



# PIGMENTOS Y SALUD OCULAR



**ESTRELLA MÁRQUEZ GARCÍA**



**FACULTAD DE FARMACIA**  
**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA**

# **PIGMENTOS Y SALUD OCULAR**

**Estrella Márquez García**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA**

Tutoras: M<sup>a</sup> Dolores Hernanz Vila

Berta Baca Bocanegra

**TFG DE CARÁCTER BIBLIOGRÁFICO**

**6 de julio, 2022**

## **RESUMEN**

La importancia de la salud visual es cada vez mayor, siendo el crecimiento de la esperanza de vida una de las razones más importantes en los últimos años.

En los últimos tiempos, ha aumentado de forma considerable el estudio sobre el papel que tienen determinados pigmentos en la salud visual. Se ha investigado la función que ejerce el pigmento macular compuesto por los carotenoides como son la luteína, zeaxantina y meso-zeaxantina, y se ha demostrado que este pigmento actúa protegiendo a la retina frente a lesiones de onda cortas. Las xantofilas del pigmento macular captan la luz azul de elevada energía, de manera que protege a la mácula del daño oxidativo. Otras funciones que tienen los pigmentos maculares son la disminución del deslumbramiento y de la aberración cromática.

La carencia de pigmento macular está directamente relacionada con enfermedades visuales como son la degeneración macular asociada a la edad y la retinosis pigmentaria. Por lo que es muy importante la evaluación del estado del pigmento macular y el estudio de dichas enfermedades de forma preventiva.

Para medir la densidad óptica de pigmento macular se realiza desde un punto de vista no invasivo: psicofísico, necesita la participación del paciente de forma activa; o físico, utilizando técnicas objetivas.

Los beneficios que tienen los pigmentos maculares sobre la salud ocular han sido demostrados por la ciencia, siendo la ingesta de estos pigmentos en forma de suplementos alimenticios una estrategia en auge para reducir tanto la gravedad como el número de casos de alteraciones visuales asociadas a carencia de pigmento macular.

## **PALABRAS CLAVE**

Pigmentos maculares, salud ocular, suplementación, DMAE, retinosis pigmentaria.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>1.1. EL OJO HUMANO</b> .....	5
1.1.1. ANATOMÍA DEL OJO .....	5
1.1.2. FUNCIÓN VISUAL.....	8
<b>1.2. IMPORTANCIA DE LA SALUD VISUAL</b> .....	8
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	11
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	12
<b>4.1. PIGMENTOS IMPLICADOS EN LA SALUD OCULAR</b> .....	12
<b>4.2. ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA CARENCIA DE PIGMENTOS MACULARES</b> .....	15
4.2.1. DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD (DMAE).....	15
4.2.2. RETINOSIS PIGMENTARIA.....	18
<b>4.3. MÉTODOS DE MEDIDA DE LA DENSIDAD ÓPTICA DEL PIGMENTO MACULAR</b> .....	19
4.3.1. IMPORTANCIA DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD ÓPTICA DEL PIGMENTO MACULAR. ....	19
<b>4.4. ESTUDIOS DE SUPLEMENTACIÓN</b> .....	23
4.4.1. SUPLEMENTOS DE LA DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD.....	23
4.4.2. NUTRICIÓN DE LA DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD .....	24
4.4.3. ADMINISTRACIONES DE VITAMINA A Y ACEITES DE PESCADO PARA LA RETINOSIS PIGMENTARIA.....	26
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	27
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	28

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. EL OJO HUMANO

El ojo humano es el órgano principal del sistema visual y uno de los órganos sensoriales más importantes. La vista nos permite captar y relacionar imágenes de nuestro entorno, se trata de uno de los sentidos más apreciados que tenemos. Los sistemas que componen el ojo son complejos y fascinantes (Castañeda-Escobar y Malacara-Hernández, 2004).

### 1.1.1. ANATOMÍA DEL OJO

El globo ocular es una esfera ovalada de 24-25 mm de diámetro compuesta por las siguientes capas: esclerótica, úvea y retina (Fig. 1). Está rodeado por los párpados, pestañas y cejas para su protección (Fernández et al., 2011).

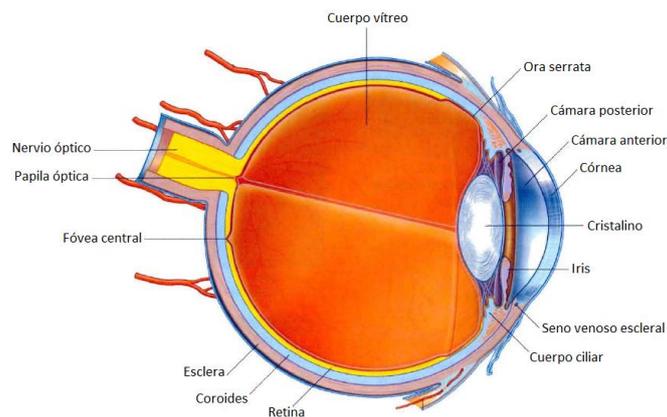


Figura 1: El ojo humano (Fuente: <http://leodimieri.16mb.com/> descargada el 15/03/2018).

- La esclerótica es el recubrimiento externo del ojo, que va de la córnea al nervio óptico. Es un tejido fuerte, fibroso y opaco de color blanco. Se caracteriza por su gran resistencia, ayuda a mantener la forma y el tono ocular. La parte anterior de la esclerótica está cubierta por la conjuntiva y debajo de esta capa encontramos la córnea, que es transparente, carece de vasos sanguíneos y tiene una gran densidad nerviosa. Además de su función protectora, es la responsable de la potencia óptica del ojo (Fernández et al., 2011).

- La úvea es el recubrimiento intermedio del ojo, que se sitúa por debajo de la esclerótica, y es el tejido con más vasos sanguíneos de todo el organismo. Esta capa está formada por el iris en cuyo centro se encuentra la pupila, el cuerpo ciliar y la coroides, que es una capa delgada, que aporta el oxígeno y los nutrientes al ojo (Fernández et al., 2011).
- La retina es la membrana interna y delicada del ojo humano (Fig. 2). Está formada por una capa epitelial pigmentada externa, el epitelio pigmentado y una lámina interna, y se conecta al cerebro por medio del nervio óptico. La función de la retina es transformar los rayos de luz que recibe en impulsos nerviosos, que llegan al cerebro y posteriormente allí se transforman en las imágenes que vamos a percibir. Está rodeada por dos capas: la coroides, encargada de la nutrición de la retina, y la esclerótica que la protege.

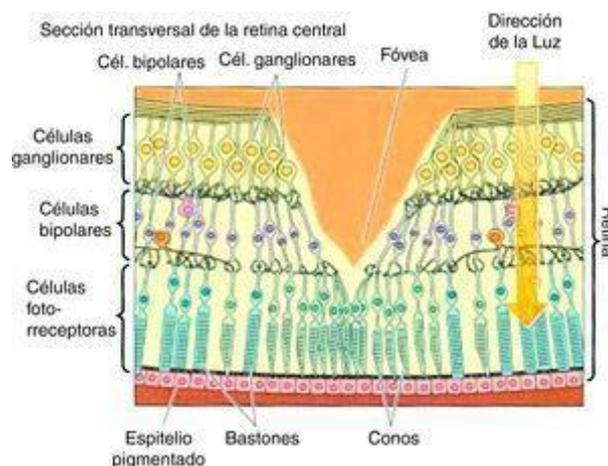


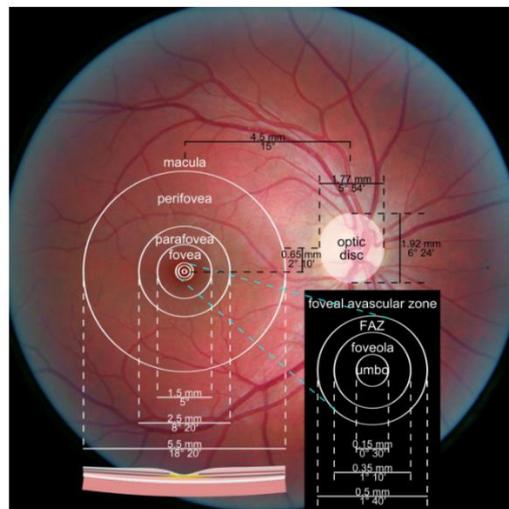
Figura 2: Zona transversal de la retina central (Fuente: <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-articulo-un-caso-eritropia-S1138359311002693-el-15/04/2018>).

Dentro de la retina se distinguen zonas de mucha importancia como son (Fig. 3):

- Papila óptica: es la región donde entra el nervio óptico en nuestra retina, y por donde entran y salen las arterias y venas retinianas, responsables de su nutrición. No tiene células fotosensibles, de manera que representa una zona ciega dentro del campo visual que se conoce como punto ciego.
- Mácula: es una zona pequeña ubicada en el centro de la retina. Posee una gran densidad de vasos sanguíneos y fotorreceptores de tipo conos. Es la encargada de la

percepción fina de los detalles y del movimiento. Ésta contiene pigmentos maculares que son la luteína, la zeaxantina y la meso-zeaxantina. Dentro de la mácula se encuentran:

- Fóvea: es una pequeña depresión situada en el centro de nuestra mácula. Es la llamada retina central, ya que posee una gran cantidad de conos y es la que proporciona la visión a mayor resolución y precisión.
- Foveola: es la zona más delgada de la retina, rica en células fotorreceptoras tipo conos, pero carente de células ganglionares.
- Retina periférica: es la que nos permite la visión periférica y la visión nocturna. En esta zona se encuentran los fotorreceptores denominados bastones.



*Figura 3: Diagrama de las zonas de la retina. Visión frontal. (Fotografía: Danny Hope. Obtenida el 9/11/2008 de [www.flickr.com](http://www.flickr.com) Diagrama: Usuario Zywxv99 de Wikipedia, subido en fecha 9/11/2014. Imagen descargada de Wikipedia versión en inglés el 24/03/2018)*

Además de las partes ya mencionadas, el ojo posee otras estructuras con una función visual destacada. Entre ellas cabe destacar el cristalino, una estructura con forma de lente biconvexa, que está situado detrás del iris. Es transparente, flexible, no contiene estructuras vasculares y no posee nervios en su interior. Se nutre principalmente del humor acuoso, que lo baña en su zona anterior, y su principal función es la acomodación ocular. Por su parte, el humor vítreo es un gel claro que ocupa la cavidad posterior del globo ocular (Fernández et al., 2011).

### 1.1.2. FUNCIÓN VISUAL

Los ojos son órganos capaces de recibir estímulos luminosos de nuestro alrededor. Los rayos de luz que ingresan al ojo viajan a través de la córnea, ingresan a la pupila, atraviesan el cristalino y llegan a la retina. La luz que se recibe crea una imagen al revés en nuestra retina, y aquí es donde las células fotorreceptoras convierten la luz en impulsos nerviosos que viajan a través del nervio óptico hasta la parte posterior del cerebro. Una vez allí, el cerebro interpreta las señales recibidas y restaura los sentidos que percibimos (Masvision, 2020).

La visión fotópica nos permite ver objetos con buena luz, una tarea que realizan las células sensoriales (llamadas conos) que son las responsables de la visión cromática. La pupila también está involucrada en este proceso, ya que cuando hay mucha luz, se contrae y se vuelve pequeña. Por el contrario, el escotópico nos permite ver de noche. Cuando no hay suficiente luz, se activan los bastones, que son los responsables de la visión cuando hay poca luz, y la pupila se dilata permitiendo que entre más luz (Zeiss, 2017).

Además de estas estructuras principales, otros componentes del ojo también juegan un papel importante en la función visual, como el pigmento macular. El pigmento macular absorbe la luz azul de elevada energía y protege la mácula del daño oxidativo. Las funciones adicionales de estos pigmentos son disminuir el deslumbramiento y la aberración cromática, y mejorar la distinción y el contraste de detalles finos (Loughman et al., 2010).

## 1.2. IMPORTANCIA DE LA SALUD VISUAL

La salud visual es cada vez más importante, y el aumento de la esperanza de vida es una de las principales razones fundamentales. Estas circunstancias han propiciado un incremento en la investigación sobre las patologías oculares, especialmente las que afectan a la población mayor (la degeneración macular, entre otras) y cómo se pueden combatir, o al menos, como se pueden mantener estables, con el objetivo de mejorar las enfermedades oculares (Jiménez y Híjar, 2007).

En este sentido, se ha producido un aumento considerable en las investigaciones recientes sobre el papel de determinados pigmentos en la salud visual. El porcentaje de personas con problemas de salud visual está aumentando y la gama de personas con estos problemas se está ampliando. Los trastornos relacionados con la visión están comenzando a afectar a adultos jóvenes y adultos, y la necesidad de estrategias para ayudar a prevenirlos es cada vez mayor (Afepadi, 2019).

La ciencia sugiere que ciertos pigmentos son beneficiosos para la salud ocular. En este sentido, se ha investigado el papel del pigmento macular formado a partir de los carotenoides luteína, zeaxantina y meso-zeaxantina. Se ha demostrado que este pigmento protege la retina del daño de onda corta, evitando así ciertas enfermedades oculares (Loughman, 2010). Por ello, la ingesta de los carotenoides en forma de complementos alimenticios se plantea como una estrategia para reducir el número de casos (Afepadi, 2019).

## **2. OBJETIVOS**

Los objetivos que se plantean en este Trabajo Fin de Grado de pigmentos y salud ocular son:

- Conocer la importancia de la salud ocular y la relación que tiene con los pigmentos maculares.
- Definir los pigmentos maculares implicados en la salud ocular y las enfermedades asociadas a la carencia de estos pigmentos.
- Conocer los métodos para medir de la densidad óptica del pigmento macular, la importancia que tiene su determinación y revisar los estudios de suplementación para una mejoría de la visión.

### **3. METODOLOGÍA**

Para desarrollar este Trabajo Fin de Grado se ha realizado una revisión bibliográfica, en la que se han buscado publicaciones nacionales e internacionales, utilizando bases de datos disponibles en internet, en particular Scopus, Medline y Pubmed, Sciencedirect, Scielo, Google Scholar, revistas y búsqueda directa, se ha consultado tanto en español como en inglés. También se analizó la bibliografía de los artículos encontrados para enriquecer esta revisión. De esta manera, se obtuvo y comparó más información sobre el tema.

En la búsqueda bibliográfica se utilizaron las siguientes palabras claves: pigmento macular, carotenoides, mácula, salud ocular, densidad óptica del pigmento macular, suplementos.

Para realizar una búsqueda más exhaustiva se acotaron diferentes variables como la fecha de publicación de los artículos, eligiendo preferiblemente aquellos publicados en los últimos 10-15 años, la disponibilidad de texto completo o el tipo de documento de interés (artículo, libro, revisión).

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. PIGMENTOS IMPLICADOS EN LA SALUD OCULAR**

Los principales pigmentos implicados en la salud ocular pertenecen a la familia de los carotenoides. Según su polaridad, estos se pueden clasificar en carotenos o xantofilas. El caroteno es una molécula no polar que está formado solo por átomos de carbono e hidrógeno; y la xantofila es un carotenoide polar que está formado por un átomo de oxígeno en su estructura.

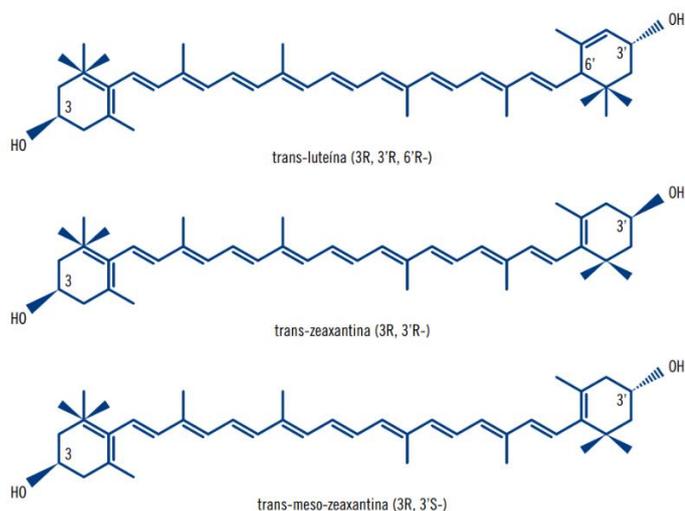
La luteína es un pigmento orgánico de color amarillo perteneciente al grupo de las xantofilas, que se halla en la mácula y en la retina. Es un carotenoide responsable del color de algunos alimentos y que se relaciona con la vitamina A. Se cree que funciona como un filtro frente a la luz azul del espectro, protegiendo los tejidos oculares del daño de la luz solar. Podemos localizarlo de forma natural en frutas y verduras, con pigmento amarillo o naranja. Entre las frutas que nos aportan luteína, podemos destacar la naranja, la mandarina, la papaya o el melocotón; y también encontramos luteína en verduras de color verde, donde se puede destacar la espinaca, los guisantes, la col y el brócoli. Y en el huevo también encontramos este carotenoide.

La zeaxantina es un carotenoide con una alta actividad antioxidante, que se localiza en altas concentraciones en la mácula de ojo. La zeaxantina se encuentra en muchos alimentos, desde espinacas, hojas de mostaza, brócoli, calabaza, espirulina y en la yema de huevo. Este carotenoide le da a las plantas y a los alimentos su color característico (amarillos y rojos). La zeaxantina junto a la luteína es uno de los máximos exponentes de la pigmentación natural de los alimentos.

La meso-zeaxantina también pertenece al grupo de las xantofilas, y es uno de los tres estereoisómeros de la zeaxantina. Este es el segundo carotenoide más abundante en la naturaleza, y se identifica en la mácula del ojo (Arteni et al., 2015).

En cuanto a estructura (Fig. 4), los carotenoides luteína y zeaxantina se distinguen por la presencia de dos grupos hidroxilo en el anillo terminal, que creen que generan las únicas funciones biológicas de las dos xantofilas, siendo más hidrófilas y mejorando las propiedades antioxidantes. Estos carotenoides son xantofilas con 40 carbonos, con

nueve dobles enlaces que se conjugan en la cadena poliénica, y que le proporcionan fotoactividad a la molécula.



*Figura 4. Estructura química de la luteína, zeaxantina y meso-zeaxantina (Dolz et al., 2013).*

La luteína y la zeaxantina tienen estructuras químicas muy similares, las diferencian sus cadenas C=C conjugadas; para la zeaxantina, esta cadena se extiende a varios grupos terminales cíclicos, lo que no ocurre en la luteína.

La meso-zeaxantina es un esteroisómero de la zeaxantina y no está presente en la dieta ni en el plasma. Sin embargo, este esteroisómero está presente en la retina, constituyendo el 25% de los carotenoides en la mácula. Se piensa que es el resultado de la isomerización de luteína dentro de la retina, un proceso que requiere solo la migración del doble enlace en la luteína macular, sin producirse cambios en la configuración estérica de los grupos hidroxilo. El parecido conformacional que existe entre la luteína y la meso-zeaxantina hace que sea más probable que la luteína sea un precursor de la meso-zeaxantina en lugar de la zeaxantina; pero no está claro si la conversión de la luteína a meso-zeaxantina es enzimática o fotoquímica (Arteni et al., 2015).

La ubicación del doble enlace en un anillo de las moléculas de luteína y zeaxantina es responsable de las diferencias que existen en la distribución de estos pigmentos en la retina.

La orientación de la posición transmembrana de los carotenoides no polares en la bicapa lipídica de la membrana celular es aleatoria. En el caso de la xantofila, la presencia de grupos hidroxilo en los extremos de sus estructuras hacen que tengan una orientación vertical en la bicapa, afectando las propiedades de la membrana. Así reduce su fluidez, aumenta la hidrofobicidad interna de la membrana, afecta la penetración de iones en ella y reduce la concentración y difusión de oxígeno. Estos cambios en las propiedades de la membrana hacen que esta sea menos susceptible al daño oxidativo (Arteni et al., 2015).

Hay distintas regiones responsables de fusiones especializadas muy específicas en la membrana, y estas regiones se pueden denominar como dominios de balsa. Se piensa que estos microdominios son útiles para mejorar la transducción de señales. Los dominios de balsa de la membrana externa del fotorreceptor son ricos en lípidos de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, colesterol y xantofilas. Aquí encontramos la rodopsina que es responsable de la primera etapa de transducción de señales de luz, ya que es la proteína principal en el segmento externo de los fotorreceptores.

Debido a la localización de las xantofilas en los microdominios, se genera la hipótesis de que la colocación de las xantofilas, los fosfolípidos poliinsaturados, y la rodopsina en la membrana externa del fotorreceptor podría mejorar las propiedades antiinflamatorias de la oxidación de las xantofilas. La luteína macular se encuentra en las áreas más vulnerables de las membranas del segmento externo de los fotorreceptores, ayudándolos a actuar como un antioxidante para los lípidos de la membrana

La concentración de la meso-zeaxantina y la zeaxantina cerca del centro de la fóvea es mayor (el doble) que la concentración de luteína. Esta relación va disminuyendo a medida que nos alejamos de la fóvea. En la región parafoveal, la relación será intermedia, y en la parte periférica, la relación será al revés.

En el centro de la fóvea predominaba la meso-zeaxantina pero con el aumento de la excentricidad, la luteína se convirtió en el pigmento predominante y la zeaxantina disminuyó a niveles casi indetectables. Todo esto forma la base de la hipótesis de que la meso-zeaxantina se forma por isomerización de la luteína (Fig. 5) (Arteni et al., 2015).

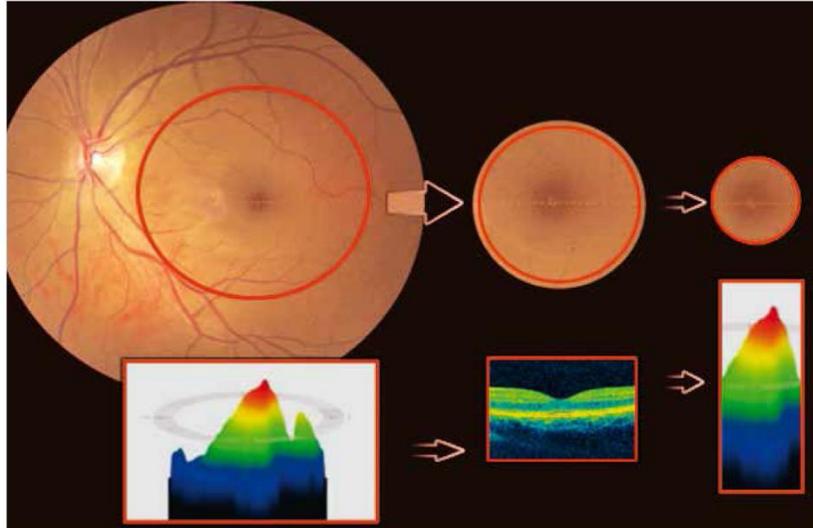


Figura 5. Distribución del pigmento xantófilo en el área macular y representación del pico de densidad de pigmento macular en el área foveal.

[https://www.laboratoriossthea.com/medias/sthea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriossthea.com/medias/sthea_informacion_68.pdf)

El color amarillento de la zona macular proviene de los tres carotenoides (Fig. 6) (Arteni et al., 2015).

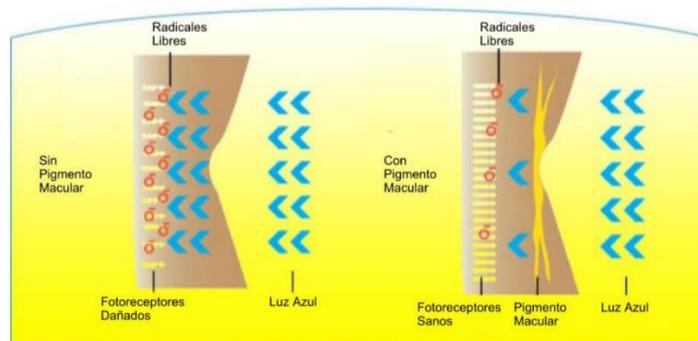


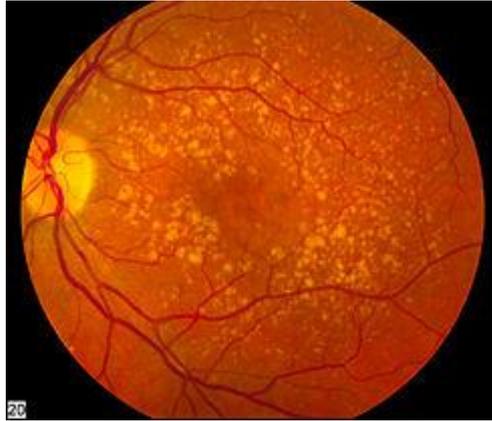
Figura 6. Comparación de retina con y sin PM.

<http://qvoftalmologia.com/164-2/>

## 4.2. ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA CARENCIA DE PIGMENTOS MACULARES.

### 4.2.1. DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD (DMAE).

La degeneración macular es una enfermedad ocular que daña la parte central de la retina, llamada mácula, lugar donde se localiza el pigmento macular, el cual es fundamental para visualizar los detalles finos y la resolución de la imagen (García y Matías, 2015) (Fig. 7). Los síntomas de esta enfermedad, que pueden afectar en el día a día de un paciente, son la alteración de imágenes y líneas, y también la visión de áreas borrosas y oscuras en la zona central.

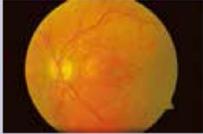
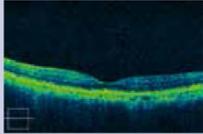
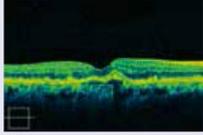
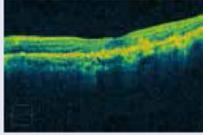
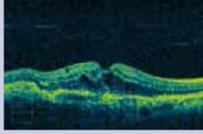


*Figura 7. Fondo de ojo con degeneración macular.*

[https://es.wikipedia.org/wiki/Degeneraci%C3%B3n\\_macular\\_asociada\\_a\\_la\\_edad](https://es.wikipedia.org/wiki/Degeneraci%C3%B3n_macular_asociada_a_la_edad)

Encontramos varios tipos de DMAE: la DMAE no exudativa (90% de los casos), y la DMAE exudativa. Sus grados se muestran en la Tabla 1.

*Tabla 1. Tomografía de coherencia óptica de dominio espectral; EPR: epitelio pigmentario de la retina. [https://www.laboratoriosetheacom/medias/thea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriosetheacom/medias/thea_informacion_68.pdf)*

Tabla 1. Estadificación de la degeneración macular asociada a la edad				
Estadio	Síntomas	Signos	Retinografía	SD-OCT
<b>INICIAL</b>	Asintomático o alteraciones visuales irrelevantes	Algunas drusas pequeñas y/o alteraciones del EPR		
<b>INTERMEDIO</b>	Distorsión visual, escotomas paracentrales, disminución de la sensibilidad al contraste, adaptación subóptima a la oscuridad	Numerosas drusas pequeñas (> 20) y/o alguna drusa blanda y/o atrofia geográfica del EPR sin afectación foveolar		
<b>AVANZADO</b>				
Forma atrófica	Escotoma central de instauración progresiva	Atrofia geográfica del EPR con afectación foveolar central		
Forma neovascular	Metamorfopsia y escotoma central de instauración rápida	Neovascularización coroidea o sus secuelas (cicatriz disciforme)		

La DMAE es una de las primeras causas de ceguera y de mala visión. Se trata de un importante problema de salud pública, que perjudica al 8,7% de la población mundial de edad avanzada en el mundo (> 55 años) (Cohen et al., 2001).

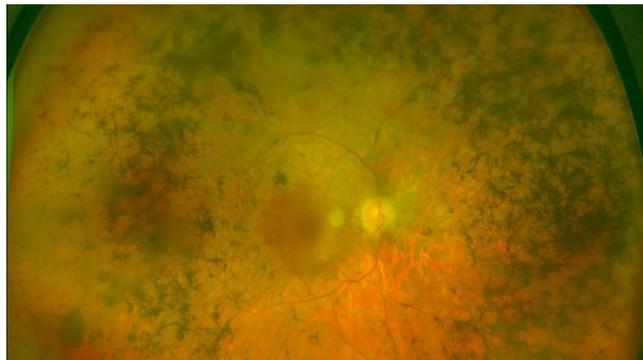
Nolan et al. (2007) llevaron a cabo un estudio que relacionaba la densidad óptica del pigmento macular (DOPM) junto a los factores de riesgo de la DMAE en sujetos irlandeses. Tras la finalización del estudio, demostraron que la falta de pigmento macular se asociaba con factores de riesgo de degeneración macular asociada a la edad. Por lo tanto, llegaron a la conclusión de la existencia de una interacción entre los factores de riesgo de DMAE y los factores que influyen en los niveles de DOPM. Tanto el aumento de la edad, el tabaco, los rayos UV, los problemas de obesidad como la ingesta de una dieta pueden afectar en la aparición de DMAE y en una reducción en los niveles de DOPM (Raman et al., 2012).

Los experimentos demuestran que los pacientes con niveles bajos de luteína y zeaxantina tienen una mayor prevalencia de DMAE, y que los niveles altos de luteína y zeaxantina protegen contra la DMAE. De tal forma, la suplementación con estos carotenoides puede reducir el riesgo de DMAE y su progresión.

Debido a su fuerte impacto, se apunta al desarrollo de medidas preventivas eficaces para descubrir los mecanismos fisiopatológicos de la DMAE. Actualmente, se ha demostrado que complementar micronutrientes con propiedades antioxidantes son útiles para disminuir la progresión a formas avanzadas de DMAE (Schalch et al, 2007; Zeimer et al, 2009).

#### 4.2.2. RETINOSIS PIGMENTARIA.

La retinosis pigmentaria (RP), también conocida como retinitis pigmentosa (Fig. 8), es un trastorno hereditario que provoca la pérdida de la visión, comenzando por la disminución de la visión nocturna y pérdida de la visión periférica. Se trata de una enfermedad del ojo humano, en la que se produce daño en la retina. Está provocada por ciertos trastornos genéticos que afectan a la hora de responder a la luz, y se caracteriza por la pérdida progresiva de fotorreceptores y de otras células de la retina (Kierstan, 2021).



*Figura 8. Retinosis pigmentaria.*

<https://www.imo.es/es/retinosis-pigmentaria>

La retinosis pigmentaria es la enfermedad degenerativa hereditaria de la retina más frecuente debido a que la pérdida visual es progresiva en el tiempo y conduce a la ceguera, pero los casos en los que se llega hasta este punto son pocos. Ésta aparece de manera silenciosa y lenta.

Los síntomas de la RP suelen aparecer en la infancia, pero los problemas graves de visión no aparecen hasta la edad adulta. Los defectos de visión que producen esta enfermedad afectan principalmente a la orientación y a la navegación (Kierstan, 2021).

Los síntomas más comunes son la pérdida de la visión nocturna, la pérdida gradual de la visión periférica, la pérdida de la visión central y los problemas de visión cromática.

Esta enfermedad puede ser diagnosticada y medida por pruebas genéticas, electrorretinografías, exámenes del campo visual y tomografías de Coherencia Óptica.

No existe cura y se aconseja a los pacientes protegerse los ojos de la luz solar intensa, llevar una dieta equilibrada con vitaminas y hacerse chequeos regulares (kierstan, 2021).

### 4.3. MÉTODOS DE MEDIDA DE LA DENSIDAD ÓPTICA DEL PIGMENTO MACULAR.

#### 4.3.1. IMPORTANCIA DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD ÓPTICA DEL PIGMENTO MACULAR.

Anteriormente a la determinación de la densidad óptica del pigmento macular, se utilizó una estimación del riesgo del progreso de DMAE mediante motorización del fondo de ojo (Fig. 9) (Frederick et al., 2005).

Otra limitación que presenta la observación del fondo de ojo como técnica de estimación de la progresión de la enfermedad es la imposibilidad de detectar los estadios tempranos actuales de la DMAE y, en consecuencia, no hay fuerza para sugerir un tratamiento preventivo para estos pacientes (Rougier et al., 2008; Howells et al., 2011).

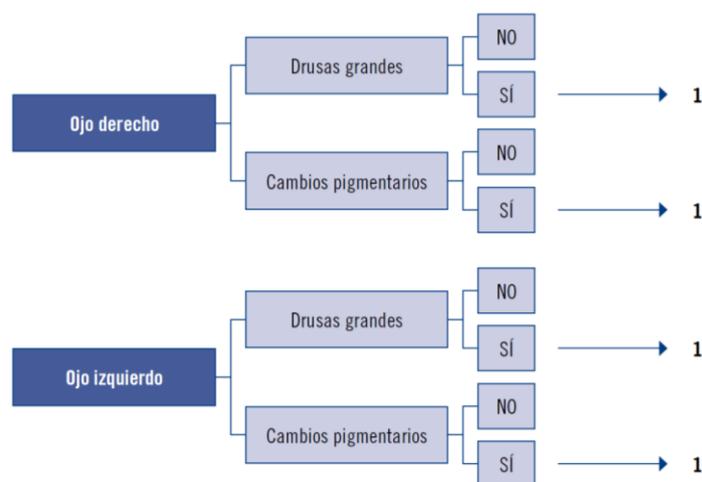


Figura 9. Clasificación de DMAE en una escala de observación basada en la presencia o ausencia de marcadores celulares basales, principalmente la variabilidad del pigmento en el

*epitelio pigmentario de la retina. Un procedimiento para evaluar el riesgo de progresión de la DMAE.*

[https://www.laboratoriossthea.com/medias/sthea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriossthea.com/medias/sthea_informacion_68.pdf)

Para medir la densidad óptica de pigmento macular se lleva a cabo mediante técnicas no invasivas: psicofísicas, donde la participación del paciente es más activa; o físicas, donde no participan los pacientes, por lo que son más objetivas (Rougier et al., 2008; Howells et al., 2011).

- a. **Los métodos psicofísicos** son utilizados por varios equipos, como son el Macuscope y el Quantifeye. Estos métodos engloban la sensibilidad de umbral espectral, coincidencia de color, fotometría de movimiento aparente y micro basada en dicrometría, y cromatografía de tipo parpadeo (FHF). Debido a la gran dificultad y tiempo requerido para lograrlo, solo se sigue utilizando FHF. Funciona aplicándose un estímulo óptico intermitente de dos longitudes de onda diferente sobre la mácula, creando un efecto parpadeo de manera que el paciente debe percibir y adaptarse. Posteriormente, se calculará la intensidad del pigmento macular como la diferencia en la intensidad de la luz azul que necesita para observar el efecto de parpadeo entre la zona foveal y las regiones exteriores (Dolz et al., 2013).
  
- b. **Los métodos físicos** engloban la autofluorescencia, la reflectometría del fondo de ojo, la espectroscopia Raman y los potenciales evocados visuales. No se necesita la participación activa del paciente, trabaja más rápido y aumenta su reproducibilidad, especialmente en las técnicas basadas en la reflectometría. Este método se puede ver afectado por la interferencia de las estructuras anteriores del ojo, ya que esta técnica consiste en hacer dos imágenes del fondo de ojo usando dos filtros diferentes para longitudes de onda: 480 y 540 nm. Lo que permite calcular la densidad óptica del pigmento macular es la superposición de estas dos imágenes mediante un algoritmo. Este método se ve significativamente afectado por la interferencia de las estructuras anteriores del ojo (Fig. 10) (Dolz et al, 2013).

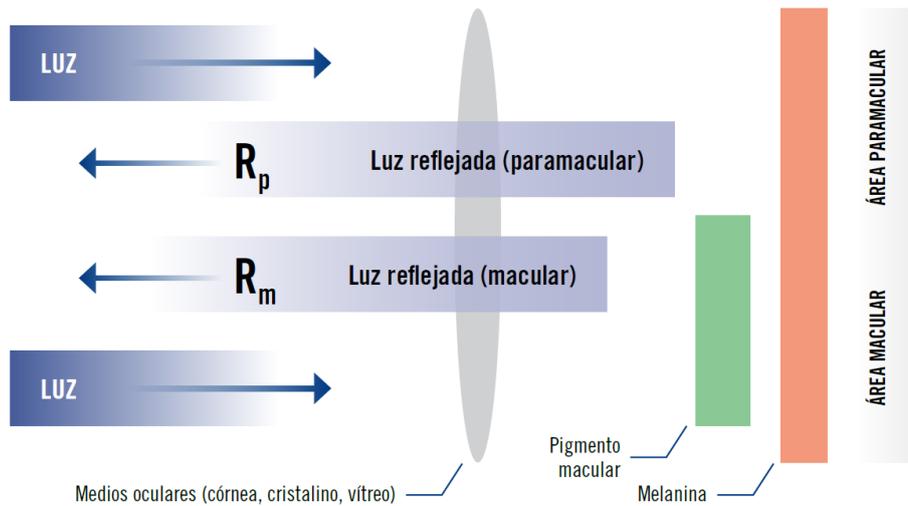


Figura 10. Representación esquemática del método de reflectometría para determinar la densidad óptica del pigmento macular, basado en el análisis de la diferencia entre la luz reflejada por el área macular y la luz reflejada por el área paramacular.  
[https://www.laboratoriosthea.com/medias/thea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriosthea.com/medias/thea_informacion_68.pdf)

Dentro de los métodos físicos existe un instrumento que utiliza esta tecnología:

- VISUCAM 500.

Visucam 500 se trata de un método no invasivo, fácil de usar y rápido. Es una tecnología novedosa para determinar la densidad del pigmento macular. Cuando se mide, se obtienen 4 valores, que son los siguiente: el área de la retina donde se encuentra el pigmento, el volumen total del pigmento, el valor máximo de la densidad del pigmento y el valor promedio de la densidad del pigmento (Fig. 11).

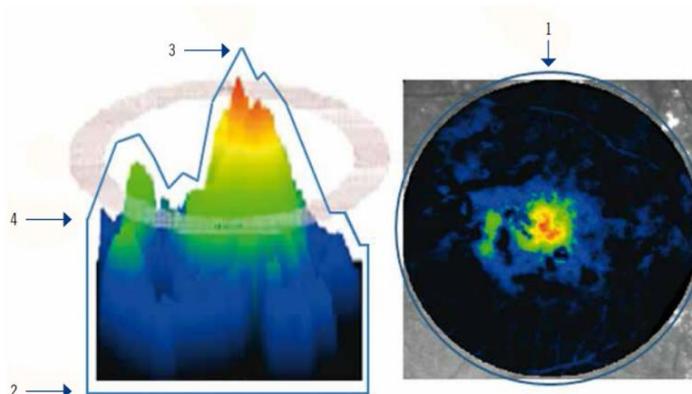


Figura 11. Representación de los 4 valores en la determinación de la densidad del pigmento macular a través del Visucam 500.

[https://www.laboratoriossthea.com/medias/thea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriossthea.com/medias/thea_informacion_68.pdf)

La ventaja frente a otros métodos de medición es la capacidad de analizar de forma comparativa los valores de la densidad del pigmento macular (hasta 8 valores seguidos) obtenidos de un mismo paciente en días consecutivos, lo que le permite analizar cambios en la densidad óptica del pigmento macular, evaluar las etapas de la enfermedad e incluso controlar el cumplimiento del paciente con los suplementos de antioxidantes (Fig. 12) (Dolz et al., 2013).

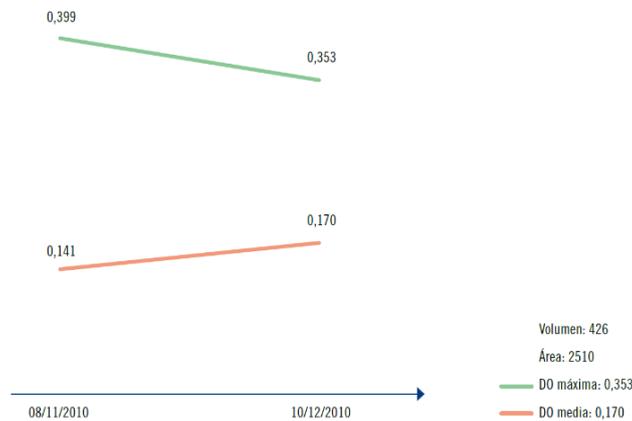


Figura 12. Los cambios producidos en los valores de la densidad del pigmento macular realizados en diferentes días.

[https://www.laboratoriossthea.com/medias/thea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriossthea.com/medias/thea_informacion_68.pdf)

El Visucam 500 permite determinar la densidad óptica del pigmento macular, aunque se encuentra limitado en diferentes ocasiones que se alteran la zona de la mácula o la transparencia de ciertos medios, como son cataratas, hemovítreos, cicatrices retinianas, etc (Dolz et al., 2013).

La Tabla 2 proporciona un esquema de algunos dispositivos actualmente disponibles para medir la densidad óptica del pigmento macular.

Tabla 2. Dispositivos disponibles en la actualidad para medir la densidad óptica del pigmento macular. Se describen las características más relevantes de 4 instrumentos de medida. [https://www.laboratoriossthea.com/medias/thea\\_informacion\\_68.pdf](https://www.laboratoriossthea.com/medias/thea_informacion_68.pdf)

	Macuscope	Quantifeye/MPOD	VISUCAM 500	HRA modificado
				
<b>Tecnología</b>	Fotometría heterocrómica flicker		Reflectómetro	Reflectómetro
<b>Valores</b>	DP máx.	DP máx.	DP máx., DP media, área, volumen	DP máx. 0,5°, DP media
<b>Progresión</b>	●	●	● (8 valores)	●
<b>Visualización</b>	1 valor	1 valor	Imagen 3D + fondo + valores	Imagen 2D + fondo + valores
<b>Comercializado</b>	●	●	●	●

## 4.4. ESTUDIOS DE SUPLEMENTACIÓN.

### 4.4.1. SUPLEMENTOS DE LA DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD

#### LUTEÍNA Y ZEAXANTINA

Estos carotenoides son poderosos antioxidantes, y existen valores altos de ellos en la retina, en concreto en la región macular. Los niveles más elevados de luteína se correlacionan directamente con los valores séricos incrementados y una mayor densidad del pigmento macular (Robert, 2019).

Bone et al. (2000) realizaron el estudio de 23 pares de ojos de donantes, y notaron que los ojos con valores bajos de luteína y zeaxantina eran aquellos que tenían signos de DMAE. Los mismos autores, Bone et al. (2001) evaluaron de nuevo los valores de luteína y zeaxantina, pero esta vez en 56 ojos de donantes afectados por DMAE y 56 ojos de donantes sin padecer la enfermedad. El resultado obtenido fue que tenían un 82% menos de posibilidad de desarrollar DMAE los ojos que tenían cantidades máximas de luteína y zeaxantina.

La investigación de Seddon et al. (1994) evaluaron la relación que existía entre la ingesta dietética de carotenoides y vitaminas A, C y E y el riesgo de DMAE. Concluyeron que dosis de luteína bajas de 2,4 mg/día podían duplicar los valores séricos, y que dosis de 6 mg/día reducían la prevalencia de DMAE en un 43%.

Una prueba de un suplemento nutricional de luteína antioxidante observó una mejora en la calidad de la función visual, con luteína sola o al combinarlo con otros nutrientes. Con la adición de DHA, la acumulación de luteína en la densidad del pigmento macular es más efectiva. Por lo tanto, las personas con buena salud deben incluir un complejo vitamínico de 2 mg de luteína en su dieta, mientras que los pacientes con DMAE deben tomar 6-10 mg/día durante varios meses como suplemento nutricional (Robert, 2009).

#### VITAMINA A Y CAROTENOIDES.

Goldberg et al. (1988) confirmaron que los carotenoides (como la vitamina A) protegen las membranas celulares de fotolesiones. La vitamina A es necesaria para un suministro adecuado de rodopsina para el funcionamiento óptimo de los bastones. Una deficiencia severa de vitamina A conduce a queratomalacia, xeroftalmia y trastornos visuales. Uno de los primeros estudios, condujeron a documentar el vínculo entre los niveles bajos de vitamina A y la degeneración macular y abogaron por incorporar frutas y verduras amarillas a la dieta.

VandenLangenberg et al. (1998) realizaron un estudio posterior en el que encontraron una buena asociación entre la ingesta de betacarotenos y el número de drusen. El betacaroteno, un precursor de la vitamina A, debería proporcionar un efecto protector similar en personas sanas.

#### 4.4.2. NUTRICIÓN DE LA DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD

##### ALIMENTOS QUE CONTIENEN LUTEÍNA.

En la espinaca, el brócoli, la col rizada, y otras frutas y verduras verdes y amarillas se incluyen los carotenoides luteína y zeaxantina. Estos se concentran en el pigmento macular. Su acumulación va a depender de la ingesta de alimentos y de las concentraciones séricas. La retina puede concentrar estos carotenoides a niveles superiores a los valores séricos. La evidencia sugiere que la luteína en el pigmento macular proviene exclusivamente de la dieta y brinda una fuerte protección contra la DMAE (Koh et al., 2004)

Seddon et al. (1994) realizaron un estudio donde observaron que las personas con menor probabilidad de desarrollar DMAE eran las que consumían alimentos ricos en

luteína 5 veces a la semana. Además, aquellos con valores de luteína sérica en el quintil superior tenían un riesgo 43% menor de DMAE.

Richer (1999) mostró que la densidad del pigmento macular aumenta al comer 110-220 g/día de espinacas a lo largo de 4 meses. El contenido de vitamina K que poseen las espinacas pueden interferir con los anticoagulantes. Los datos preliminares indican una función visual mejorada en pacientes con DMAE donde se incrementó las verduras de color verde oscuro en sus dietas.

#### TRATAMIENTO TERAPEÚTICO ACTUAL DE LA DEGENERACIÓN MACULAR ASOCIADA A LA EDAD ATRÓFICA.

Actualmente, según García et al (2012) no existe un tratamiento eficaz clínicamente probado para mejorar o prevenir la progresión de la DMAE atrófica. En las primeras etapas de la enfermedad, definidas como DMAE tempranas no existe una indicación específica para el tratamiento.

El estudio de enfermedades oculares relacionadas con la edad (AREDS: Age-Related Eye Disease) es un ensayo clínico financiado por el Instituto Nacional del Ojo, uno de los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos. Este estudio tiene como objetivo mostrar si una combinación de vitaminas y minerales antioxidantes reducen el riesgo de desarrollar DMAE. Finalmente, no se encontró ningún beneficio para retrasar la progresión de la DMAE atrófica con el uso de estas combinaciones. Se recomienda una dieta rica en zeaxantina y luteína, que aumentan la resistencia macular a los radicales libres que se encuentran en frutas y verduras. Otras recomendaciones dietéticas incluyen pescado azul y frutos secos, ya que tiene un elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga de la familia de omega-3. Entre ellos, el ácido docosahexaenoico (DHA) parece estar directamente involucrado en la prevención del daño retiniano relacionado con la edad (Mares et al. 2011).

La DMAE moderada o avanzada tienen un alto riesgo de progresión. En estos pacientes, la investigación realizada por AREDS encontró un beneficio de tomar el suplemento, ya que resultó una reducción del 25% en el riesgo de progresión. Aunque es importante señalar, que las dosis altas de estos suplementos no están exentas de riesgos.

El tratamiento para la DMAE debe incluir la recomendación de dejar de fumar e implementar el autocontrol que, junto con la rejilla de Amsler, permite la detección temprana de la progresión de la enfermedad (García et al., 2012).

#### 4.4.3. ADMINISTRACIONES DE VITAMINA A Y ACEITES DE PESCADO PARA LA RETINOSIS PIGMENTARIA.

La retinitis pigmentaria son trastornos oculares hereditarios que producen una pérdida progresiva de la visión, y quienes la padecen tienen dificultad para ver con poca luz, tienen problemas de visión con un ojo y también poseen un deterioro gradual de la visión. Para retrasar la pérdida de visión se ha sugerido que la vitamina A o los aceites de pescado, o ambos, pueden ser beneficiosos.

Schwartz et al. (2020) investigaron el efecto que tenía el consumo de aceite de pescado para retrasar un empeoramiento de la pérdida de visión, y si estos tratamientos eran seguros. Este estudio incluyó un total de 944 participantes (entre 4 y 55 años) y fue realizado en Estados Unidos y Canadá. Los participantes recibieron vitamina A o aceite de pescado, o ambos, y les hicieron un seguimiento durante cuatro años.

Los que recibieron vitamina A, aceite de pescado o ambos, se compararon con los que no recibieron vitamina A ni aceite de pescado.

Los participantes en el grupo de vitamina A y/o aceite de pescado recibieron diferentes dosis de vitamina A o de aceite de pescado en diferentes intervalos. Los participantes en el grupo sin vitamina A ni aceite de pescado, recibieron unas píldoras de placebo (Schwartz et al., 2020).

Los resultados obtenidos en este estudio dicen que dar vitamina A o aceite de pescado, o ambos, a personas con RP no frenó la pérdida de visión. No se sabe con certeza si beneficia a las personas con este trastorno.

Los ensayos futuros deben tener en cuenta los cambios observados en la amplitud del ERG y otras medidas de resultado de los ensayos incluidos en esta revisión. Concluyen que se necesitan más estudios clínicos (Schwartz et al., 2020).

## **5. CONCLUSIONES**

- ✓ La importancia de la salud visual es cada vez mayor, siendo el incremento de la esperanza de vida una de las razones fundamentales. En los últimos tiempos se ha incrementado de forma considerable el estudio sobre la importancia de los pigmentos maculares (luteína, zeaxantina y meso-zeaxantina) en la salud visual.
- ✓ Las principales enfermedades visuales relacionadas con el deterioro y la carencia de pigmento macular son la degeneración macular asociada a la edad y la retinosis pigmentaria.
- ✓ Para medir la densidad de pigmento macular se lleva a cabo mediante técnicas no invasivas: psicofísicas, que requieren la participación activa del paciente; o físicas, que son más objetivas y reproducibles que las anteriores siendo estas últimas las más utilizadas.
- ✓ Los niveles séricos altos de luteína y zeaxantina protegen frente a la DMAE, poniéndose de manifiesto la importancia de la suplementación con estos carotenoides tanto de forma preventiva como de control de progresión cuando la enfermedad está avanzada. Las personas con consumo de alimentos ricos en luteína 5 veces a la semana tienen una menor probabilidad de desarrollar DMAE que las que consumen este tipo de alimentos 1 vez al mes.
- ✓ Los indicios sugieren que la luteína y la zeaxantina proceden de la dieta, de ahí la importancia de que la dieta sea rica en estos carotenoides.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. A Randomized, Placebo-Controlled, Clinical Trial of High-Dose Supplementation With Vitamins C and E, Beta Carotene, and Zinc for Age-Related Macular Degeneration and Vision Loss. *Arch Ophthalmol*. 2001; 119(10): 1417–1436.
2. Alassane S, Binquet C, Cottet V, Fleck O, Acar N, Daniel S, Delcourt C et al. Relationships of Macular Pigment Optical Density With Plasma Lutein, Zeaxanthin, and Diet in an Elderly Population: The Montrachet Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016 ;57(3):1160–7.
3. Arteni A-A, Fradot M, Galzerano D, Mendes-Pinto MM, Sahel J-A, Picaud S, et al. Structure and Conformation of the Carotenoids in Human Retinal Macular Pigment. *PLoS One*. 2015;10(8):0135779.
4. B R Hammond Jr, K Fuld, J Curran-Celentano. Macular pigment density in monozygotic twins. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1995; 36(12): 2531-41.
5. Begoña Olmedilla-Alonso. Nutrición y salud ocular: Luteína y zeaxantina como nutrientes específicos de la retina. 2005. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Olmedilla Thea 81 congreso SEO 2005.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Olmedilla%20Thea%2081%20congreso%20SEO%202005.pdf)
6. Billy R Hammond Jr, Thomas A Ciulla, D Max Snodderly. Macular pigment density is reduced in obese subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002; 43(1): 47-50.
7. Billy R. Hammond JR, Joanne Curran-Celentano, Stephen Judd, Kenneth Fuld, Norman I. Krinsky, Billy R. Wooten et al. Sex Differences in Macular Pigment Optical Density: Relation to Plasma Carotenoid Concentrations and Dietary Patterns. 1996; 36(13): 2001-2012.
8. Bone RA, Landrum JT, Dixon Z, Chen Y, Llerena CM. Lutein and zeaxanthin in the eyes, serum and diet of human subjects. *Exp Eye Res*. 2000; 71: 239-245.
9. Bone RA, Landrum JT, Mayne ST, Gomez CM, Tibo SE, Twaroska EE. Macular pigment in donor eyes with and without AMD: A case-control study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2001; 42:235-240.

10. Complementos alimenticios para la visión. Un mercado de expansión [Internet]. Afepadi; 2019. Disponible en: <https://www.afepadi.org/index.php/noticias/item/458-complementos-alimenticios-para-la-vision-un-mercado-en-expansion>
11. D M Snodderly, P K Brown, F C Delori, J D Auran. The macular pigment. I. Absorbance spectra, localization, and discrimination from other yellow pigments in primate retinas. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984; 25(6): 660-73.
12. El ojo humano [Internet]. Zeiss; 2017. Disponible en: <https://www.zeiss.es/vision-care/mejor-vision/entender-la-vision/el-ojo-humano.html>
13. Elsevier.es. [citado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-articulo-un-caso-eritropsia-S1138359311002693-el-15/04/2018>.
14. Félix Jesús Alañón Fernández, Manuela Cárdenas Lara, Miguel Angel Alañón Fernández, Ana Martos Aguilera. Anatomía y Fisiología del Aparato Ocular. En Oftalmología en atención primaria. Ed. Formación Alcalá, S.L. 2011.
15. Frederick L Ferris, Matthew D Davis, Traci E Clemons, Li-Yin Lee, Emily Y Chew, Anne S Lindblad et al. A simplified severity scale for age-related macular degeneration: AREDS Report No. 18. Arch Ophthalmol. 2005; 123(11): 1570-4.
16. Goldberg J, Flowerdew G, Smith E, Brody JA, Tso MO. Factors associated with age-related macular degeneration. Am J Epidemiol. 1988; 128:700-710.
17. Hammond BR, Johnson EJ, Russell RM, Krinsky NI, Yeum KJ, Edwards RB, et al. Dietary modification of human macular pigment density. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1997;38(9):1795–801.
18. Isabel García Lozano, Santiago López García, Isabel Elosua de Juárez. Actualización en el manejo de la degeneración macular asociada a la edad Management of age-related macular degeneration. An update. 2012; 47 (5): 214-219.
19. J J Weiter , F Delori, C K Dorey. Central sparing in annular macular degeneration. Am J Ophthalmol. 1988; 106(3): 286-92.

20. James Loughman, Mukunda C. Akkali, Stephen Beatty, Grainne Scanlon, Peter A. Davison, Veronica O' Dwyer et al. The relationship between macular pigment and visual performance. 2010; 50(13):1249-1256.
21. James Loughman, Juan Antonio Divisón Garrote, John M. Nolan, Mukunda C. Akkali, Stephen Beatty. El pigmento macular y su contribución al rendimiento y experiencia visuales. 2010; 3(2): 74-90
22. Jiménez L, Hajar C. Los ancianos y las alteraciones visuales como factor de riesgo para su independencia. Gerokomos. 2007; 18.
23. Koh HH, Murray IJ, Nolan D, Carden D, Feather J, Beatty S. Plasma and macular responses to lutein supplement in subjects with and without age-related maculopathy. A pilot study. Exp Eye Res. 2004; 79: 21-27.
24. Las partes del ojo humano y sus funciones [Internet]. Masvision.es. [citado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.masvision.es/blog/curiosidades/ojo-partes-funciones/>
25. Leonardo Dimieri - Tesis de Licenciatura [Internet]. 16Mb.com. [citado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: <http://leodimieri.16mb.com/>
26. Lizbeth A. Castañeda-Escobar, Daniel Malacara-Hernández. Diversos instrumentos para el estudio del ojo humano [Internet]. Cio.mx. [citado el 13 de junio de 2022]. Disponible en: [http://congresos.cio.mx/1\\_enc\\_mujer/files/Extensos/Posters/O-%2011.pdf](http://congresos.cio.mx/1_enc_mujer/files/Extensos/Posters/O-%2011.pdf)
27. M Trieschmann , F J G M van Kuijk, R Alexander, P Hermans, P Luthert, A C Bird et al. Macular pigment in the human retina: histological evaluation of localization and distribution. Eye (Lond). 2008; 22(1): 132-7.
28. M Zeimer , H W Hense, B Heimes, U Austermann, M Fobker, D Pauleikhoff. The macular pigment: short- and intermediate-term changes of macular pigment optical density following supplementation with lutein and zeaxanthin and co-antioxidants. The LUNA Study. Ophthalmologe. 2009;106(1):29-36.
29. M.B. Rougier, M.N. Delyfer, J.F. Korobelnik. Le pigment maculaire et sa mesure in vivo. 2008; 31(4): 445-453.

30. Mares JA, Voland RP, Sondel SA, Millen AE, Larowe T, Moeller SM. Healthy lifestyles related to subsequent prevalence of age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol*. 2011; 129: 470–80.
31. Olivia Howells, Frank Eperjesi, Hannah Bartlett. Measuring macular pigment optical density in vivo: a review of techniques. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2011; 249(3): 315-47.
32. R A Bone , J T Landrum, L Fernandez, S L Tarsis. Analysis of the macular pigment by HPLC: retinal distribution and age study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1988; 29(6): 843-9.
33. Robert Abel Jr. Degeneración macular asociada a la edad. Capítulo 84. 2009; 896-905
34. Schwartz SG, Wang X, Chavis P, Kuriyan AE, Abariga SA. Administración de vitamina A y aceites de pescado para la retinitis pigmentosa. 2020.
35. Seddon JM, Ajani UA, Sperduto RD, Hiller R, Blair N, Burton TC et al. Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. *JAMA*. 1994; 272:1413-1420.
36. T A Ciulla , J Curran-Celantano, D A Cooper, B R Hammond Jr et al. Macular pigment optical density in a midwestern simple. *Ophthalmology*. 2001; 108(4): 730-7.
37. Ute E K Wolf-Schnurrbusch, Nicole Rösli, Eva Weyermann, Mirjam R Heldner, e, Sebastian Wolf. Ethnic differences in macular pigment density and distribution. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007; 48(8): 3783-7.
38. VandenLangenberg GM, Mares-Perlman JA, Klein R, Brady WE, Palta M. Associations between antioxidant and zinc intake and the 5-year incidence of early age-related maculopathy in the Beaver Dam Eye Study. *Am J Epidemiol*. 1998; 148:204-214.
39. Wolfgang Schalch , William Cohn, Felix M Barker, Wolfgang Köpcke, John Mellerio, Alan C Bird et al. Xanthophyll accumulation in the human retina during supplementation with lutein or zeaxanthin - the LUXEA (LUtein Xanthophyll Eye Accumulation) study. *Arch Biochem Biophys*. 2007; 458(2): 128-35.