molécula formada por una proteína (opsina) y un derivado de la vitamina A, el 11-cis retinal. Esta molécula cambia de conformación cuando incide sobre ella la luz, siendo la encargada de desencadenar las reacciones enzimáticas y bioquímicas que comienzan el procesamiento visual.

Los bastones contienen un pigmento denominado **rodopsina**, cuya sensibilidad espectral se encuentra, aproximadamente, en la longitud de onda de 510 nm.

A diferencia de los bastones, los conos pueden presentar en su interior cualquiera de los tres tipos existentes del pigmento **opsina**, cada uno de los cuales es sensible a una longitud de onda característica. De esta forma, podemos dividir estos fotorreceptores en tres grupos:

- **Long-wavelength (conos L)**: contienen el pigmento **eritropsina**, sensible a las longitudes de onda largas. Su máxima sensibilidad se encuentra en 558 nm, correspondiente al color rojo. Este tipo de cono es el más numeroso y sensible de los tres.
- **Middle-wavelength (conos M)**: contiene el pigmento **cloropsina**, sensible a las longitudes de onda medias. Su máxima sensibilidad se encuentra en 531 nm, correspondiente al color verde.
- **Short-wavelength (conos S)**: contiene el pigmento **cianopsina**, sensible a las longitudes de onda cortas. Su máxima sensibilidad se encuentra en 420 nm, correspondiente al color azul. Estos conos se sitúan en la periferia de la fovea, estando ausentes en el centro de esta, y son menos sensibles y numerosos en comparación con los conos L y M.^{2,3}

De esta forma, los conos son los encargados de la **visión del color**, que será el resultado de la combinación de las respuestas espectrales de los tres tipos existentes (Figura 4).

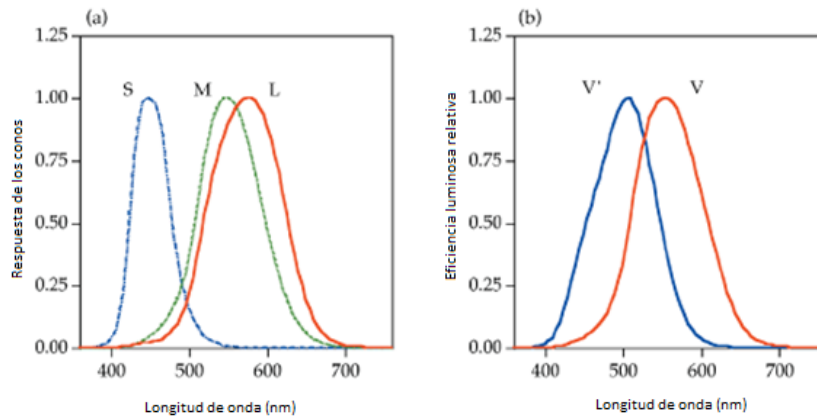


Figura 4. (a) Curvas de sensibilidad espectral de los 3 tipos de conos existentes. (b) Curvas de sensibilidad de la visión escotópica (V') y la visión fotópica (V). V' se corresponde con la sensibilidad espectral de los bastones (sólo hay un tipo), mientras que V se corresponde con la suma de la sensibilidad espectral de los 3 tipos de conos. Fuente: Fairchild, M. D. Color Appearance Models (2005, 2nd Edition, pp. 1-34, John Wiley & Sons, Ltd).

BASTONES	CONOS
120 millones	6 millones
Retina periférica	Fóvea
Visión escotópica	Visión fotópica
1 pigmento: rodopsina	3 pigmentos: eritropsina, cloropsina, cianopsina
Visión acromática	Visión cromática

Tabla 1. Diferencias principales entre los dos tipos de fotorreceptores (bastones y conos).

1.2. DEFICIENCIAS DE LA VISIÓN DEL COLOR: DALTONISMO

1.2.1. DEFINICIÓN

El **daltonismo** es una anomalía de la visión cromática caracterizada por una disminución de la capacidad de discriminación de los colores.

1.2.2. TIPOS

El grado de afectación del daltonismo es muy variable, pudiendo ir desde la dificultad a la hora de distinguir los diferentes tonos de colores hasta una pérdida total de la visión cromática.

Dependiendo de esto, podemos dividir las deficiencias cromáticas en tres grandes grupos (Tabla 2):

1. TRICROMATISMO ANÓMALO:

Mientras que una persona que posee una visión cromática normal es denominada tricrómata, existe el término **tricrómata anómalo**, el cual hace referencia a aquellos observadores que presentan los tres tipos de pigmentos existentes en los conos, pero uno de ellos cuenta con su espectro de absorción desplazado hacia una posición anormal. Se requieren tres colores para igualar cualquier otro.

Según dicho desplazamiento, podemos distinguir tres subtipos:

- **Deuteranomalía:** el espectro del pigmento clorolabe (conos M) está desplazado hacia las longitudes de onda más largas. Deficiencia rojo-verde, presentando dificultad para percibir el color verde. Es el tricromatismo anómalo más común.
- **Protanomalía:** el espectro del pigmento eritrolabe (conos L) está desplazado hacia las longitudes de onda más cortas. Deficiencia rojo-verde, presentando dificultad para percibir el color rojo.

- **Tritanomalia:** el espectro del pigmento cianolabe (conos S) está desplazado hacia longitudes de onda largas. Deficiencia amarillo-azul. Es la tricromatismo anómalo menos común.

Es el tipo de disfunción cromática más común, aunque de un grado más inferior.

2. DICROMATISMO:

El **dicromatismo** hace referencia a aquellos observadores que carecen de uno de los tres pigmentos existentes en los conos. En estos casos, el pigmento ausente es sustituido por uno de los pigmentos restantes. Se requieren dos colores para igualar cualquier otro.

Podemos distinguir tres subtipos:

- **Deuteranopia:** ausencia del pigmento clorolabe (conos M), que es sustituido por el pigmento eritrolabe. Deficiencia rojo-verde, por la ausencia de los fotorreceptores sensibles al verde.
- **Protanopia:** ausencia del pigmento eritrolabe (conos L), que es sustituido por el pigmento clorolabe. Deficiencia rojo-verde, por la ausencia de los fotorreceptores sensibles al rojo. Es la dicromacia más común.
- **Tritanopia:** ausencia del pigmento cianolabe (conos S). Deficiencia amarillo-azul. Es la dicromacia menos común.⁴

3. MONOCROMATISMO O ACROMATOPSIA:

La **acromatopsia** se corresponde con aquellas personas cuya percepción del color se limita a las diferencias entre claro y oscuro: no perciben el color, este queda reducido a una sola dimensión.

Dependiendo de su causa, podemos clasificar este grupo en:

- **Monocromatismo:** existencia única de uno de los tres tipos de pigmentos presentes en los conos, produciendo una visión cromática muy reducida o nula. Puede darse monocromatismo de conos rojos, verdes o azules.
- **Acromatopsia:** también denominada monocromatismo de bastones. Consiste en la ausencia total o al funcionamiento incorrecto de los conos. Sólo existen bastones en la retina, por lo que la visión cromática es inexistente.

Esta anomalía es la forma más grave y menos común de disminución de la capacidad de discriminación cromática y suele conllevar otros problemas como fotofobia, nistagmus y baja agudeza visual.⁵

Tipo de daltonismo	Subtipo	Pigmento afectado	Causa	Deficiencia
<i>TRICROMATISMO ANÓMALO</i>	Deuteranomalia	Clorolabe	Deficiencia en el pigmento afectado	Rojo-verde
	Protanomalia	Eritrolabe		Rojo-verde
	Tritanomalia	Cianolabe		Amarillo-azul
<i>DICROMATISMO</i>	Deuteranopía	Clorolabe	Ausencia del pigmento afectado	Rojo-verde
	Protanopía	Eritrolabe		Rojo-verde
	Tritanopía	Cianolabe		Amarillo-azul
<i>MONOCROMATISMO Y ACROMATOPSIA</i>	Monocromatismo	Todos	Presencia de un único pigmento	Visión monocromática
	Acromatopsia	Todos	Ausencia total de los pigmentos	Visión acromática

Tabla 2. Resumen de los tres grupos principales de daltonismo, con sus subgrupos.

1.2.3. ETIOLOGÍA

También podríamos clasificar las deficiencias del color según su etiología (Tabla 3):

- **Adquiridas:** aparecen como afectación secundaria asociada a otras patologías, tanto oculares (ej.: cataratas, Degeneración Macular Asociada a la Edad), como sistémicas, (ej.: diabetes, esclerosis múltiple). También pueden deberse a una lesión intracraneal o a la administración de drogas tóxicas. Son menos prevalentes e igual de comunes entre hombres y mujeres, y pueden ser reversibles o no, pudiendo variar su tipo y grado de afectación con el tiempo. Además, pueden darse de forma monocular y el defecto más común es la deficiencia al amarillo-azul.
- **Congénitas o hereditarias:** mediante herencia recesiva ligada al cromosoma X, por lo que son más comunes en hombres que en mujeres (8% frente 1%). Tienen un carácter permanente y estable, el tipo y el grado de la afectación no varía, y son irreversibles y binoculares, con igual afectación en ambos ojos. Se dan en casos de deficiencia al rojo-verde.⁴

ADQUIRIDAS	CONGÉNITAS
Secundarias a otra afectación	Herencia recesiva ligada al cromosoma X
No presentes en el nacimiento	Presentes en el nacimiento
Carácter variable	Carácter permanente y estable
Pueden ser reversibles	Irreversibles
Pueden ser monoculares	Afectación binocular
Igual prevalencia entre hombres y mujeres	Mayor prevalencia en hombres que en mujeres
Defecto más común: azul-amarillo	Defecto más común: rojo-verde

Tabla 3. Tabla de comparación entre las anomalías cromáticas adquiridas y congénitas.

1.2.4. DIAGNÓSTICO

Actualmente, existen muchas pruebas para diagnosticar las deficiencias en la visión cromática, entre las más comunes encontramos:

- **Láminas pseudoisocromáticas:** consisten en láminas compuestas por círculos coloreados, de tamaño e intensidad variable, que forman un número o línea que será indistinguible para el ojo patológico, permitiendo de esta forma el diagnóstico y la clasificación de la deficiencia cromática. Se tratan de las pruebas más empleadas en consulta y son, por ejemplo, el test de Ishihara.
- **Pruebas de ordenación:** fundado en la ordenación de colores según su tono o saturación. Son, por ejemplo, el test de Farnsworth-Munsell y de Lanthony.
- **Anomaloscopios:** colorímetros cuya finalidad es la igualación de colores, siendo la forma de análisis más completa. El más empleado es el anomaloscopio de Nagel.⁴

1.2.5. TRATAMIENTO

Actualmente, no hay ningún tipo de tratamiento para los defectos cromáticos. Sin embargo, existen ayudas que permiten a los pacientes daltónicos mejorar su percepción cromática, posibilitando una discriminación más clara de las diferentes tonalidades de un color. Este es el caso de las lentes de contacto y gafas con filtros selectivos, que actúan sobre las longitudes de onda afectadas en cada tipo de deficiencia (rojo-verde o amarillo-azul), permitiendo una mejora en la visualización de los diferentes espectros de absorción afectados.⁶ También existen ayudas (aplicaciones) para facilitar la visualización de las pantallas de dispositivos electrónicos mediante la modificación del contraste y el tono de estas.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS:

2.1. HIPÓTESIS

La existencia de una deficiencia en la visión de colores o daltonismo supone la afectación de la función de la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la visión cromática y produce variaciones en el espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina, en el área macular y en el complejo de células ganglionares de la retina.

2.2. OBJETIVOS

- Evaluar la agudeza visual y la sensibilidad al contraste en sujetos con diagnóstico de daltonismo y compararlas con sujetos sanos de su misma edad.
- Evaluar la visión cromática en sujetos con diagnóstico de daltonismo y compararla con sujetos sanos de su misma edad.
- Analizar la afectación del espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina, de la retina en la región macular y del complejo de células ganglionares de la retina en sujetos con diagnóstico de daltonismo, en comparación con sujetos sanos de su misma edad, utilizando el tomógrafo de coherencia óptica Spectralis™.

3. METODOLOGÍA:

3.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

La información del presente trabajo se ha obtenido, en su mayoría, de revisión bibliográfica de artículos obtenidos mediante los buscadores de información científica: “Google Scholar”, “Pubmed”, “Dialnet”.

3.2. ASPECTOS ÉTICOS

Respetando el principio de autonomía de los pacientes, se les informó debidamente de las pruebas que iban a ser realizadas, así como del objetivo de las mismas, y se contó con su participación voluntaria. Se recogieron los datos preservando el derecho a la intimidad y confidencialidad de cada paciente, de manera que ninguno de ellos pudiese ser identificado. El diseño del estudio cumplió todos los principios éticos que exige la Declaración de Helsinki sobre la investigación médica con seres humanos y su protocolo fue aprobado por el Comité Ético de Investigaciones Clínicas de Aragón (CEICA).

3.3. DISEÑO DEL ESTUDIO

Se llevó a cabo un estudio transversal, observacional, no intervencionista. La recogida de datos se realizó en las instalaciones del Hospital Universitario Miguel Servet, durante los meses de octubre y noviembre del año 2020.

Se estudió una muestra de sujetos, clasificados según la presencia o no de alteración en la visión del color. Las pruebas realizadas en ambos grupos fueron las siguientes:

- **Pruebas de la función visual:** agudeza visual (AV) con ETDRS a 3 niveles de contraste (100%, 2,5%, 1,25%), sensibilidad al contraste con el test Pelli-Robson y visión cromática con Color Vision Recorder (CVR) (Farnsworth panel D15, Lanthony desaturated D15, Farnsworth-Munsell 100).
- **Pruebas de evaluación estructural de la neuro-retina:** Tomografía de Coherencia Óptica (OCT), centrada en la medición de la Capa de Fibras Nerviosas de la Retina (CFNR) y del Complejo de Células Ganglionares (CCG) (axonal y macular), tanto de forma global como por cuadrantes y sectores.

3.4. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

En este estudio, se evaluaron ambos ojos de cada sujeto, sano y patológico.

- 26 ojos de 13 sujetos diagnosticados de daltonismo.
- 30 ojos de 15 sujetos control, pero se descartaron 2 de los sujetos por baja fiabilidad de las pruebas.

Los criterios de inclusión y exclusión que se tuvieron en cuenta fueron los siguientes (Tabla 4):

CRITERIOS DE INCLUSIÓN
Transparencia en los medios ópticos
Agudeza visual > 0,50 (escala de Snellen y monocular)
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Defectos refractivos elevados: equivalente esférico > 5,00 D o astigmatismo > 3,00 D
Anisometropías > 2,00 D
Tratamiento farmacológico potencialmente tóxico para la retina y/o el nervio óptico
Enfermedades oculares que puedan alterar la anatomía de la retina

PIO > 21 mmHg o sospecha de patología glaucomatosa

Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión tenidos en cuenta en el estudio.

3.5. PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN

Todos los sujetos seleccionados para el estudio fueron sometidos a las siguientes pruebas:

1. Evaluación de la función visual:

- **Agudeza visual (AV):**

Definiendo la AV como la capacidad que tiene el sistema visual para percibir y diferenciar dos estímulos separados entre sí por un determinado ángulo, su evaluación fue llevada a cabo mediante el optotipo ETDRS, compuesto por tres láminas de diferentes contrastes: 100%, 2,5% y 1,25%.

Este test retroiluminado emplea la escala logMAR para medir la AV en 3 niveles de contraste, manteniendo constante el número de letras presentes en cada fila y una progresión de 0,1 unidades logarítmicas entre estas⁷. La prueba finaliza cuando el sujeto es incapaz de diferenciar todas las letras de una línea.

Se colocó a cada sujeto sentado a una distancia de 4 metros del test y con su corrección de lejos si era necesario. Se tomó la AV en los 3 contrastes disponibles, de forma monocular y con iluminación mesópica alta.

- **Sensibilidad al contraste (SC):**

Definiendo la SC como la capacidad del sistema visual para diferenciar un objeto sobre el fondo en el que se localiza, se llevó a cabo su evaluación mediante el test de Pelli-Robson.

Esta prueba consiste en una tabla optométrica de AV estándar de Snellen, compuesta por 8 líneas con 6 letras en cada una, diferenciándose en que el contraste de estas va disminuyendo por cada trío⁸. El test finaliza cuando el sujeto es incapaz de diferenciar las letras de un trío o sólo distingue una de ellas.

Se colocó a cada sujeto a una distancia de 1 metro del test y con su corrección de lejos o intermedia si era necesario. Se tomó la SC de forma monocular y con iluminación fotópica.

- **Visión cromática:**

Con la finalidad de identificar y clasificar las diferentes deficiencias de la visión del color, se llevó a cabo la evaluación de los sujetos mediante el programa informático Color Vision Recorder (CVR), en el cual se realizaron las siguientes pruebas de ordenación: Farnsworth D15, Lanthony desaturated D15 y Farnsworth-Munsell 100. Estas pruebas permiten el diagnóstico de una visión cromática anormal, así como la cuantificación de su severidad.⁹

Se colocó a cada sujeto a una distancia de unos 40 cm del ordenador y con su corrección de cerca si era necesario. Se evaluó la visión cromática de forma monocular y con iluminación fotópica.

2. Evaluación de la estructura neuro-retiniana:

- **Tomografía de Coherencia Óptica (OCT):**

Técnica de imagen no invasiva que permite la visualización de la retina, recreando su morfología gracias a la obtención de cortes histológicos transversales realizados en la retina in vivo (tomografías).

Basada en el principio de interferometría de baja coherencia, se lleva a cabo mediante ondas de luz infrarroja, que penetran en los tejidos, reflejándose en estos y produciendo

interferencias que son traducidas en una imagen bidimensional, en color o en escala de grises, de las capas de la retina (Figura 5).

Dependiendo de la capacidad de refringencia o de absorción de cada capa, se representarán de una forma u otra en la imagen final, permitiéndonos identificarlas correctamente y visualizar cualquier tipo de problema.¹⁰

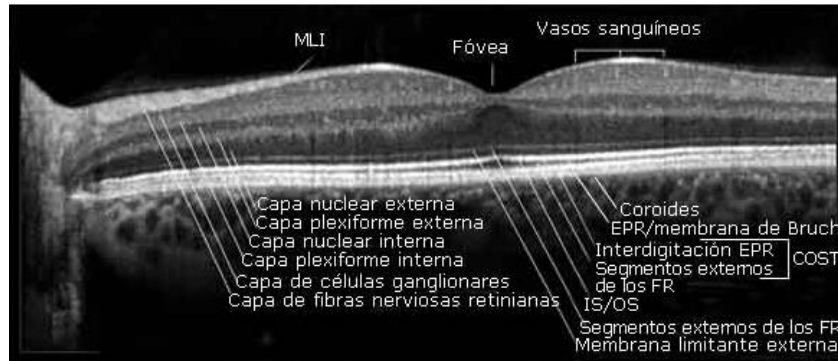


Figura 5. Imagen de la estructura retiniana obtenida mediante SD-OCT. Fuente: Ramos López, et. al. Factores predictivos para resultados funcionales en la cirugía del agujero macular idiopático. Revista Cubana de Oftalmología, 2013, vol. 26, nº 2, pp. 307-322, ISSN: 0864-2176.

Esta prueba se realizó mediante el SD-OCT Spectralis™ y se usaron los siguientes protocolos:

- **RNFL (glaucoma):** medida de la capa de fibras nerviosas de la retina, partiendo del cuadrante temporal del nervio óptico, siguiendo la dirección TSNIT (Temporal-Superior-Nasal-Inferior-Temporal).
- **RNFL-n (axonal):** medida de la capa de fibras nerviosas de la retina, partiendo y finalizando en el cuadrante nasal del nervio óptico, con la finalidad de mejorar la reproducibilidad y fiabilidad de las mediciones tomadas en el sector temporal.
- **Fast Macular:** medida del grosor macular, realizando la segmentación de la retina, con la finalidad de aislar las capas formadas por los axones de las células ganglionares. Se llevó a cabo la determinación del espesor de las capas retinianas en el área macular y peripapilar.

Estos protocolos proporcionan la información del espesor de la retina en la región macular, del espesor del CCG y de la CFNR en los 6 sectores del disco óptico: Temporal (T), Temporal Superior (TS), Temporal Inferior (TI), Nasal (N), Nasal Superior (NS) y Nasal Inferior (NI). También representan el valor promedio del espesor de la CFNR de forma global (G) (Figura 6).

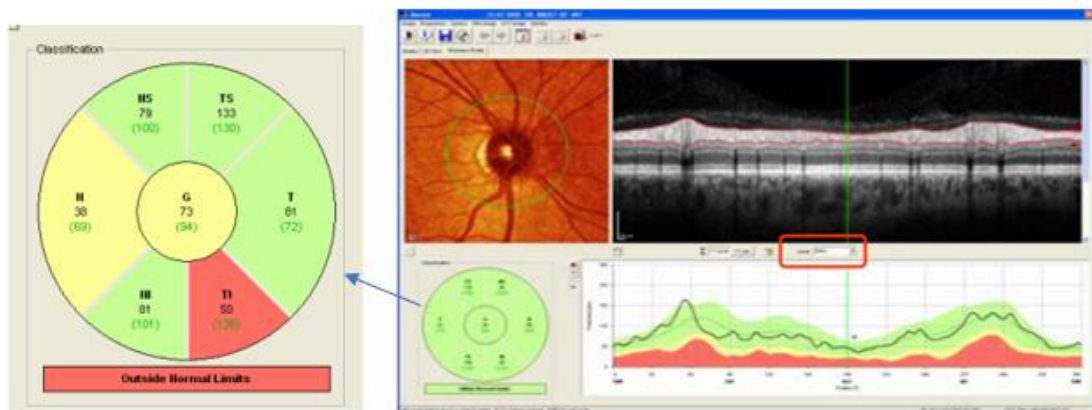


Figura 6. Información obtenida mediante el protocolo RNFL (glaucoma) del SD-OCT Spectralis empleado en el estudio. En la imagen de la izquierda podemos observar la clasificación por cuadrantes del espesor de la CFNR. En la imagen de la derecha

*podemos observar la imagen del nervio óptico, la segmentación de las capas retinianas y los valores del espesor de la CFNR.
Fuente: Heidelberg Engineering. Spectralis OCT: Guía rápida (2005)*

Se colocó a cada sujeto apoyando la frente y el mentón en el aparato, sin corrección y con la mirada al frente. Se seleccionó el protocolo necesario en cada medida y se realizó la toma de valores de forma monocular y con iluminación escotópica en la sala.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables del estudio fueron recogidas en una base de datos del programa Microsoft Excel e importadas al programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS versión 20.0, SPSS Inc. Chicago, IL, EEUU) para la realización del análisis estadístico.

Los resultados obtenidos en las variables cuantitativas fueron expresados mediante la media y desviación estándar, mientras que los resultados obtenidos en las variables cualitativas fueron expresados mediante frecuencias y porcentajes.

Se empleó el test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar que las variables cuantitativas se ajustaban a la normalidad. A pesar de que la mayoría de ellas sí lo hacían, como el tamaño muestral en cada grupo de sujetos fue inferior a 30, se decidió utilizar test no paramétricos para el análisis del estudio. Por ello se compararon las variables entre ambos grupos mediante el test de U de Mann Whitney.

En todos los análisis de este estudio el nivel de significación utilizado fue un valor de $p \leq 0,05$.

4. RESULTADOS:

4.1. CARACTERÍSTICAS EPIDEMIOLÓGICAS

Antes de comenzar el análisis, verificamos que los dos grupos de estudio eran equiparables entre sí mediante la comprobación de la inexistencia de diferencias significativas respecto a la variable edad, siendo la media de $24,78 \pm 10,60$ años en el grupo de sujetos sanos y de $26,11 \pm 11,80$ años en el grupo de sujetos daltónicos ($p = 0,674$): no se mostraron diferencias estadísticamente significativas.

4.2. COMPARACIÓN ENTRE GRUPOS

1. FUNCIÓN VISUAL:

1.1. Agudeza Visual (AV):

Los resultados obtenidos en la valoración de la AV mediante las láminas del optotipo ETDRS se muestran en la Tabla 5:

AV ETDRS (decimal)	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
100%	$1,12 \pm 0,23$	$1,07 \pm 0,26$	0,299
2,5%	$0,39 \pm 0,11$	$0,37 \pm 0,09$	0,462
1,25%	$0,27 \pm 0,11$	$0,22 \pm 0,07$	0,091

Tabla 5. Media y desviación estándar de agudeza visual (AV) con optotipo Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS), para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos obtenido mediante el test no paramétrico de U de Mann Whitney.

Aunque la diferencia de AV entre los dos grupos no fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$), los resultados de AV en el grupo de sujetos sanos fueron ligeramente superiores respecto a los del grupo de sujetos daltónicos, es decir, se observó una AV superior a diferentes contrastes en el grupo de sujetos sanos.

Además, siendo el optotipo de 100% el de máximo contraste y el de 1,25% el de mínimo contraste, se observó en ambos grupos la disminución de los valores de AV a medida que lo hacía el contraste de los optotipos, es decir, la función visual de AV disminuyó con el contraste, independientemente de la existencia de un defecto cromático.

1.2. *Sensibilidad al Contraste (SC):*

El test de Pelli-Robson no mostró diferencias significativas en cuanto a la SC entre el grupo de sujetos sanos ($1,90 \pm 0,11$) y el grupo de sujetos daltónicos ($1,93 \pm 0,08$) ($p = 0,390$).

1.3. *Visión cromática:*

Los resultados obtenidos en la valoración de la visión cromática mediante las tres pruebas de ordenación del programa CVR fueron los siguientes:

- **Farnsworth panel D15** (Tabla 6 y Figura 6):

FARNSWORTH	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
<i>Tiempo (seg.)</i>	64,82 ± 24,65	72,40 ± 33,46	0,694
<i>CCI</i>	1,00 ± 0,02	2,81 ± 0,69	< 0,001
<i>AC CCI</i>	1,00 ± 0,03	2,79 ± 0,69	< 0,001
<i>C-index</i>	1,00 ± 0,02	3,40 ± 0,83	< 0,001
<i>S-index</i>	1,48 ± 0,01	4,59 ± 1,59	< 0,001
<i>Confusion angle (°)</i>	62,06 ± 2,84	4,26 ± 17,19	< 0,001

Tabla 6. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos con el test Farnsworth D-15, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos con el test no paramétrico de U de Mann Whitney. Abreviaturas: CCI (Color Confusion Index), AC CCI (Age Corrected Color Confusion Index), C-index (Confusion Index), S-index (Selectivity Index).

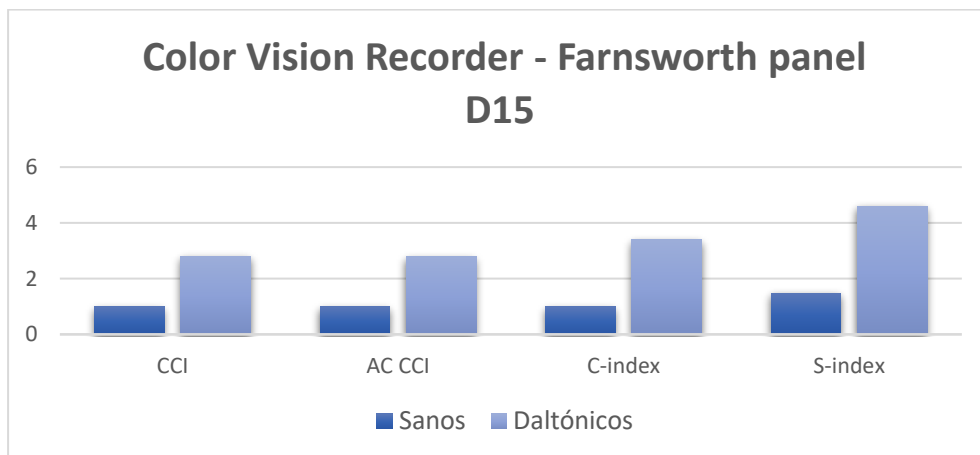


Figura 6. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos con el test Farnsworth D-15, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

Podemos observar cómo, excepto en la variable del tiempo de realización del test, la diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

- **Lanthony desaturated D15** (Tabla 7 y Figura 7):

LANTHONY D15	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
<i>Tiempo (seg.)</i>	86,92 ± 51,93	74,66 ± 33,46	0,314
<i>CCI</i>	1,04 ± 0,06	2,55 ± 0,45	< 0,001
<i>AC CCI</i>	0,97 ± 0,07	2,37 ± 0,42	< 0,001
<i>C-index</i>	1,06 ± 0,09	3,02 ± 0,47	< 0,001

<i>S-index</i>	1,51 ± 0,13	3,47 ± 1,38	< 0,001
<i>Confusion angle (°)</i>	60,72 ± 4,32	2,93 ± 17,27	< 0,001

Tabla 7. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos con el test Lanthony D-15, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos con el test no paramétrico de U de Mann Whitney. Abreviaturas: CCI (Color Confusion Index), AC CCI (Age Corrected Color Confusion Index), C-index (Confusion Index), S-index (Selectivity Index).

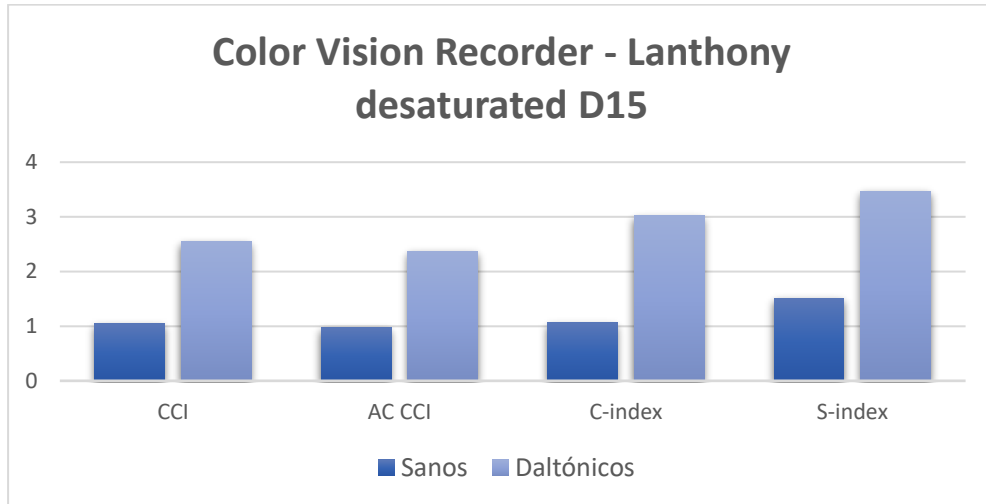


Figura 7. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos con el test Lanthony D-15, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

Podemos observar cómo, excepto en la variable del tiempo de realización del test, la diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

- **Farnsworth-Munsell 100** (Tabla 8 y Figura 8):

<i>Farnsworth-Munsell 100</i>	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
<i>Tiempo (seg.)</i>	424,62 ± 131,69	398,83 ± 167,77	0,400
<i>TES</i>	41,23 ± 23,04	248,00 ± 74,80	< 0,001
<i>Square root of TES</i>	6,12 ± 1,98	15,59 ± 2,30	< 0,001
<i>TPES-RG</i>	20,31 ± 13,38	157,73 ± 46,93	< 0,001
<i>TPES-BY</i>	20,92 ± 13,79	90,27 ± 47,71	< 0,001
<i>C-index</i>	1,25 ± 0,16	2,95 ± 0,49	< 0,001
<i>S-index</i>	1,36 ± 0,09	1,72 ± 0,28	< 0,001
<i>Confusion angle (°)</i>	51,95 ± 9,99	5,48 ± 20,97	< 0,001

Tabla 8. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos con el test Farnsworth-Munsell 100, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos con un test no paramétrico de U de Mann Whitney. Abreviaturas: TES (Total Error Score), TPES-RG (Total Primary Energy Supply Red-Green), TPES-BY (Total Primary Energy Supply Blue-Yellow), C-index (Confusion Index), S-index (Selectivity Index).

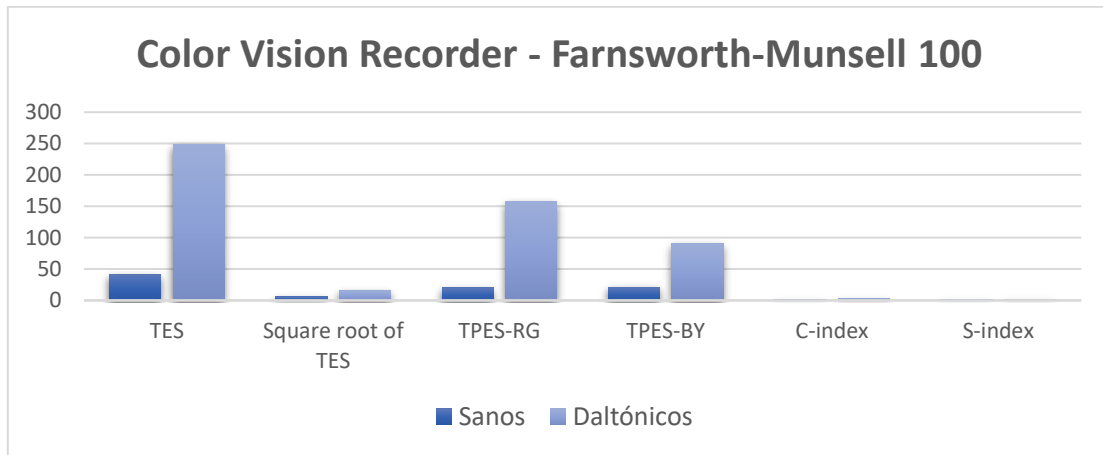


Figura 8. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos con el test Farnsworth-Munsell 100, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

Podemos observar cómo, excepto en la variable del tiempo de realización del test, la diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

2. ESTRUCTURA NEURO-RETINIANA:

Los resultados obtenidos en la valoración de la estructura neuro-retiniana mediante el aparato SD-OCT Spectralis fueron los siguientes:

- **Capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) (Tabla 9 y Figura 9):**

Espeor CFNR (μm)	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
Global	107,69 ± 10,65	102,04 ± 5,47	0,040
Temporal	82,42 ± 15,46	75,23 ± 11,90	0,128
Temporal Superior	149,04 ± 23,47	148,27 ± 11,92	0,884
Temporal Inferior	164,42 ± 16,79	150,65 ± 15,59	0,009
Nasal	76,89 ± 16,62	70,31 ± 11,25	0,039
Nasal Superior	110,31 ± 20,62	110,89 ± 20,01	0,963
Nasal Inferior	118,89 ± 27,51	115,77 ± 13,74	0,564

Tabla 9. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) de la capa de fibras nerviosas de la retina, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p -valor) de la comparación entre los dos grupos con un test no paramétrico de U de Mann Whitney. Abreviaturas: CFNR (Capa Fibras Nerviosas de la Retina).

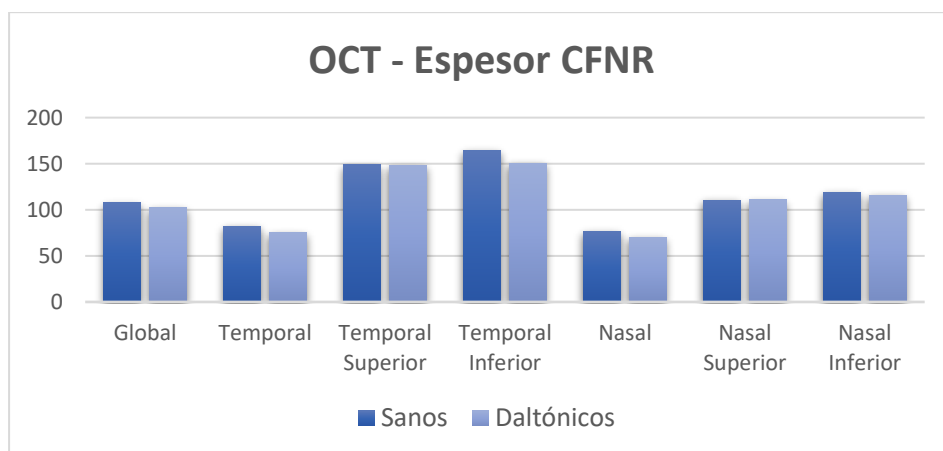


Figura 9. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) de la capa de fibras nerviosas de la retina, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

Se pudo observar un espesor reducido de la CFNR en todos los sectores en el grupo de sujetos daltónicos respecto al grupo de sujetos control, obteniéndose diferencias significativas entre ambos grupos en el espesor promedio y en los cuadrantes temporal inferior y nasal ($p < 0,05$).

- **Capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) axonal** (Tabla 10 y Figura 10):

CFNR axonal (μm)	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
Global	108,73 \pm 10,27	103,73 \pm 5,86	0,069
HPM	61,04 \pm 9,09	57,62 \pm 7,94	0,193
Ratio NT	1,01 \pm 0,31	1,02 \pm 0,27	0,891
Nasal Superior	112,89 \pm 20,75	114,65 \pm 21,86	0,812
Nasal	78,77 \pm 17,48	73,42 \pm 12,21	0,167
Nasal Inferior	118,65 \pm 26,52	114,96 \pm 14,41	0,395
Temporal Inferior	165,77 \pm 17,28	152,65 \pm 14,277	0,011
Temporal	81,42 \pm 15,10	74,81 \pm 11,51	0,115
Temporal Superior	151,65 \pm 22,98	151,35 \pm 10,61	0,999

Tabla 10. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos mediante OCT de la capa de fibras nerviosas axonal, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos con un test no paramétrico de U de Mann Whitney. Abreviaturas: CFNR (Capa Fibras Nerviosas de la Retina), HPM (Haz Papilomacular), Ratio NT (Ratio Nasal/Temporal).

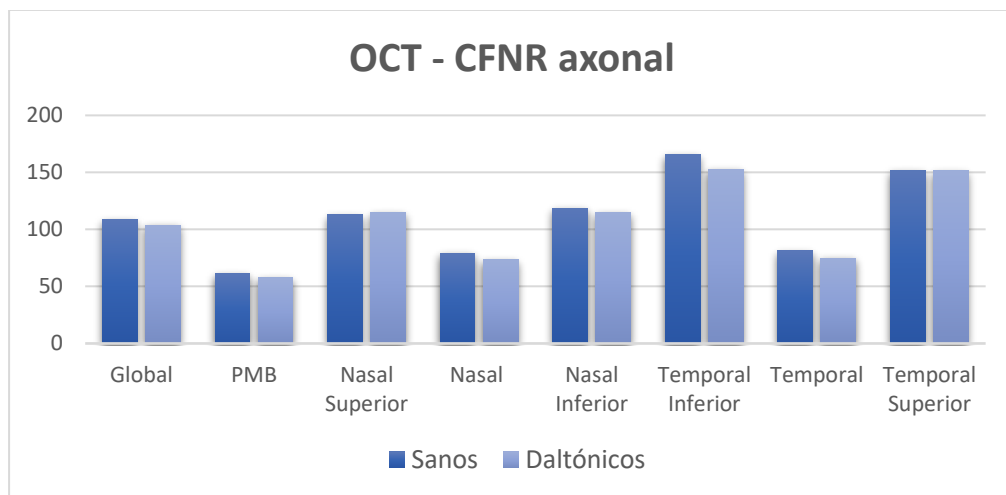


Figura 10. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) de la capa de fibras nerviosas de la retina axonal, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

Se pudo observar un espesor reducido de la CFNR axonal en todos los sectores en el grupo de sujetos daltónicos respecto al grupo de sujetos control, excepto en el cuadrante nasal superior y el Ratio Nasal/Temporal, donde los valores fueron ligeramente superiores en el grupo de sujetos daltónicos. Además, se obtuvieron diferencias no significativas entre los dos grupos en todos los cuadrantes menos en el temporal inferior, donde la diferencia sí fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

- **Espesor de la retina en la región macular** (Tabla 11 y Figura 11):

Espesor macular (μm)	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
Volumen Total	0,94 \pm 0,13	0,86 \pm 0,08	0,010
Fóvea	11,92 \pm 1,72	12,96 \pm 1,76	0,051
Nasal interno	19,46 \pm 1,90	20,27 \pm 1,71	0,181
Nasal externo	49,65 \pm 8,01	45,46 \pm 6,08	0,037
Superior interno	22,46 \pm 2,60	22,50 \pm 2,20	0,934

Superior externo	38,35 ± 6,13	34,77 ± 4,53	0,017
Temporal interno	16,19 ± 1,10	16,15 ± 1,32	0,690
Temporal externo	18,58 ± 1,86	18,00 ± 0,80	0,289
Inferior interno	25,42 ± 2,79	25,19 ± 2,68	0,956
Inferior externo	45,04 ± 8,51	37,19 ± 5,17	< 0,001
Centro	0,92 ± 2,00	1,38 ± 2,06	0,139
Central Max.	25,27 ± 2,92	28,81 ± 3,91	0,001

Tabla 11. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) del espesor de la retina en el área macular, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos con un test no paramétrico de U de Mann Whitney.

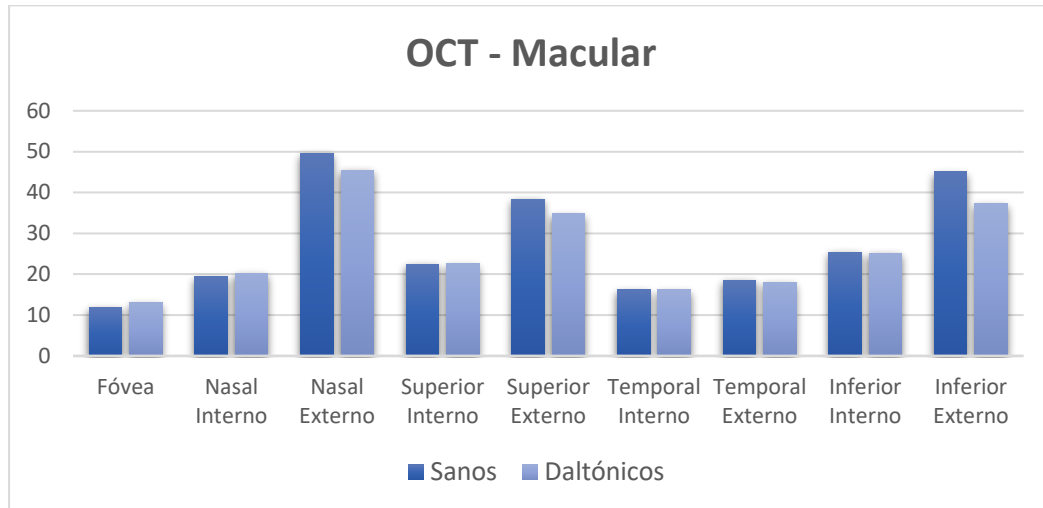


Figura 11. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) del espesor de la retina en el área macular, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

En general, se observó un espesor reducido de la retina en el área macular en todos sectores retinianos en el grupo de sujetos daltónicos con respecto al grupo de sujetos control.

La diferencia de espesor fue estadísticamente significativa en el grupo de sujetos sanos en relación al grupo de sujetos daltónicos en el volumen total, el punto central máximo y en los cuadrantes nasal externo, superior externo e inferior externo ($p \leq 0,05$).

- **Complejo de Células Ganglionares (CCG) macular** (Tabla 12 y Figura 12):

CCG macular (µm)	SANOS	DALTÓNICOS	SIGNIFICACIÓN
Fóvea	15,31 ± 3,70	16,50 ± 3,34	0,250
Nasal interno	52,12 ± 5,76	52,35 ± 5,17	0,601
Nasal externo	42,19 ± 3,78	38,85 ± 3,60	0,006
Superior interno	54,19 ± 4,69	53,58 ± 3,69	0,755
Superior externo	37,85 ± 3,38	34,92 ± 3,22	0,003
Temporal interno	48,65 ± 5,02	50,15 ± 4,84	0,216
Temporal externo	39,23 ± 5,50	37,42 ± 4,11	0,283
Inferior interno	54,65 ± 4,94	54,19 ± 3,72	0,840
Inferior externo	35,58 ± 4,11	33,65 ± 3,48	0,150
Centro	3,12 ± 2,81	3,85 ± 2,89	0,332
Central Min.	1,46 ± 1,77	1,35 ± 1,38	0,841
Central Max.	38,73 ± 8,73	42,81 ± 7,91	0,074

Tabla 12. Media y desviación estándar de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) de la capa de células ganglionares macular, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos, y significación estadística (p-valor) de la comparación entre los dos grupos con un test no paramétrico de U de Mann Whitney. Abreviaturas: CCG (Complejo de Células Ganglionares).

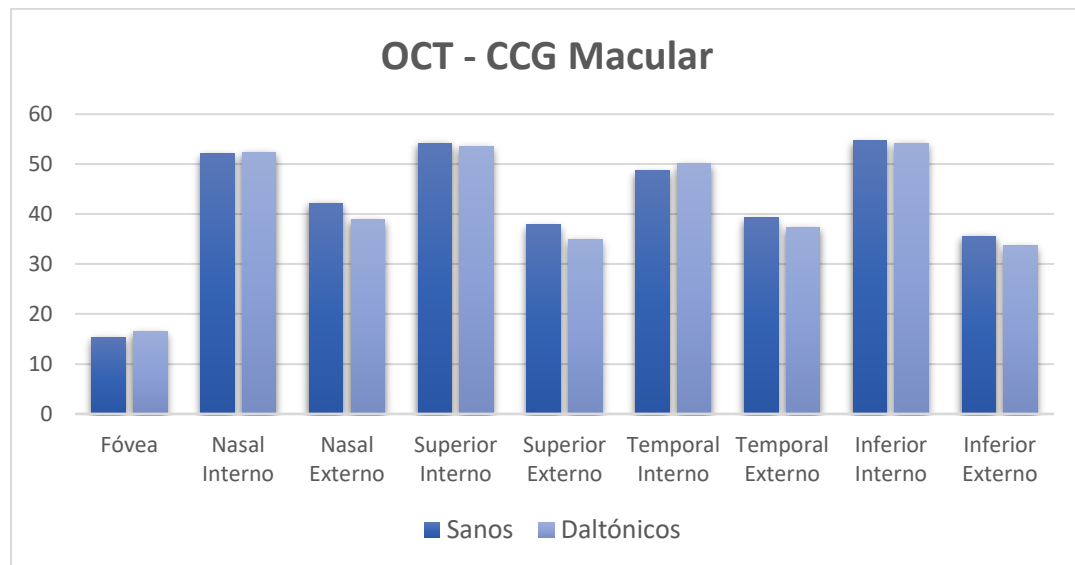


Figura 12. Representación de comparación de la media de los parámetros obtenidos mediante Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) del complejo de células ganglionares de la retina, para el grupo de sanos y el grupo de daltónicos.

Se observó un espesor significativamente superior en los cuadrantes nasal externo y superior externo en el grupo de sujetos sanos con respecto al grupo de sujetos daltónicos ($p \leq 0,05$).

5. DISCUSIÓN:

El daltonismo o disfunción de la visión cromática consiste en la alteración de la capacidad para diferenciar algunos colores, defecto que supone cambios variables en el estilo de vida de los sujetos afectados, dependiendo del grado de la deficiencia. En el presente estudio se evaluó tanto la función visual (AV, SC y visión cromática), como la estructura neuro-retiniana mediante OCT.

Por un lado, la cuantificación de la AV mediante el test optotipo ETDRS en los dos grupos de estudio no mostró diferencias estadísticamente significativas, aunque fue levemente inferior en el grupo de sujetos daltónicos. Por otro lado, los datos correspondientes a la SC, obtenidos mediante el test de Pelli-Robson, mostraron un leve aumento estadísticamente no significativo de esta capacidad visual en el grupo de sujetos daltónicos. Esta mejora de la SC en los sujetos con daltonismo fue observada en el estudio de Ilhan y colaboradores (2017)¹¹, quienes argumentaron que es debido a una disminución de la borrosidad y el desenfoque de la imagen retiniana, gracias al decrecimiento del ruido cromático (fluctuación del color) causado por las aberraciones cromáticas del sistema visual y los fotorreceptores, en sujetos con visión cromática anormal, específicamente en aquellos con deficiencia rojo-verde congénita, en todas las frecuencias espaciales. Sin embargo, este hecho también podría causar un aumento de la AV en estos sujetos, lo cual no fue observado en el presente estudio.

Se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos en la realización de los test de visión cromática: Farnsworth D-15, Lanthony D-15 y Farnsworth-Munsell 100. Estas pruebas de ordenación cuentan con láminas formadas por diferentes estímulos que deben ser ordenados según su tono o matiz, basando la visión cromática de los sujetos en la cantidad de errores que llevan a cabo durante la ordenación, clasificando la visión en tricromática normal o en los diferentes tipos y grados de daltonismo. De esta forma, aquellos sujetos que cuentan con una visión cromática normal son capaces de ordenar los colores por su tono con el mínimo error posible, mientras que aquellos que presentan una afectación en esta visión son incapaces, de forma que muestran un gran porcentaje de errores.

Este hecho fue explicado en el estudio realizado por Sabesan y colaboradores (2016)¹²: en los sujetos con algún tipo de daltonismo, los pigmentos visuales de los conos correspondientes a cada longitud de onda de luz y, por lo tanto, a cada color, no se verían activados por los estímulos presentados en las láminas de cada test, debido a su incorrecto funcionamiento o a su ausencia total en la retina. Este hecho impediría la propagación de la información cromática desde los conos hasta las células ganglionares correspondientes, encargadas a su vez de la transmisión de dicha información al área cerebral reguladora de la visión cromática. En aquellos sujetos con visión tricromática normal, los conos correspondientes a las diferentes longitudes de onda serían activados adecuadamente, permitiendo una correcta realización de la prueba de ordenación, lo que supondría una ausencia de defecto cromático.

Por último, en nuestro estudio se obtuvieron las medidas del espesor de la CFNR y la CCG, tanto en el área macular como en la peripapilar, mediante el SD-OCT Spectralis™. En general, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de estudio, presentando un espesor reducido en ambas capas el grupo de sujetos daltónicos respecto al grupo de sujetos sanos. Resultados similares fueron observados en el estudio de Gupta y colaboradores (2011)¹³, quienes no encontraron tampoco diferencias significativas entre la morfología retiniana de los sujetos sanos y la de los sujetos con deficiencias cromáticas al rojo-verde.

Por otro lado, se observaron sectores aislados donde el aumento del espesor de ambas capas en los sujetos sanos era significativo, especialmente en el área macular, zona retiniana en la cual el número de fotorreceptores es mayor. Esta, por lo tanto, podría estar disminuida en los sujetos que padezcan cualquier tipo de dicromatismo, en los cuales existiría una ausencia de los diferentes tipos de conos. Teóricamente, en los tricrómatas la distribución y densidad de los conos no se vería alterada, ya que esta afectación es debida a un funcionamiento incorrecto de éstos, no debido a su ausencia, por lo que el espesor no tendría por qué estar disminuido.

Por el contrario, cuanto mayor sea el grado de daltonismo, mayor será la afectación de la estructura retiniana. En el presente estudio no se contaba con ningún sujeto que presentase un grado elevado de afectación, pero este hecho ha sido demostrado anteriormente por otros autores que estudiaron las características morfológicas de la retina en sujetos con disfunciones de los conos, como Aboshiha y colaboradores (2015)⁶ y Barthelmes y colaboradores (2006)¹⁴, quienes observaron espesores más reducidos en la fovea de sujetos con monocromatismo al color azul, pero no registraron ninguna afectación retiniana en sujetos con acromatopsia.

Resumiendo, en el presente estudio observamos diferencias significativas en el espesor de algunos de los cuadrantes de la capa de fibras nerviosas de la retina, de la retina en la región macular y del complejo de células ganglionares, con una reducción de espesor de dichos sectores en los sujetos con diagnóstico de daltonismo frente a los sujetos sanos, pudiendo ser debido a la ausencia característica de los diferentes tipos de conos en el dicromatismo. Además, se observó un leve aumento en la agudeza visual de los sujetos sanos, pero ocurrió lo contrario en la sensibilidad al contraste, que mostró mejores resultados en los sujetos daltónicos. Sin embargo, en ambos casos, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Por último, se observó cómo la visión cromática se encuentra significativamente alterada en los sujetos con diagnóstico de daltonismo.

La principal limitación del presente estudio es el bajo tamaño muestral de ambos grupos, por lo que en investigaciones posteriores se debería plantear un aumento del número de sujetos, incrementando de esta forma la fiabilidad y validez del estudio.

6. CONCLUSIONES:

- La agudeza visual y la sensibilidad al contraste en los sujetos daltónicos no presenta diferencias significativas respecto a los valores obtenidos en los sujetos sanos, aunque se observa una sensibilidad al contraste ligeramente superior en los sujetos daltónicos.
- Se observa una alteración de la visión cromática en los sujetos con diagnóstico de daltonismo en comparación con los sujetos sanos en los test de Farnsworth D15, Lanthony D15 y Farnsworth-Munsell 100, observando un aumento significativo en todos los parámetros de estudio de estas pruebas, excepto en el ángulo de confusión, que se presenta significativamente reducido en los sujetos daltónicos.
- Mediante el tomógrafo de coherencia óptica Spectralis™, se registraron algunas reducciones significativas en el espesor de la neuro-retina en los sujetos con diagnóstico de daltonismo respecto al grupo de sujetos sanos, tanto en el espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina (espesores promedio y de los cuadrantes temporal inferior y nasal), como de la retina en la región macular (volumen total y sectores externos) y del complejo de células ganglionares en la zona macular (sectores nasal externo y superior externo).

BIBLIOGRAFÍA:

1. Alañón Fernández, F.J., Cárdenas Lara, M., Alañón Fernández, M.A., Martos Aguilera, A. *Capítulo 1: Anatomía y fisiología del aparato ocular*. En *Oftalmología en Atención Primaria*, 2005, pp. 11–46. Alcalá Grupo Editorial, ISBN: 9788495658036.
2. Prado Serrano, A., Tatiana Camas Benítez, J., Sánchez Fonseca, R.C. *Fototransducción visual*. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 2006, vol. 80, pp. 340–346.
3. Fairchild, M. D. *Color Appearance Models*. 2005, 2nd edition, pp. 1–34. John Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 0-470-01216-1.
4. Romero Mora, J., García García, J.A., García y Beltrán, A. *Capítulo X: Anomalías de la visión del color*. En *Curso introductorio a la Óptica Fisiológica (Óptica Ocular y Psicofísica de la Visión)*, 1996, pp. 193 – 210. Editorial Comares, ISBN: 84-8151-253-3.
5. Aboshiha, J., et. al. *The cone dysfunction syndromes*. *The British Journal of Ophthalmology*, 2016, vol. 100, pp. 115-121.
6. Badawy, A.R., Hassan, M.U., Elsherif, M., Ahmed, Z., Yetisen, A.K., Butt, H. *Contact lenses for color blindness*. *Advanced Healthcare Material*, 2018, vol. 7, nº 12.
7. García Aguado, J., et. al. *Valoración de la agudeza visual*. *Revista Pediatría Atención Primaria*, 2016, vol. 18, nº 71, pp. 267-274, ISSN: 1139-7632.
8. López, Y. *Importancia de la valoración de sensibilidad al contraste en la práctica optométrica*. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, vol. 7, nº 2, pp. 99-114, ISSN: 1692-8415.
9. Annadanam, A., Zhao, J., Wang, J., Eghrari, A.O. *Effects of Contrast Sensitivity on Colour Vision Testing*. *Neuro-Ophthalmology*, 2017, vol. 41, nº 4, pp. 182-186.
10. Pinilla, I., Ruiz-Moreno, J.M., Cuenca, N. *Correlación de la tomografía de coherencia óptica con la histología retiniana*. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 2012, vol. 87, nº 9, pp. 275-277.
11. İlhan, C., Sekeroglu, M.A., Doguizi, S., Yilmazbas, P. *Contrast sensitivity of patients with congenital color vision deficiency*. *International Ophthalmology*, 2019, vol. 39, pp. 797-801.
12. Sabesan, R., Schmidt, B.P., Tuten, W.S., Roorda, A. *The elementary representation of spatial and color vision in the human retina*. *Science Advances*, 2016, vol. 2, nº 9.
13. Gupta, A., Laxmi, G., Nittala, M.G., Raman, R. *Structural and functional correlates in color vision deficiency*. *Eye*, 2011, vol. 25, pp. 909-917.
14. Barthelmes, D., Sutter, F.K., Kurz-Levin, M.M., Bosch, M.M., Helbig, H., Niemyer, G., Fleischhauer, J.C. *Quantitative analysis of OCT characteristics in patients with achromatopsia and blue-cone monochromatism*. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2006, vol. 47, nº 3, pp. 1161-1166.