

*Artículo de Investigación Científica o Tecnológica*

## Prevalencia de discromatopsia en pilotos aviadores y factores laborales aeronáuticos, estudio comparativo

Prevalence of dyschromatopsia in aviator pilot and aeronautical labor factors, comparative study

Fabián de Jesús Cruz Pérez<sup>1</sup>, Juan Manuel Araujo Alvarez<sup>2</sup>

Recibido: 30 junio de 2016

Aceptado para publicación: 3 diciembre de 2016

### RESUMEN

**Introducción:** Las personas con los defectos en la percepción del color cometen más errores, toman más tiempo en reaccionar y necesitan estar más cerca de los objetos con color, en comparación con los que ven los colores de manera normal, esta deficiencia se denomina discromatopsia o comúnmente denominada Daltonismo en honor a John Dalton (1794).

**Objetivo:** Determinar la prevalencia de la discromatopsia en los pilotos aviadores y su relación con los factores laborales aeronáuticos.

**Métodos:** Se realizó un estudio comparativo en tres grupos de estudio, dos grupos de pilotos aviadores y un grupo control, mediante el uso de dos métodos para diagnosticarla: las láminas de Ishihara y el Farnsworth Munsell 100 Hue y se realizó la primera etapa de un diagnóstico situacional laboral para identificar, enumerar, definir y analizar los riesgos que pudieran explicar las probables causas de la discromatopsia adquirida.

**Resultados:** La prevalencia de discromatopsia en los pilotos aviadores y en el grupo control, para este estudio, fue similar a la descrita en la literatura. La frecuencia de la discromatopsia adquirida fue más alta en el grupo de pilotos de ala rotativa.

**Conclusión:** Se encontró asociación estadística entre presentar discromatopsia adquirida y consumir alcohol.

**Palabras clave:** Discromatopsia, riesgos laborales, métodos diagnósticos, factores de riesgo.

### ABSTRACT

**Introduction:** Persons with defects in the perception of colors make more mistakes, take more time to react, and need to be nearer to the colored objects, compared with who see colors in a normal way, this deficiency is named dyschromatopsia or commonly called Daltonism, in honor to John Dalton (1794)

**Objective:** Determinate the prevalence of dyschromatopsia in the flying pilots and its relation with aeronautical labor factors.

**Methods:** It was realized a comparative study in three study groups, two groups of flying pilots and a control group, through the use of two methods to diagnose: the Ishihara plates and the Farnsworth Munsell 100 Hue and the first stage of a labor situational diagnostic was carried out to identify, reckon up, define and analyze risks that could explain the probable causes of acquired dyschromatopsia.

**Results:** The prevalence of dyschromatopsia in flying pilots and the control group, for this study, was similar to that described in the literature. The frequency of acquired color blindness was higher in the group of rotary wing pilots.

**Conclusion:** It was found statistical association between alcohol consumption and acquired dyschromatopsia.

**Keywords:** dyschromatopsia, occupational hazards, diagnostic methods, risk factors.

<sup>1</sup> Teniente Coronel Médico Cirujano, Especialista en Medicina Aeroespacial, Maestro en Ciencias en Salud Ocupacional Seguridad e Higiene, Jefe del Departamento de Evaluación y Certificación Aeromédica del Hospital Central Militar. Periférico Norte s/n esquina Ejército Nacional, lomas de Sotelo, Cd. de Méx., C.P. 11200, Tel. 55573100 (Ext. 1874), mafian26@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias, adscrito a la sección de estudios de posgrado e investigación (SEPI) de la Escuela Superior de Medicina y de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, del Instituto Politécnico Nacional.

## INTRODUCCIÓN

Es difícil demostrar los accidentes aéreos ocasionados o provocados por una mala visión de los colores; en el ámbito de la aviación, la función visual correcta es fundamental para un adecuado desempeño profesional, preocupa, por lo tanto, que algunos pilotos puedan estar afectados; se podría uno preguntar: ¿Cuál será el nivel de deficiencia de la visión de color seguro y efectivo para volar?, sigue siendo objeto de debate, sobre todo en la aviación civil. En julio de 2002, el Consejo de Seguridad y de Transporte Nacional (NTSB) identificó el daltonismo como un factor que contribuyó a la caída de una aeronave comercial en Tallahassee, Florida. Como consecuencia de esto, la NTSB recomendó a la Administración Federal de Aviación (FAA) reevaluar las necesidades de la visión de color existentes y adoptar las pruebas con las metodologías más eficaces para identificarla.<sup>1</sup> Ninguna de las reglamentaciones internacionales ni las locales, admiten a los pilotos aviadores que padecen discromatopsia en la aviación; sin embargo, no se estipula que método se debe usar para diagnosticarla. El estudio de la discromatopsia puede llegar a disminuir accidentes e incidentes en el ámbito laboral, existe un alto riesgo de los protanopes en los accidentes automovilísticos.<sup>2</sup> Las personas con la visión del color disminuida, han sido excluidas al momento de aspirar a determinadas ocupaciones, el ámbito aeronáutico no es la excepción y amerita un estudio especial.

### Discromatopsia

Las células sensoriales de la retina humana son de dos clases: los conos y los bastones. La retina humana tiene alrededor de 6 millones de conos especializados en la visión diurna, el sustrato fisiológico de la visión de color es el fotorreceptor de los conos, de los cuales hay tres clases, para el azul, verde y rojo, también conocidos como los conos sensibles a la longitud de onda corta, mediana y larga, respectivamente.<sup>3</sup> La transducción visual o fototransducción es el proceso mediante el cual un fotón de luz genera una respuesta nerviosa en los fotorreceptores. Posteriormente, la señal eléctrica se transmite hacia las células bipolares y ganglionares de la retina, para finalmente, procesar estas señales en patrones complejos que son transferidos al cuerpo geniculado lateral y de allí, a la corteza visual de los lóbulos occipitales.<sup>4</sup>

Las deficiencias de color pueden dividirse en tres clases principales, según el número de colores primarios que se necesitan para igualar todos los colores espectrales. Las formas principales se llaman tricromatismo anómalo, dicromatismo y monocromatismo.<sup>5</sup> La frecuencia de los defectos rojo y verde varía de acuerdo al grupo étnico y a las diferentes publicaciones, pero en general se encuentra entre 3 y 8% en raza blanca, 3.9% en orientales, 4.7% en afroamericanos, 4 a 7% en mexicanos, nativos del Congo 1.7%, Uganda 1.9% y la incidencia llega a ser mayor en la deuteranomalía.<sup>6-7</sup> En otro trabajo, se menciona las prevalencias de las deficiencias en color rojo-verde en indígenas nativos de América, una prevalencia masculina de 2.3% en 571 mexicanos, 2.5% en 535 indios americanos de orígenes tribales mezclados y el 1.1% en 535 indios navajos.<sup>8</sup> En cuanto a la discromatopsia adquirida, no existen datos exactos y los que hay son muy variables, se estima que los defectos adquiridos, actualmente están presentes en un 5 a 15% de la población general; como consecuencia la identificación de la verdadera normalidad del color requiere pruebas para defectos de color rojo/ verde y azul/ amarillo; es decir tanto congénitas como adquiridos.<sup>9</sup>

### Métodos diagnósticos

Existen infinidad de pruebas para detectar la discromatopsia, se clasifican en cuatro grupos, entre ellas las pruebas de screening o cribado que fueron diseñadas para identificar defectos de la visión a color con rapidez y fiabilidad; las pruebas de ordenamiento o clasificación, evalúan la gravedad del defecto y clasifican de acuerdo al color afectado; pruebas de diagnóstico que permiten clasificar con precisión el defecto; y las pruebas profesionales (lámparas o linternas). La fiabilidad de una prueba aumenta cuando se administra en varias ocasiones. Si los resultados de las pruebas son similares para un individuo en repetidas ocasiones, la prueba se considera muy fiable.<sup>7,9</sup>

Las láminas pseudoisocromáticas son las más comúnmente utilizadas en la práctica clínica, no son eficaces para la clasificación de la gravedad del defecto del color y por tanto nos dan información limitada acerca de la medida o el tipo de deficiencia.<sup>10</sup> Las más comunes y conocidas son las láminas de Ishihara desarrolladas en 1917, con una sensibilidad del 93% y especificidad del 98% en escrutinio para defectos congénitos rojo-verde, las pruebas con estas láminas consisten en presentar al examinado una serie de cartas o láminas en las que se imprime una cifra en varios colores, contra un fondo multicolor.

La prueba Farnsworth Munsell 100 Hue (FM-100) fue diseñada y desarrollada por Deán Farnsworth en 1943, gozó de gran popularidad por ser la primera del grupo de pruebas de ordenamiento, es útil en la detección de problemas congénitos y adquiridos, esta prueba proporciona el grado de discriminación de colores (superior, promedio, defectuosa y severa) así como el color afectado (deután, protán y tritán) y es una prueba susceptible de usar en el medio laboral. En México es poco conocida en el área médica; sin embargo es útil en el ramo electrónico y en trabajadores de la pintura e igualación de colores. En condiciones de una buena aplicación, iluminación, distancia, fondo, explicación, esta prueba puede alcanzar una sensibilidad del 100% y una especificidad del 83%.<sup>11</sup>

### Identificación o reconocimiento del riesgo

Es una de las 4 etapas del procedimiento utilizado para el diagnóstico situacional de riesgos laborales (Identificación o reconocimiento del riesgo, evaluación de la dosis-respuesta, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo). El diagnóstico situacional modificado, originalmente es usado por la Toxicología Ambiental, con el título en inglés de: "RISK ASSESSMENT". Su objetivo primigenio se fundamenta en lo que la población general hace en el sitio habitual de sus actividades y de cómo ello representa un peligro para su salud. Lo que se pretende, en pocas palabras, es proteger a las comunidades de lo que pueda resultar como consecuencia de su exposición a agentes químicos, especialmente en niños, mujeres embarazadas y otras personas en mayor situación de riesgo, como los adultos mayores. El autor de la modificación a éste método de la toxicología ambiental, la adecuó a los propósitos de la Higiene Industrial.<sup>12</sup> En tal sentido y con dicha modificación, recomienda que no se aplique a población abierta (general), sólo a personal (trabajadores) ocupacionalmente expuestos. Además, que no se limite a los agentes químicos, sino a todos los riesgos conocidos (una clasificación de estos riesgos es: actos inseguros, condiciones inseguras y agentes contaminantes). De tal forma, ha sido

menester cambiar el concepto, proponiendo el de: “estudio de los riesgos laborales presentes en una organización, desde su detección, exposición y efectos, hasta su caracterización integral, con el propósito de prevenir o controlar sus potenciales efectos nocivos”,<sup>13</sup> en el presente estudio se concretó solo la primera etapa de este diagnóstico.

### Riesgos laborales en la aviación y su repercusión en el sistema visual

#### Vibraciones

Los efectos de las vibraciones de cuerpo completo suelen ser máximos en el límite inferior del intervalo de frecuencias, de 0.5 a 100 Hz. En el caso de las vibraciones transmitidas a las manos, las frecuencias del orden de 1,000 Hz o superiores pueden tener efectos perjudiciales. Las frecuencias inferiores a unos 0.5 Hz pueden causar mareo inducido por el movimiento. El transporte terrestre, marítimo y aéreo puede producir vibraciones que pueden causar malestar, interferir con las actividades u ocasionar lesiones. Las vibraciones pueden deteriorar la adquisición de información (p. ej., por los ojos), la salida de información (p. ej., mediante movimientos de las manos o de los pies) o los procesos centrales complejos que relacionan la entrada con la salida (p. ej., aprendizaje, memoria, toma de decisiones). Los mayores efectos de las vibraciones de cuerpo completo se producen en los procesos de entrada (principalmente la visión) y en los de salida (principalmente el control continuo de las manos). Dichos efectos pueden aminorarse si se reduce la transmisión de vibraciones al ojo o a la mano, o al hacer que la tarea esté menos sujeta a alteraciones (p. ej., al aumentar el tamaño de una pantalla o al reducir la sensibilidad de un mando). Según parece, a las tareas cognitivas simples (p. ej., el tiempo de reacción simple) no les afectan las vibraciones, a diferencia de lo que ocurre con los cambios de excitación o motivación o con los efectos directos en los procesos de entrada y salida de información.<sup>14</sup> Lo mismo puede ocurrir con algunas tareas cognitivas complejas. Las vibraciones pueden influir en la fatiga, pero hay poca evidencia científica relevante y ninguna que apoye la forma compleja del “límite de la capacidad reducida por fatiga” propuesto en la Norma Internacional ISO 2631-1:1997.<sup>15</sup> En la revisión de la bibliografía no encontramos estudios que soporten o indiquen que existe relación entre las vibraciones y la disminución de la capacidad de discriminar colores, las alteraciones visuales se dan en el momento de la entrada de la información, como ya se comentó, por la vibración del cuerpo y la cabeza que alteran la percepción de los objetos mientras duran estas vibraciones

#### La radiación

Es un hecho sabido que los tripulantes y en general los usuarios de los aviones de líneas aéreas forman grupos sociales cuyas actividades ocupacionales se efectúan a diferentes niveles de radiación ionizante de origen cósmico que es cuantitativa y cualitativamente distinta a la que sufren los trabajadores de la industria nuclear. Este hecho ha sido puesto de manifiesto oficialmente por la promulgación de la directiva 96/29 Euratom, que recientemente se ha traspuesto a la reglamentación Española (Reglamento de Protección de Radiaciones, 2001).<sup>16</sup> En 1990, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), señaló a los tripulantes de vuelo de las aerolíneas, como grupo ocupacional expuesto a la radiación. Las dosis de radiación recibidas por los

pilotos y asistentes de vuelo suelen ser mayores a los recibidos por la radiación tradicional, los trabajadores de la industria nuclear tienen una fuerte regulación, pero fue hasta hace poco empezó a poner atención al personal de vuelo ocupacionalmente expuesto.<sup>17</sup> En México, el reglamento de aviación civil, en su última reforma publicada en marzo del 2014, en su artículo 110, fracción IV, se estipula que todo concesionario, permisionario u operador aéreo es responsable de: Contar con el equipo que permita medir e indicar continuamente la dosificación total de radiación cósmica a que esté sometido el personal de vuelo y la dosis acumulativa.<sup>18</sup> Los ocupantes de un avión están sometidos a varias fuentes de radiaciones no ionizantes, como pueden ser los transmisores de ondas de radio, las microondas generadas por los radares meteorológicos y los campos electromagnéticos generados por los monitores de los modernos sistemas de instrumentos tipo EFIS (Electronic Flight Instrument System). La energía requerida para ionizar varía de unas sustancias a otras, y por tanto la división entre radiación ionizante y no ionizante no siempre es tajante, como puede comprenderse fácilmente para el caso de la radiación ultravioleta (UV). El nivel de exposición de los pilotos comerciales se encuentra en un rango de 0.2 a 5 milisieverts (mSv), mientras que otros adultos expuestos en sus labores tienen un promedio anual de 1.1 mSv. A nivel del mar, la dosis es de 0.1 mSv por hora de vuelo y a 1,500 metros de altitud se duplica a 0.2 mSv. Las tripulaciones que vuelan entre 700 a 900 horas al año, se estima que reciben una dosis de radiación entre 2 a 5 mSv en adición de 2 a 3 mSv por radiación natural.<sup>19-20</sup> La relación de la discromatopsia adquirida y las radiaciones se da por dos formas, la retinopatía solar, la cual se ha documentado por muchos años, los casos descritos, en la actualidad, están relacionados con la exposición directa a la radiación solar en circunstancias bien definidas.<sup>21</sup> Si se supera el umbral de daño retiniano (algunos autores lo sitúan en torno a los 90 segundos de exposición), las luces de onda corta producen la liberación de radicales libres que lesionan a los fotorreceptores por un mecanismo fotoquímico. También se han descrito otros mecanismos que explican la fisiopatología de la retinopatía solar; como mecanismos acústicos y térmicos (debido a la absorción de la energía lumínica por parte de la melanina del epitelio pigmentario retiniano, que aumenta la temperatura del tejido circundante). La exposición a bajos niveles de las mismas de forma prolongada en el tiempo puede originar lesiones en la retina, sobre todo en los conos y en el epitelio pigmentario.<sup>22</sup> La afectación es generalmente bilateral, aunque asimétrica.<sup>23</sup> Por otro lado, la radiación solar también afecta el cristalino, el cual absorbe principalmente casi toda la radiación comprendida entre 295 y 400 nm, este proceso desencadena una alteración de las proteínas del cristalino y una acumulación de sustancias fluorescentes, que reducen la cantidad de radiación ultravioleta visible que llega a la retina, al actuar como un filtro eficaz e incrementar el color amarillento del núcleo. Este fenómeno puede evolucionar hacia una catarata si la exposición solar es excesiva. Numerosos estudios corroboran la correlación entre cataratas y radiación ultravioleta.<sup>22</sup> El uso de lentes de protección solar, puede disminuir el ingreso de esta radiación al globo ocular y por lo tanto constituir un factor de protección para la discromatopsia adquirida.

#### Altitud o presión barométrica disminuida

La hipoxia aguda es un problema tanto para los aviadores como para los equipos de rescate en entornos de gran altitud. La desaturación aguda de la oxihemoglobina, que desciende a

valores por debajo de 40.0-60.0%, origina pérdida de conciencia. Con desaturaciones menos graves aparecen cefalea, confusión, somnolencia y pérdida de la coordinación, al mismo tiempo, la hipoxia induce un estado de euforia, las desaturaciones más graves provocan la muerte. La hipoxia aguda responde rápida y completamente a la administración de oxígeno o al descenso. Las hemorragias retinianas son muy comunes y afectan hasta al 40.0% de las personas que ascienden a 3,700 m y al 56.0% de las que llegan a 5,350 m, suelen ser asintomáticas y su causa más probable es el aumento del flujo sanguíneo retiniano y la dilatación vascular debida a hipoxia arterial, no se ha demostrado que estas hemorragias retinianas, dejen secuelas en lo que respecta a la visión de colores, además que los pilotos aviadores muy raramente trabajan a esa altitud sin un sistema de presurización.<sup>14</sup>

### Las aceleraciones

El hombre, en la superficie de la tierra, está sometido a la fuerza constante de la gravedad. Ésta se denomina fuerza G y su valor estándar es de 9.81 m/s<sup>2</sup>. Las aceleraciones se clasifican en: lineal, radial y angular. La lineal es la variación de la velocidad lineal, sin cambio de dirección, respecto al tiempo. La radial o centrípeta se produce al cambiar la dirección del cuerpo o del avión. La angular representa la rotación alrededor del eje central del cuerpo. El despegue de una aeronave, las maniobras de aproximación o viraje, las maniobras acrobáticas o el entrenamiento en centrífuga humana son ejemplos de aceleraciones a las que se ve sometido un piloto de aeronave. Cuando la presión de la arteria oftálmica cae por debajo de la presión intraocular (8-22 mmHg) aparecen los síntomas visuales a una intensidad entre 3 y 5 +Gz. Las manifestaciones visuales, aparecen de manera progresiva al disminuir el flujo de la arteria oftálmica. La visión tubular es la disminución de la visión periférica, se conserva una zona circular de visión central y aparece con una intensidad entre 3 y 4 +Gz, la visión gris, visión central borrosa, acontece entre 4 y 5 +Gz, la visión negra o ausencia total de la visión tiene lugar entre 5 y 6 +Gz. Cuando se interrumpe el flujo sanguíneo por efecto de +Gz la retina y el cerebro tienen una reserva sanguínea de 5 segundos, primero cesa la perfusión de la retina ya que la presión intraocular es menor que la presión cerebral.<sup>24</sup> Las aceleraciones encontradas en la aviación de acuerdo a la bibliografía revisada no tienen relación con la discromatopsia adquirida.

### Ruido

El ruido es uno de los peligros laborales más comunes. En Estados Unidos, por ejemplo, más de 9 millones de trabajadores se ven expuestos diariamente a niveles de ruido medios de 85 decibelios ponderados A. Los niveles de ruido peligrosos se identifican fácilmente y en la gran mayoría de los casos es técnicamente viable controlar el exceso de ruido mediante la aplicación de tecnología comercial, por medio de remodelado del equipo, proceso o mediante la transformación o eliminación de las máquinas ruidosas. Otros efectos nocivos son los acúfenos (sensación de zumbido en los oídos), la interferencia en la comunicación hablada y en la percepción de las señales de alarma, las alteraciones del rendimiento laboral, las molestias y los efectos extra auditivos. Como los efectos extra auditivos del ruido tienen la mediación del sistema auditivo, lo que significa que es necesario oír el ruido para que se produzcan efectos perjudiciales, un protector auditivo correctamente colocado debe reducir la probabilidad de que se produzcan estos efectos del mismo modo que lo hace con la

pérdida auditiva<sup>24</sup>. La exposición al ruido con el tiempo puede ser responsable de la presencia de pérdida del sentido de audición en la industria de la aviación, en un estudio transversal que involucro 3,130 pilotos de edades comprendidas entre 17 y 59 años en el Centro Medico Aeroespacial (AMC) de las Fuerzas Aéreas brasileñas en Río de Janeiro, se encontró únicamente el 63.0% de audiometrías normales en esta población, durante sus exámenes de certificación.<sup>25</sup> Dentro de esta revisión, tampoco detectamos relación entre el ruido y la presencia de discromatopsia adquirida.

### Normatividad

Actualmente, las diferentes reglamentaciones exigen la visión de colores adecuada. Mencionaremos las aplicables en esta población.

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. En su reglamento del servicio de medicina preventiva en el transporte, en la última reforma, menciona en los requisitos médicos para ser piloto aviador, que no deben presentar: “2.2. Visión cromática anormal que comprometa el desempeño seguro y eficiente de las atribuciones que su licencia federal le confiera”.<sup>26</sup>
- International civil aviation organization. Los estados contratantes deberán utilizar tales métodos de examen que garantice una prueba fiable de la percepción al color. El solicitante deberá hacerse la prueba de capacidad de identificar correctamente una serie de placas pseudoisocromáticas a la luz del día o con luz artificial con una iluminación estándar C o D65 como lo especifica la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).<sup>27</sup>
- United States Air Force (USAF). Las normas de la visión del color han sido parte de los estándares físicos durante décadas. Todas las deficiencias de la visión del color descalificarán al personal. Las recomendaciones y la gestión de exenciones dependen principalmente de la etiología, la gravedad de la deficiencia de color y sólo se pueden hacer en una base de caso por caso,<sup>28</sup> no se menciona que instrumento diagnóstico emplear.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio comparativo, descriptivo, transversal, cuasi-experimental de casos y controles. Se estudió una muestra estadística de los 1,278 pilotos de aviación. La muestra fue de tipo probabilístico, aleatorio simple, para el cálculo del grupo control o no expuestos se usó el total de (N) 1,278 sujetos, para los grupos de expuestos que fue el de pilotos aviadores, se usó muestreo estratificado, es decir se dividió a estos 1,278 pilotos en dos grupos, grupo de ala fija (N) 881 sujetos y para ala rotativa (N) 397, con muestreo aleatorio simple dentro de cada grupo, el nivel de confianza para este estudio fue del 90%, una precisión del 5%, la frecuencia esperada de acuerdo a la bibliografía fue de 7%.<sup>6-7</sup> La muestra arrojó una (n) de 67 para el grupo control, 65 para el grupo de ala fija y 60 pilotos para ala rotativa, siendo un total de 192 sujetos. Los criterios de inclusión, usados fueron: pilotos aviadores masculinos que se encuentren en el activo de sus funciones técnicas con una agudeza visual máximo de 20/30 de manera monocular. Los criterios de exclusión fueron: pilotos con antecedentes de cirugía refractiva, o cualquier patología en los ojos o patología sistémica que repercuta en el sistema visual y pilotos que se negaran a participar en el estudio, así mismo, se eliminaron del estudio los pilotos que no completaron las pruebas de visión de colores. El trabajo de investigación se realizó del 1 de septiembre del 2013 al 1 de julio del 2015, en una base aérea en el Estado de México y en el edificio

de posgrado de la Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía del Instituto Politécnico Nacional.

Análisis estadístico: Se usó el programa de PASW Statics versión 18, para la estadística descriptiva se calculó las frecuencias, medias, mediana, moda, mínimo, máximo y desviación típica. Para las asociaciones se usó el Chi cuadrado de Pearson. Se aceptó una significancia estadística para este estudio de  $p < 0.05$  y se realizó regresión logística binaria en las asociaciones estadísticas significativas para encontrar el Odds ratio.

### Consideraciones éticas

Los procedimientos que se siguieron estuvieron de acuerdo con las normas éticas de la institución, la participación fue voluntaria y no se realizó ningún estudio invasivo ni se usaron pruebas de medicamentos, los resultados no incluyeron los nombres de los sujetos de estudio.

## RESULTADOS

Se estudiaron un total de 192 sujetos, divididos en dos grupos de pilotos aviadores y un grupo control, el promedio de edades fue de 32.2 ( $\pm 5.8$  años), el percentil 50 fue de 31 años, el valor mínimo fue de 20 y mayor de 55 años, al dividir por grupos se encontró que las medias fueron: para el grupo control 31.8 ( $\pm 4.8$  años), en el grupo ala fija 33.0 ( $\pm 7.4$  años) y ala rotativa 31.9 ( $\pm 4.7$  años). En cuanto a las horas de vuelo, el grupo control fue personal que no realiza esta actividad (no expuestos) por lo tanto tuvo 0 horas de vuelo, el grupo ala fija presento una media de 1543.7 horas ( $\pm 1168.3$  horas), el grupo ala rotativa una media de 1700.9 ( $\pm 1496.0$  horas). Se midieron las frecuencias de los factores de riesgo y protección, recabados en los tres grupos (n 192), se encontró lo siguiente: 13.5% de esta población consume tabaco, 38.5% consume alcohol, 16.1% padece ametropía y 37.5% usa lentes oscuros de protección solar

El grupo de ala fija fue el que más uso lentes oscuros de protección solar con 63.5% en su grupo, el grupo que más consumió tabaco fue el grupo control con el 17.9%, el que más manifestó consumir alcohol fue el grupo de ala fija con un 49.2% y el que más presento ametropía fue también este grupo con el 20.0% (Tabla 1).

**Tabla 1.** Frecuencia de factores por grupo de estudio.

Grupo de estudio	Uso lentes oscuros	Consumo de tabaco	Consumo de alcohol	Ametropía
Grupo control				
Población	67	67	67	67
Presencia	7	12	15	7
%	10.4	17.9	22.1	10.4
Ala fija				
Población	65	65	65	65
Presencia	41	7	32	13
%	63.5	10.8	49.2	20.0
Ala rotativa				
Población	60	60	60	60
Presencia	24	7	27	11
%	40.0	11.7	45.0	18.3
Total presencia	72	26	74	31

Los tipos de aeronaves empleadas en el estudio se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Aeronaves empleadas en el estudio.

	Ala fija		Ala rotativa
Arava	3	OH-58	3
King-air	2	MD	15
Pilatus	27	Bell	57
Cessna	57	MI	22
T33	5	UH	3
Bonanza	6		
Total	100		

La frecuencia de la discromatopsia en el grupo control fue de 6.0% congénita, 7.5% adquirida y de 1.5% mixto, en el grupo de pilotos aviadores fue de 0.8% congénito, 8.8% adquirida y 0.8% mixto. La prevalencia de discromatopsia por separado en los dos grupos de pilotos aviadores se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Prevalencia de discromatopsia por grupo de estudio.

Discromatopsia	Grupo de estudio			Total
	Control	Pilotos ala fija	Pilotos ala rotativa	
Población	67	65	60	192
Discromatopsia congénita				
Casos	4	1	0	5
Prevalencia (%)	6.0	1.5	0	2.6
Discromatopsia Adquirida				
Casos	5	3	8	16
Prevalencia (%)	7.5	4.6	13.3	8.3
Discromatopsia mixta				
Casos	1	1	0	2
Prevalencia (%)	1.5	0.8	0	1
Total prevalencia (%)	14.9	10.4	13.3	11.9

No existió asociación estadística entre la prevalencia de los tipos de discromatopsia (congénita, adquirida y mixta) y el tipo de aeronave, es decir, si existe diferencia entre las frecuencias de los tipos de discromatopsia en los dos grupos de pilotos aviadores.

En cuanto al color afectado, se nota como el color que más afectación tuvo, fue el azul o tritán, esto quizá se deba a que la población de pilotos ya había sido evaluada con una prueba para eliminar discromatopsia congénita (rojo-verde) al ingresar al puesto de piloto aviador, a diferencia del grupo control en la que, si encontramos discromatopsia congénita ya que estos trabajadores no pasan por estas pruebas, a pesar de ser de la misma institución (Tabla 4). Los grados de discriminación de los colores obtenidos por la prueba FM-100, en los 192 sujetos estudiados (Tabla 5).

Al asociar el tipo de aeronave y presencia de discromatopsia adquirida, se obtuvo una  $p < 0.086$ , que indica que no existe asociación estadísticamente significativa entre estas dos variables, es decir "la frecuencia de la discromatopsia adquirida no es similar

**Tabla 4.** Color afectado por grupo de estudio.

Color	Control	Ala fija	Ala rotativa
Tritán leve (azul adquirido)	3	3	6
Tritán moderado (azul adquirido)	2	0	2
Protán leve (rojo congénito)	4	1	0
Tritán y protán leve (azul/rojo)	1	0	0
Tritán y deután severa (azul/verde)	0	1	0
Total.	10	5	8

en los dos tipos de aeronaves”. Tampoco se encontró asociación estadística entre la presencia de discromatopsia y el tiempo de exposición, esto se realizó clasificando las horas de vuelo en tres grupos, se usó el percentil 75 y 90, para tener una mejor representatividad de las horas de vuelo, es decir: de 80,0 a 2,188, 2,189 a 3,475 y de 3,476 a 8,850 horas y se obtuvo una  $p < 0.649$ .

El grupo de pilotos que más uso los lentes oscuros fue el grupo de ala fija, por tal motivo, se planteó asociar el uso de lentes oscuros con la presencia de discromatopsia adquirida, sin encontrar asociación estadística, por lo tanto, no existe mayor prevalencia de discromatopsia adquirida en los pilotos que no usaron lentes oscuros de protección. Dentro de los factores de riesgo que describe la literatura para discromatopsia adquirida está el consumo de tabaco, alcohol y el padecer ametropía, se encontró asociación estadística entre las variables presencia de discromatopsia y consumo de alcohol (Tabla 6), con una  $p < 0.01$ , al tener una asociación estadística, se calculó el coeficiente de contingencia para entender cuál es la fuerza de esa asociación y se obtuvo 0.184 y una V de Cramer de 0.187, con lo que se puede agregar que pesar de existir una asociación estadísticamente significativa, esta es baja, así mismo, se obtuvo un OR de 3.946 con un límite inferior de 1.312, límite superior de 11.868 y un intervalo de confianza del 95% (Tabla 7). No existió asociación estadística con las variables, consumo de tabaco y padecer ametropía. Así mismo se clasificaron las edades en dos grupos con base en la percentil 50, es decir, los menores o igual a 31 años y más de 31 años, no se encontró asociación entre la edad y la presencia de discromatopsia adquirida.

**Tabla 6.** Pruebas de Chi cuadrada. Variables: consumo de alcohol y presencia de discromatopsia

	Valor	G1	Sig. asintótica (bilateral)	Sig. exacta (bilateral)	Sig. exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	6.724a	1	0.010		
Corrección por continuidad <sup>b</sup>	5.405	1	0.020		
Razón de verosimilitudes	6.535	1	0.011		
Estadístico exacto de Fisher				0.014	0.011
Asociación lineal por lineal	6.689	1	0.010		
N de casos válidos	192				

**Tabla 5.** Capacidad o grados de discriminación del color en cada grupo de estudio.

Discriminación	Control	%	Ala fija	%	Ala rotativa	%
Superior	26	38.8	7	10.8	5	8.3
Promedio	39	58.2	57	87.7	53	88.3
Baja	2	3.0	1	1.5	2	3.4
Total	67	100	65	100	60	100

## DISCUSIÓN

La prevalencia encontrada en el grupo control en cuanto a la discromatopsia congénita 6.% es similar a la reportada en la población mexicana de 4 al 7%<sup>6</sup> y superior a la publicada por Birch en el 2012 también en mexicanos de 2.3%,<sup>8</sup> pero debajo de la reportada por Vaughan y Asbury en el 2000, con 8% en población blanca.<sup>29</sup> En cuanto a la discromatopsia adquirida, esta fue de 7.5%, también resultado acorde a la reportada por Delpero en el 2005 que va de 5 a 15%,<sup>9</sup> con base a lo anterior se puede decir que en el grupo control la discromatopsia congénita y adquirida fue la esperada por la literatura.<sup>6</sup> La prevalencia de discromatopsia congénita en el grupo de pilotos aviadores se esperaba baja ya que esta población ya había sido evaluada con anterioridad con una prueba para discromatopsia congénita (láminas de Ishihara) y se pudo corroborar al encontrar el 0.8% de ella, sin embargo Cruz en el 2015, reportó una prevalencia de 0.83% de discromatopsia congénita en alumnos de una escuela de aviación los cuales ya habían sido evaluados con láminas de Ishihara,<sup>30</sup> por lo que en base a estos estudios, se puede decir que hay un grado de error en estas pruebas, ya sea en la aplicación de ellas o como parte de la sensibilidad que proporciona esta prueba, en cuanto a la discromatopsia adquirida en este grupo, fue similar a la reportada en la literatura, es decir de 5 a 15%<sup>6</sup> y en nuestro estudio fue del 11%.

Con base a este estudio, se puede decir que la probabilidad de presentar discromatopsia adquirida es 3.9 veces mayor si se consume alcohol, con lo cual concordamos con lo descrito por Guest en el 2010, al encontrar como factor de riesgo el consumo de alcohol y la presencia de discromatopsia adquirida.<sup>31</sup>

La prevalencia de la discromatopsia adquirida no es directamente proporcional a la edad, quizá esto se deba a que estos pilotos en su mayoría son jóvenes, el promedio de edad fue de 31 años, en este estudio solo 3 pilotos rebasaron los 50 años de edad.

## CONCLUSIONES

Con base a la primera etapa del diagnóstico situacional (identificación o reconocimiento del riesgo) y a la literatura consultada, se concluye que los factores de riesgo en esta población que pueden generar discromatopsia adquirida son el consumo de alcohol, el consumo de tabaco y la exposición a radiaciones; el factor protector detectado fue el uso de lentes protección solar. El único factor que pudimos asociar, fue el consumo de alcohol y la presencia de discromatopsia adquirida.

**Tabla 7.** Regresión logística binaria (consumo de alcohol y discromatopsia).

						I.C. 95% para EXP(B)			
	B	E.T.	Wald	Gl	Sig.	Exp(B)	Inferior	Superior	
Pas	ALCOHOL	1.373	0.562	5.970	1	0.015	3.946	1.312	11.868
o la	Constante	-3.118	0.457	46.548	1	0.000	0.044		

a. Variable(s) introducida(s) en el paso 1: ALCOHOL.

Se elaboró un programa de detección oportuna para la discromatopsia, tanto congénita como adquirida, la cual se entregó a la institución, donde se hace énfasis en el correcto uso de lentes de protección solar (gris neutro no polarizantes), así como la reducción del consumo de tabaco y alcohol para prevenir este padecimiento, se dirigió a ambos grupos tanto pilotos de ala fija como pilotos de ala rotativa y dentro de este mismo programa, se estableció un método para el diagnóstico adecuado de esta patología. Los autores de este trabajo proponen las dos pruebas empleadas en este estudio para detección de problemas congénitos y adquiridos de una manera precisa.

## REFERENCIAS

- Davis JR, Johnson R, Stepanek J, Fogarty JA. *Fundamentals of Aerospace Medicine*, 4ta Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
- Cole B. Protan color vision deficiency and road accidents. *Clin Experim Optometry*. 2002; 85(4): 246-253.
- Angulo BAG. Prevalencia de discromatopsia diagnosticada durante el examen para la obtención de licencia de conducir Tesis de especialidad. Ciencias de la salud, Facultad de Medicina Humana, Unidad de Postgrado Medicina Humana. Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Lima; 2004.
- Lledó M, Campos E, Cuenca N. La transducción visual. *Ann Oftalmol*. 2010; 18(3):130-136.
- Prado A, Camas J, Laredo L. Sensopercepción del color. *Rev Mex Oftalmol*. 2008; 82(2): 101-110.
- Melamud A, Hagstrom S, Troubousi E. Colour vision testing. *Ophthalmic Gen*. 2004; 25(3): 159-187.
- Citirik M, Acaroglu G, Batman C, Zilelioglu O. Congenital color blindness in young Turkish men. *Ophthalmic Epidemiol*. 2005; 12: 133-137.
- Birch J. Worldwide prevalence of red-green color deficiency. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2012; 29(3): 313-320.
- Delpero WT, O'Neill H, Casson E, Hovis J. Aviation relevant epidemiology of color vision deficiency. *Aviat Space Environ Med*. 2005; 76(2): 127-133.
- Thyagarajan S, Moradi P, Membrey L, Alistair D, Laidlaw H. Technical Note: The effect of refractive blur on colour vision evaluated using the Cambridge Color Test, The Ishihara pseudoisochromatic plates and the Farnsworth Munsell 100 Hue test. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2007; 27(3): 315-319.
- French AN, Rose K, Cornel E, Thompson K. The evolution of color vision testing. *Australian Orthop J*. 2008; 40(2): 7-15.
- López E. Diagnóstico situacional modificado. Higiene industrial. Maestría en Ciencias en Salud Ocupacional, seguridad e Higiene. México DF: Instituto Politecnico Nacional; 2009.
- Catalán N. Alteraciones hepáticas en trabajadores expuestos a peligros químicos en un Laboratorio Tercero Autorizado. Propuesta de prevención y/o control. (Tesis de maestría). Ciencias de la Salud Ocupacional, Seguridad e Higiene, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional: México DF; 2012.
- Stellman J. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Subdirección General de Publicaciones; 1998
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas. Ministerio de Trabajo e Inmigración. BOE No. 365. 2005.
- Amezcuca L. *Medicina Aeronáutica*. 1a ed. Madrid: Fundación de estudios y formación sanitaria; 2001.
- Bailey S. Air crew radiation exposure—An overview. *Nuclear News* 2000; 32-40.
- Reglamento de Aviación Civil. Diario Oficial de la Federación; 2014.
- Castro GLN. Informe preliminar del nivel de exposición a radiación ionizante en pilotos civiles de Colombia durante el año 2005 con el uso de un modelo computacional. Trabajo Especialista en Medicina Aeroespacial. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá; 2013.
- Band PR, Le ND, Fang R, Deschamps M, Coldman AJ, Gallagher RP, et al. Cohort study of air Canada pilots: mortality, cancer incidence, and leukemia risk. *Am J Epidemiol*. 1996; 143(2): 137-143.
- Calvo-Gonzalez C, Reche-Frutos J, Santos-Bueso E, Díaz-Valle D, Benítez-Del-Castillo JM, García-Sánchez J. Tomografía de coherencia óptica en la retinopatía por eclipse. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2006; 81(5): 297-300.
- Piñero D, Gené A, Sánchez M, et al. Criterios para la elección de una protección solar adecuada: efectos oculares de la radiación solar. *Gaceta Óptica*. 2000: 10-14.
- Drake-Casanova P, Bolívar-de-Miguel G, Castro-Rebollo M, Clement-Corral M, Dapena-Sevilla I, Pareja-Esteban J. Retinopatía por eclipse. Reporte de tres casos. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2007; 82(9): 575-578.

24. Rodríguez A, Font M, Espada P. Manifestaciones clínicas durante exposición a altas fuerzas G en centrifuga humana. *Sanidad Militar*. 2012; 68(3): 157-162.
25. Pacheco T, Raggio R, Eduardo G, et al. Audiometric profile of civilian pilots according to noise exposure. *Rev Saúde Pública*. 2014; 48(5): 790-796.
26. Reglamento del servicio de medicina preventiva en el transporte. DOF. Secretaria de comunicaciones y transportes; 2013.
27. Organización de Aviación Civil Internacional. *Manual of Civil Aviation Medicine*. 3a ed. Montreal: OACI; 2012.
28. United State Air Force. *Air Force Waiver Guide*. 2014, Case No: 88ABW-2013-5432.
29. Vaughan D, Asbury T. *Oftalmología General*. 12a ed. México DF: Manual Moderno; 2000.
30. Cruz F. Prevalencia de discromatopsia en los discentes de la Escuela Militar de Aviación, usando la prueba clínica Farnsworth-Munsell 100 colores. *Rev Sanid Milit Mex*. 2015; 69(2): 102-108.
31. Guest M, D'Este C, Attia J, Boggess M, Brown A, Tavener M, *et al*. Impairment of color vision in aircraft maintenance workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 2010; 84(7): 723-233.