



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Relación de los movimientos sacádicos en un ambiente virtual 2D con el rendimiento de tenistas prejuveniles colombianos

Miguel Alfredo Pirachican Alaguna

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Departamento de Fisiología
Bogotá, Colombia
2019

Relación de los movimientos sacádicos en un ambiente virtual 2D con el rendimiento de tenistas prejuveniles colombianos

Miguel Alfredo Pirachican Alaguna

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Fisiología

Director:
Ph.D.Edward Javier Acero Mondragón

Línea de Investigación:
Procesamiento de señales biológicas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Departamento de Fisiología
Bogotá, Colombia
2019

Dedicatoria

El fruto de este trabajo quiero dedicarlo a mis padres; sus lineamientos, desde la base de mi formación, me encaminaron por el sendero académico en cuyo trasegar he cosechado y cultivado logros fundamentales para mi vida. Ellos siempre me han dado la fuerza necesaria para seguir adelante, aun a pesar de las circunstancias.

Miguel Alfredo

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos:

A la facultad de Medicina y al departamento de Ciencias Fisiológicas de la Universidad Nacional de Colombia, en particular al cuerpo docente y al personal operativo de la maestría en Fisiología por haberme brindado la posibilidad de hacer parte de este proceso formativo. Gracias a su apoyo y orientación, a través de este he descubierto una gama de posibilidades de descubrir nuevas alternativas en el campo académico a favor de la cualificación de mi profesión.

Al doctor Edward Acero Mondragón, en primer lugar, por creer en esta idea, y segundo lugar por todo el tiempo y dedicación en su desarrollo como tesis. Gracias a él, este proyecto ha llegado a feliz término.

A la Federación Colombiana de Tenis por atender y aprobar el desarrollo de la propuesta con jugadores federados y de esta forma darle la credibilidad y respaldo al estudio. Así mismo, agradezco tanto a su programa de especialización con sede en el Centro de alto Rendimiento de Bogotá, como a la Liga de Tenis del Atlántico por la apertura de los espacios para el registro de datos de la muestra.

Finalmente, a todos los jugadores y padres que hicieron parte del proceso; sin ellos no hubiera sido posible desarrollar este proyecto: Relación de los movimientos sacádicos en un ambiente virtual 2D con el rendimiento de tenistas prejuveniles colombianos.

Resumen

Este estudio presenta la relación entre los movimientos sacádicos (MS) y las fijaciones en un ambiente virtual 2D con el rendimiento deportivo, en tenistas prejuveniles colombianos. **Métodos:** un grupo de jugadores de ranking avanzado y otro de ranking intermedio (según el registro de la Federación Colombiana de Tenis), se enfrentaron a hacer visualizaciones de un punto rojo sobre una pantalla negra en un ambiente virtual 2D. Para ello, se realizaron dos actividades indeterminadas y dos predeterminadas en los mismos intervalos de tiempo (300 y 500 milisegundos), con desplazamientos horizontales y verticales del móvil. **Resultados:** Las variables de estudio fueron la cantidad y duración de las fijaciones y los MS en cada una de las tareas por grupo de medición. Los datos analizados fueron los promedios, las desviaciones estándar de las cantidades de fijaciones. También se realizó una prueba t que permitió hallar un nivel de significancia $p < 0,5$ para dos (300 ms determinado y 500 ms indeterminado), de las cuatro actividades dentro del protocolo. **Conclusiones:** los tenistas del grupo avanzado mostraron un patrón oculomotor con menor dispersión y mayor cantidad de las fijaciones, indicando así un factor característico respecto de sus pares intermedios.

Palabras clave: Movimientos sacádicos; fijaciones; rendimiento deportivo.

Abstract

This study presents the relationship between saccadic movements (MS) and fixations in a 2D virtual environment with sports performance, in Colombian pre-youth tennis players. Methods: a group of players of advanced ranking and another of intermediate ranking (according to the registry of the Colombian Tennis Federation), faced to make visualizations of a red dot on a black screen in a 2D virtual environment. For this, two undetermined and two predetermined activities were carried out in the same time intervals (300 and 500 milliseconds), with horizontal and vertical movements of the mobile. Results: The study variables were the amount and time of the fixations and the MS in each of the tasks per measurement group. The analyzed data were the averages, the standard deviations of the amounts of fixations; from these values the MS were inferred. A t test was also carried out that allowed us to find a level of significance $p < 0.5$ for two of the four activities within the protocol, a fact that ratified the best performance of advanced players compared to intermediate players in their averages and dispersion of fixations. Conclusions: the players of the advanced group showed faster MS and an oculomotor pattern with less dispersion of the fixations, thus indicating greater orthophoria with respect to their intermediate pairs.

Keywords: Saccadic movements; fixings; sports performance.

Contenido

1	Capítulo 1: El problema de Investigación	13
1.1	Descripción del problema.....	13
1.2	Planteamiento del problema.....	14
1.2.1	Hipótesis	14
1.3	Justificación	14
1.4	Objetivos	16
1.4.1	Objetivo General	16
1.4.2	Objetivos Específicos.....	16
2	Capítulo 2: Marco Teórico	17
2.1	Marco histórico	17
2.1.1	Antecedentes	17
2.2	Marco conceptual	23
2.2.1	Vía Visual.....	23
2.2.2	La visión binocular.....	30
2.2.3	Sistema óculo motor	31
2.2.4	Movimientos Sacádicos.....	34
2.2.5	Fijaciones oculares	36
2.2.6	Eye Tracker.....	38
2.2.7	El software GP3 Eye Tracker Gazepoint de 60 Hz	39
3	Capítulo 3: Metodología de Investigación	41
3.1	Tipo de estudio.....	41
3.2	Población y Muestra.....	41
3.3	Criterios de inclusión y exclusión	41
3.4	Hipótesis.....	42
4	Capítulo 4: Aplicación del Protocolo en Ambiente Virtual 2D	44
4.1	Aplicación del diseño experimental con el protocolo.	44
4.1.1	Protocolo.....	44
4.2	Generalidades de registros y escenario.	46

4.2.1	Acondicionamiento del escenario.....	47
4.2.2	Instrumentos de recolección de información	47
4.3	Procesamiento estadístico de la información	47
4.3.1	Estadística descriptiva.....	47
4.3.2	Estadística inferencial	48
4.4	Consideraciones legales	48
4.4.1	Consideraciones éticas.....	49
5	Capítulo 5: Resultados y Análisis de Resultados	50
5.1	Resultados obtenidos con la aplicación del diseño experimental.....	50
5.1.1	Sobre las fijaciones.....	50
5.1.2	Sobre los movimientos oculares sacádicos (MS) en forma aleatoria y en forma predeterminada.....	56
5.2	Discusión	56
6	Capítulo 6: Conclusiones.....	60
6.1	Recomendaciones	60
6.2	Limitaciones	61
7	Referencias	62
8	Anexos	71

Lista de Figuras

<i>Figura 2-1</i> Procesamiento Visual	30
<i>Figura 2-2</i> Software Gazepoint Analysis Edición UX	40
<i>Figura 4-1</i> Secuencia de los movimientos de móvil en los ejes verticales y horizontales a velocidades de 300 ms y 500 ms.....	46
<i>Figura 5-1</i> Medias de las fijaciones de cada grupo en cada protocolo	51
<i>Figura 5-2</i> Dispersión de las desviaciones estándar de las fijaciones de cada grupo por protocolo.....	52
<i>Figura 5-3</i> Medias del volumen de fijaciones por actividad aplicada para cada uno de los grupos	53
<i>Figura 5-4</i> Barra de error	54

Lista de Tablas

Tabla 3-1 <i>Criterios de Inclusión y Exclusión de la Población Objeto de Estudio</i>	42
Tabla 3-2 <i>Variables de Medición</i>	43
Tabla 5-1 <i>Medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (desviación estándar) de los datos obtenidos a la luz de la variable dependiente Fijaciones</i>	50
Tabla 5-2 <i>Prueba t de muestras independientes para duración de fijaciones según los grupos</i>	54
Tabla 5-3 <i>Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo</i>	55

Introducción

El tenis de campo ha evolucionado desde el tradicional *jeu de paume* de origen francés cuya pelota era golpeada con la palma de la mano, pasando por el juego con palas de madera, hasta la versión actual en la cual se utilizan raquetas de materiales altamente aerodinámicos. La evolución del artefacto con el que se golpea la pelota ha facilitado que la velocidad de esta pueda superar los 200 km por hora en algunos momentos del juego generando así tiempos de contacto entre estos dos, que oscilan entre los 0.003 a 0.006s (Kovacs, 2007). Este hecho ha propiciado un creciente interés por la investigación en los últimos 20 años, en diversos aspectos de esta disciplina deportiva.

Enmarcado dentro de las habilidades abiertas se encuentra el tenis de campo. De acuerdo con Hernández, Oña y Ureña (2006), estas habilidades "...son aquellas que modifican su comportamiento continuamente a lo largo del juego, no pudiéndose predecir cómo variarán en función del cambio de estímulo" (pág. 137); en consecuencia, los jugadores están frente a una incertidumbre constante y esto describe lo que sucede durante un juego de tenis de campo.

Respecto de este panorama se puede pensar que los sistemas sensitivos pueden integrarse dentro de la investigación deportiva y, en especial, el sistema visual que podría ser tomado en cuenta dentro de los procesos formativos o de selección. Este es uno de los sistemas sensoriales más importantes y complejos del ser humano involucrado en la percepción del mundo y funciona por medio de un proceso de reconocimiento visual a través del cual podemos organizar, planear y ejecutar una acción (Braddick & Atkinson, 2011).

En un comienzo la preocupación por la visión en el deporte se orientó al cuidado de los ojos, y paulatinamente se fue incorporando la importancia de la función visual en el desempeño deportivo. Desde 1921 se ha ido realizando una serie de registros que ha permitido entender las diferencias del sistema visual de los deportistas, respecto de otras poblaciones; pero a pesar de esto, aún faltan estudios alrededor del tema (Laby, Kirschen, & Pantall, 2011).

En línea con lo anterior, las habilidades visuales necesarias para lograr el éxito deportivo en las diferentes disciplinas no se deben limitar a la agudeza visual; la correcta interpretación de la información visual y el juicio oportuno sobre la velocidad, distancia y especificaciones del objeto percibido, contribuyen a un desempeño adecuado en el campo deportivo, ya que un alto nivel de resistencia física, rapidez, agilidad o fuerza no podrían compensar una información visual defectuosa (Mohammadi et al., 2016).

Se ha planteado de forma somera que la evaluación cuantitativa de las habilidades visuales sean usadas en la selección de talentos (Jafarzadehpur & Yarigholi, 2004). En esta misma línea de trabajo, la evidencia señala que programas de entrenamiento visual en tenistas permiten mejorar la motilidad ocular y otras habilidades visuales y que estos beneficios se transfieren a algunas habilidades técnicas de la disciplina (Maman, Gaurang, & Jaspal, 2011).

Dentro de los registros realizados a tenistas se ha hallado que estos son más cercanos a la ortoforia (posición alineada de los dos ojos) respecto de otros grupos de medición, convirtiendo esto en una característica para este deporte (Craybiel, Jokl, & Trapp, 1955; Quevedo, Castañé, Solé & Cardona, 2014). Así mismo, los tenistas han mostrado un área total de visión mayor que los no deportistas, atribuido esto a una actividad más coordinada de los músculos del ojo (Alvis-Gómez & Pulzara-Tiara, 2013).

También se ha precisado que los tenistas realizan sacadas anticipatorias para fijar un área esperada de bote de la pelota (Singer et al., 1998), y que los MS les facilitan la lectura inicial de los gestos técnicos del rival, al igual que permiten una mejor sincronización de los movimientos propios que se definan en cada situación a raíz de los cambios suscitados durante las ejecuciones técnicas de los rivales (Aviles, Benguigui, Beaudoin, & Godart, 2002).

Esta investigación se realizó con jugadores de tenis prejuveniles pertenecientes al registro de la Federación Colombiana de Tenis en la categoría de 16 años, tanto masculino como femenino. El protocolo de medición se realizó en etapa competitiva de los jugadores y se distribuyeron los jugadores en dos grupos: ranking avanzado (jugadores entre los 25 primeros de su categoría), y ranking intermedio (jugadores por encima del puesto 100 de su categoría).

Los registros de las fijaciones y los MS en un ambiente virtual 2D, encararon a los jugadores frente a una pantalla, al seguimiento de un móvil (punto), de color rojo sobre un fondo negro que se movía en direcciones indeterminadas y predeterminadas y tiempos de 300 milisegundos para dos actividades y 500 milisegundos para otras dos actividades. El *eye tracker* fue el dispositivo utilizado para los registros y se acondiciono un espacio con una iluminación de un lumen.

En cuanto a la dimensión ética que subyace este estudio, por ser con menores de edad, se realizó el consentimiento informado por parte del adulto responsable (anexo B), y el asentimiento por parte del deportista, al igual que el aval de la Federación a cargo de la disciplina (anexo C).

Al final de los registros se analizaron las fijaciones y MS y su vínculo con el rendimiento de cada uno de los grupos participantes en el estudio.

1 Capítulo 1: El problema de Investigación

1.1 Descripción del problema

Los procesos de selección o evaluación de jugadores de tenis a escala mundial se han fundamentado en parámetros antropométricos (Sánchez-Muñoz, Sanz, & Zabala, 2007); (Myburgh, Cumming, Coelho E. Silva, Cooke, & Malina, 2016); (Myburgh et al., 2016); al igual que en criterios de desempeño funcionales o motores (Roetert, Garrett, Brown, & Camaione, 1992); (Fernandez, Sanz, & Mendez, 2009); (Lidor, Côté, & Hackfort, 2009); (Fernandez-Fernandez, Ulbricht, & Ferrauti, 2014), y se han abordado hasta criterios de maduración en edades prejuveniles y su desempeño en la etapa juvenil, sin llegar a ser concluyentes con esto (Kramer, Huijgen, Elferink-Gemser, & Visscher, 2017).

En relación con lo anterior, la evidencia ha mostrado, que la velocidad, la agilidad, los ítems de prueba neuromuscular y las medidas antropométricas, solo representan una pequeña parte de las características y habilidades que tienen importancia general para el tenis (Munivrana, Filipčić, y Filipčić, 2015). Así mismo, las estadísticas desarrolladas en tenis en torno a cómo proyectar el nivel de éxito, no han evidenciado una alta relación que permita señalar que el ranking en cierta etapa del proceso sirva como modelo predictivo de éxito, visto este en el tenis como el ingreso a los 100 mejores profesionales del mundo (Reid & Morris, 2013; Bane, Reid & Morgan, 2014; Kovacs et al., 2015).

Por lo anterior, se ha incursionado en otros campos donde se ha podido evidenciar cierta concordancia entre aspectos atencionales y de orientación espacial con el rendimiento logrado por los jugadores de tenis a nivel juvenil (Alexandru, Ruxandra, & Carmen, 2014). A partir de esto se ha planteado que los procesos atencionales y oculómotores se encuentran entrelazados en el cerebro (Martinez-conde, Macknik & Hubel, 2004). Reconociendo que el control visual efectivo depende de procesos de control cognitivo, particularmente del control de la atención (Braddick y Atkinson, 2011; Wilson, Miles, Vine, & Vickers, 2013; Vine, Moore, & Wilson, 2014).

Asimismo, se ha concluido que la experticia de tenistas ha quedado en evidencia respecto de pares inexpertos en intercepción de tareas simuladas con desvíos inesperados de la trayectoria del móvil utilizado, demostrando así la capacidad de ajuste de los movimientos a los cambios

repentinos (Le Runigo, Benguigui & Bardy, 2010). Esto resalta un mejor funcionamiento del sistema perceptivo visual en la toma de decisiones motoras.

Con este acervo documental, se hace necesario involucrar protocolos de medición perceptiva visual, fundamentados en criterios que permitan el análisis de los MS y de las fijaciones, soportado en el hecho que se ha encontrado en la literatura diferencias entre tenistas expertos y novatos en estos dos aspectos del procesamiento visual y de esta forma se contribuya a la selección de talentos o apoyo en los entrenamientos. Ya que la visión proporciona una medida temprana de la amplia integridad de la función cerebral (Braddick & Atkinson, 2011), una evaluación detallada del rendimiento visual puede ayudar a reconocer las habilidades potenciales de la élite y el entrenamiento visual podría ofrecer un medio para mejorar aún más el rendimiento deportivo (Piras, Raffi, Lanzoni, Persiani, & Squatrito, 2015).

En Colombia, la Federación Nacional de Tenis no cuenta con registros de programas de medición de deportistas que involucre un protocolo perceptivo sensorial visual, para tener evidencia en relación de este con la experticia.

1.2 Planteamiento del problema

¿Los MS y las fijaciones se relacionan con el nivel de rendimiento deportivo en tenistas prejuveniles colombianos?

1.2.1 Hipótesis

H_0 Los MS y las Fijaciones no tienen relación con el rendimiento deportivo (ranking nacional), de los tenistas prejuveniles colombianos entre los 14 y 16 años.

H_1 Los MS y las Fijaciones tienen relación con el rendimiento deportivo (ranking nacional), de los tenistas prejuveniles colombianos entre los 14 y 16 años.

1.3 Justificación

La estadística en el deporte ha servido para evaluar resultados deportivos que permiten la proyección de deportistas, pero en tenis aún no se ha desarrollado una forma objetiva de selección de jugadores y la identificación del talento se ha centrado en apreciaciones técnicas de los jugadores o resultados de torneos menores, todo desde el punto de vista cualitativo de los entrenadores (Reid, Morgan, Churchill, & Bane, 2014).

En Europa, un estudio acerca de la edad en la que los mejores 20 tenistas del ranking alcanzaron diferentes logros en sus carreras, varía considerablemente, cuestionando el criterio de selección de talentos que utilizan las federaciones nacionales que identifican jugadores para programas de desarrollo de talento y la fiabilidad de estos en sus resultados deportivos, puesto que el 43% de los hombres y el 60% de las mujeres que ganaron torneos a los 14 años, lograron estar entre los mejores 200 del mundo en su etapa profesional (Brouwers, De Bosscher & Sotiriadou, 2012).

También se han hecho grandes esfuerzos en los procesos de selección en categorías infantiles y prejuveniles integrando aspectos antropométricos, motores, de maduración y parámetros de desempeño deportivo, sin lograr aún una relación directa con el posterior paso al profesionalismo, que permita identificar quién o quiénes podrían llegar a un nivel de rendimiento importante en el mundo deportivo. Para el caso del tenis esto sería llegar a los 100 mejores jugadores del ranking internacional, ya sea en hombres o mujeres, lo cual puede tomar alrededor de cuatro años en la etapa de transición, respecto de los que llegan al top 10 que solo les toma 15 meses en promedio (Kovacs et al., 2015).

Entonces se entiende que otras perspectivas del desarrollo de tenistas deben involucrarse, al asumirse que el desempeño en el tenis de campo es multifactorial (Kovacs, 2006; Kovacs, 2007; Reid & Morris, 2013), teniendo presente que este es un deporte de habilidades abiertas que requiere constantes ajustes espacio temporales y que obliga a tener claridad en la percepción de la información proveniente del medio (Hernández et al., 2006).

Es así, que en este momento se encuentra evidencia de registros en los cuales jugadores experimentados de tenis de campo muestran ventajas respecto de sus pares novatos en la utilización de patrones visuales, anticipación y la utilización de MS y fijaciones dentro de sus desempeños y dado que las velocidades de la pelota pueden alcanzar en determinados momentos del juego hasta 220 km por hora, obligando a los atletas a identificar una respuesta motora en menos de 400 milisegundos (Scott, Scott, y Howe, 1998). Tal exposición es probable que mejore la percepción de objetos en movimiento, ya que los jugadores “anclan” la fovea en las áreas relevantes para la tarea, de modo que utilizan la perifovea y la periferia de la retina para recoger la información relevante, mediante “pivotes visuales” (Piras et al., 2015).

Además, en las últimas décadas se han ido implementando dispositivos de seguimiento ocular que han permitido revelar sus beneficios en el campo de la medición y el entrenamiento, particularmente en la anticipación (Féry y Crognier, 2001); (Piras et al., 2015). También en el registro de ajustes motores más rápidos y adaptados a las situaciones cambiantes del juego (Aviles et al., 2002), al igual que la evidencia de un proceso visual inconsciente en la búsqueda de información (Moreno Hernández, Reina Vaíllo, Sanz Rivas, y Ávila Romero, 2002).

Teniendo en cuenta que la percepción visual mejora como una condición de la experticia en ciertos deportes (Piras et al., 2015), la propuesta es hacer una comparación de los MS y las fijaciones entre dos grupos de tenistas prejuveniles colombianos (ranking avanzado y ranking intermedio), con parámetros similares de entrenamiento y establecer si esto es una variable que se relacione con el rendimiento deportivo en estos grupos, dado que hasta aquí la investigación solo ha mostrado grupos de expertos y novatos en sus registros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Relación de las fijaciones y MS en un ambiente virtual 2D con el rendimiento de tenistas prejuveniles colombianos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Comparar el patrón de fijaciones en dos grupos de tenistas prejuveniles colombianos de 14 a 16 años, con nivel de ranking intermedio y ranking avanzado en un ambiente virtual 2D con un protocolo que utiliza un móvil en direcciones indeterminadas y predeterminadas.
- Inferir los MS a partir del patrón de fijaciones en dos grupos de tenistas prejuveniles colombianos de 14 a 16 años, con nivel de ranking intermedio y ranking avanzado en un ambiente virtual 2D con un protocolo que utiliza un móvil en direcciones indeterminadas y predeterminadas.
- Establecer si hay o no relación entre los registros de las fijaciones y los MS con el nivel de rendimiento de los grupos de tenistas prejuveniles colombianos de 14 a 16 años, de nivel de ranking intermedio y ranking avanzado en un ambiente virtual 2D con un protocolo que utiliza un móvil en direcciones indeterminadas y predeterminadas.

2 Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Marco histórico

2.1.1 Antecedentes

En la revisión desarrollada a lo largo de este documento se encuentra un primer escrito con relevancia en el contexto de la visión y el deporte en su relación con el desempeño deportivo. En dicho escrito se define al ojo como un órgano anatómico más allá de la agudeza visual y, con ejemplos alusivos a deportes que utilizan pelotas, se expone de manera sucinta que detrás de este “órgano” y sus movimientos hay un procesamiento cerebral que juzga o estima direcciones, ángulos, distancias, velocidades e incluso anticipa trayectorias (Doyne, 1910).

Durante la posguerra de la Segunda Guerra Mundial, con ocasión de los Juegos Olímpicos de Helsinki en 1952, se realizó un simposio con el apoyo del Gobierno finlandés, del Comité Olímpico Internacional, de la Asociación Finlandesa de Medicina del Deporte y de la Federación Internacional de Medicina del Deporte, que reunió a participantes de los dos lados de la así llamada Cortina de Hierro. Así, uno de sus comités seccionales permitió conocer un libro del doctor Krestovnikov titulado *Estudios en fisiología del ejercicio*. En dicha obra se encontró un capítulo que hacía referencia a los componentes fisiológicos de la visión, el ejercicio y el entrenamiento. Asimismo, se señalaba que el campo visual y la profundidad eran mejores en tenistas que en otros deportistas, y con respecto al balance muscular ocular se encontraron significativamente menores grados de heteroforia. Se concluyó entonces que la ortoforia indica aptitud para el tenis de campo y que estos atletas tienen entonces un mejor aparato visual (Craybiel et al., 1955).

En la década de los sesenta se registra la utilización de “videos” de entrenamiento, de los cuales se decía que podrían ser beneficiosos en el acortamiento de los tiempos de percepción de la dirección del servicio en el tenis de campo, además de ser un incentivo para la concentración. Con base en ello se concluyó que el entrenamiento perceptivo visual puede mejorar a través del método de oclusión del video en una situación real de juego (Haskins, 1968).

Durante los años setenta se documentó experimentalmente que la velocidad de percepción y la predicción del movimiento influían en el desempeño de habilidades en los deportes, entre las

que se incluían bolas rápidas, y se incrementaba la probabilidad de correcta sincronización de movimientos balísticos (Alderson y Whiting, 1974).

También en aquella década, Jones y Miles (1978), por medio de imágenes cinemáticas de un jugador de tenis de campo ejecutando el golpe de servicio, y deteniendo ingeniosamente la filmación en diferentes momentos de la ejecución técnica, generaron una oclusión temporal gracias a la cual encontraron diferencias significativas entre novatos, intermedios y avanzados. De tal manera, evidenciaron una ventaja en la anticipación de estos últimos para predecir dónde rebotaría la pelota. Igualmente, en este estudio ya se evidencia, a raíz de los patrones visuales de cada uno de los grupos analizados, que los tenistas avanzados tienen una estrategia visual que los lleva a tomar decisiones. Los autores señalan además que las tareas de ambientes reales se pueden medir con precisión en el laboratorio y que se puede desarrollar un entrenamiento perceptivo con video que influya positivamente en el desempeño de tareas en ambientes reales (citados en Williams, Ward, Knowles, & Smeeton, 2002).

En los años ochenta, estudios de Blundel (1983, citado en Wimshurst, 2012) relacionados con el tenis de campo, centrados en campo visual y sensibilidad a luces de color blanco y amarillo de los móviles, encontraron que los tenistas llamados de élite tuvieron mayor campo visual respecto de los novatos. En deportes como el béisbol, por ejemplo, también se evidenció la utilización de MS, especialmente el uso de sacadas anticipatorias durante las ejecuciones técnicas. Se mostró que el atleta profesional, a pesar de ser mejor que los estudiantes para rastrear la bola rápida simulada, no puede mantener sus ojos en la bola, y que aun siendo un atleta (profesional) no puede rastrear la pelota hasta que esté a 5.5 pies de la placa, instante en el que se mueve tres veces más rápido de lo que el humano más rápido podría rastrear. Contrariamente a lo que promulgan los entrenadores, “mantener los ojos sobre la bola”, el autor sugiere dentro de sus conclusiones que el jugador de béisbol y el de tenis no mantienen los ojos sobre la bola. De hecho, el desempeño de los buenos jugadores radica en movimientos oculares más rápidos de seguimiento y sacadas anticipatorias (Bahill & LaRitz, 1984).

También, al medir desempeños de los jugadores de cricket, se reflejaron tiempos para toma de decisiones motoras alrededor de los 200 ms, con móviles que alcanzan los 100 km/hora, lo cual prueba que estos deportistas tienen una habilidad visual y motora compleja gracias a la cual logran, en tiempos de alrededor de 500 ms, seleccionar y realizar una acción que involucra todo el cuerpo con altísima precisión (McLeod, 1987).

En estas velocidades y reacciones al evaluar tenistas expertos y novatos, se encuentra que los primeros requieren menor información para identificar el tipo de gesto técnico en el golpe de servicio, esto es, información de la raqueta y el brazo hábil, mientras que los novatos focalizan más su atención en la bola para anticipar el tipo de servicio realizado (Goulet, Bard, & Fleury, 1989).

En el caso del tenis de mesa, en registros desarrollados durante sesiones de entrenamiento y competencia de jugadores de nivel internacional, se encontraron fijaciones de 230 ms en el partido y 290 ms en situación de entrenamiento, con un seguimiento visual asimismo superior en el partido que en el entrenamiento (240 ms vs. 150 ms). Además, se pudo determinar que la fijación hacia el oponente (por situaciones temporales solo se permitía una fijación) precedía a la fijación de la bola, lo que exige toda una estrategia visual que está determinada por el nivel de incertidumbre y que genera el aumento de la latencia de los movimientos oculares durante el partido (Ripoll, 1989).

Ya en la década de los noventa, en mediciones con jugadores de squash se notaron las siguientes diferencias en la estrategia de búsqueda visual entre expertos y novatos: por una parte, en la extracción de la información para la predicción de la dirección y la fuerza del golpe, hay menos fijaciones sucesivas después del impacto para la predicción de la acción del oponente, y estas se desarrollan de forma proximal a distal (brazo a raqueta) en la fase previa. Por otra parte, los expertos gastan más tiempo de fijaciones sobre la raqueta y el brazo, mientras que los novatos lo hacen en la zona de contacto (Abernethy, 1990).

En la revisión que realizan Hitzeman y Beckerman (1993) se enfatiza que los movimientos de los ojos preceden al movimiento físico del cuerpo, a lo que se añade que se distinguen tres relevantes para el desempeño atlético; estos son: MS, fijaciones y movimientos de seguimiento o búsqueda. Se señala igualmente que los tenistas no siguen la bola entre los 5 y los 200 ms previos al contacto entre esta y la raqueta. Incluso, se confirma nuevamente que los 200 ms anteriores al evento pueden ser usados por atletas experimentados para anticipar el resultado de un evento. Se apunta así a una sutil coordinación entre los sistema neuromuscular y visual que depende de la velocidad de un procesamiento neurológico de los dos sistemas.

Con la inclusión de sistemas de registro de movimientos del ojo se han analizado los patrones de búsqueda visual en un ambiente real de un grupo de jugadores. Los participantes fueron sometidos a pruebas durante la noche, para evitar miosis durante las condiciones de luz diurna, facilitando así la midriasis y que de esta forma aumente la efectividad del sistema de seguimiento para obtener lecturas exactas del ojo. Así, se logró determinar que algunos utilizaban sacadas anticipatorias para fijar un área esperada del bote de la pelota, en tanto que otros mantenían casi siempre la fijación en la pelota a través del seguimiento de los movimientos oculares; otro grupo usaba una combinación de estos dos comportamientos visuales. La diferencia clara estuvo en que los mejores jugadores, hacían un seguimiento de la pelota durante la fase de lanzamiento del servicio, en relación con sus pares (Singer et al., 1998).

Los registros han permitido plantear que en el tenis, cuando la pelota alcanzar velocidades de 220 km/hora en algunos momentos del juego, se obliga a los jugadores a realizar sacadas para predecir la intención de sus oponentes en menos de 400 ms, en situaciones específicas como el gesto técnico de devolución de un golpe de servicio (Scott et al., 1998). También se expone que el

entrenamiento perceptivo visual fue capaz de predecir el resultado del evento con una precisión uniformemente alta post-entrenamiento (Abernethy, Wood, & Parks, 1999).

En el presente siglo han ido tomando forma los estudios alrededor de los MS para ser competitivos en el tenis. En tal sentido, se hace referencia a su valor en el proceso de anticipación, por la capacidad de fijarse en el movimiento previo del golpe del oponente (*backswing*) y en la parte inicial de su trayectoria (*follow through*), donde ha tenido un rol predictivo (Féry & Crognier, 2001). Este papel de los MS en la obtención de información previa, acumulada del comportamiento preparatorio del rival, evidencia que los jugadores de tenis de campo más experimentados realizan ajustes más rápidos a los cambios generados durante las ejecuciones de sus rivales, al punto de poder acoplar sus movimientos (*timing*) a las secuencias de los gestos técnicos (Aviles et al., 2002).

Igualmente, se ha señalado, tras estudiar a jugadores expertos en silla de ruedas, que estos patrones de búsqueda visual pueden darse de forma no consciente, pero modelada por la experiencia de juego, al comparar el seguimiento visual con verbalizaciones de estos (Moreno Hernández et al., 2002). De tal manera, para mejorar el rendimiento deportivo fundamentado en el desempeño visual, se ha utilizado el entrenamiento perceptivo (implícito: que utilizó la oclusión con video y explícito: que consistió en informaciones verbales), antes y después del entrenamiento, midiendo la capacidad de los jugadores para predecir la dirección del servicio del oponente en una situación real de juego. Se encontró que el grupo de entrenamiento perceptivo implícito produjo mejoras luego de un periodo de cuatro semanas, especialmente en el momento en el cual el oponente tiene contacto con la bola (Farrow & Abernethy, 2002).

A este punto es evidente que el desarrollo de habilidades visuales debe ser considerado un entrenamiento especial y se concluye que la ametropía es menor en jugadores que en no jugadores, a pesar de las condiciones ambientales. Se resalta, además, la importancia de la evaluación cuantitativa de las habilidades visuales para que puedan ser usadas dentro de la selección de talentos, de tal manera que los entrenadores no se concentren únicamente en el desempeño físico (Jafarzadehpur & Yarigholi, 2004).

Otro trabajo con tenistas de nivel regional y un tiempo de entrenamiento de más de 10 años, permitió analizar los tiempos de respuesta desde el inicio del estímulo (salida de la pelota de una máquina lanzapelotas) hasta el impacto de la pelota. A tales efectos se determinaron unos rangos de entre 689 y 1089 ms y se midió entre la salida de la pelota y el primer movimiento técnico (*split step*), hacia la pelota un rango de respuesta entre 416 y 674 ms, con una velocidad de la bola de 60 km/hora. El autor encontró que el tiempo de reacción medio (587 ms) es cerca del doble del movimiento total (288 ms), lo cual le permitió plantear que las exigencias atencionales o perceptivas son similares y dependerían más de las características de la acción del oponente que de la del propio sujeto en su reacción (Menayo, Fuentes, Luis, & Moreno, 2004).

Se ha planteado también que los tenistas experimentados tienen una estrategia de búsqueda visual predominante y además que la trayectoria visual tiene una característica que les permite contar con un margen de error más bajo que novatos, en situaciones en las cuales deben pronosticar o anticipar el área de caída o rebote de una bola. Lo anterior, a través del siguiente patrón en sus fijaciones y sacadas: en primer lugar, por fijaciones sobre el lugar desde el cual la bola venía, seguida de un MS del ojo para comenzar a seguir la bola. Luego, visualmente, siguiendo la trayectoria de la bola y, finalmente, otro MS del ojo para orientar la vista hacia el área anticipada de rebote (Moreno Hernández, Reina Vaíllo, Luis, Salgado, & García, 2005).

Por medio del análisis alrededor de los deportes de raqueta, se ha revelado que aquellos deportes de habilidades abiertas como el tenis de campo, el squash o el bádminton, entre otros, en los que aparezca un oponente, conllevan que previamente a la acción se realice un análisis de ese oponente y que este análisis servirá para determinar qué acciones o movimientos previos pueden considerarse preíndices válidos y qué elementos no aportan información relevante para anticiparse a su acción (Hernández Hernández et al., 2006).

Se encontró, corroborando lo señalado en los acápites precedentes, que los jugadores experimentados utilizan patrones visuales intereventos que les podrían permitir tener un tiempo extra para tomar mejores decisiones y desempeños de la respuesta motora, en tanto que los novatos prefieren observar a medida que se van presentando los acontecimientos. De igual forma, se destaca que los jugadores pueden ser instruidos sobre entender la relación entre la cinemática y los eventos posteriores y no solamente las búsquedas visuales de ciertas localizaciones, ya que los jugadores experimentados tienen mejores habilidades en la obtención, codificación e interpretación de la información que sus oponentes. Lo anterior puede ayudarlos en su toma de decisiones porque tienen más tiempo para decidir la respuesta correcta y realizarla más rápidamente (Reina, Moreno Hernández, & Sanz Rivas, 2007).

De la misma manera, con tenistas de nivel universitario que realizaron un entrenamiento visual sobre “sacadas horizontales y verticales”, se notó una mejora luego de ocho semanas. Además, indirectamente, se evidenció aumento en el porcentaje de efectividad del gesto técnico del servicio del grupo experimental respecto del grupo control y se resalta la importancia de los MS en el tenis de campo, teniendo en cuenta que el jugador debe correr para golpear la pelota y que en muchas situaciones esto se lleva a cabo en posturas de desequilibrio que perjudican la agudeza visual y obligan al deportista a juzgar la posición (vertical y horizontal) de la bola en pocos ms, ya que la información del vuelo de esta debe ser usada con una latencia de 160 ms (Maman et al., 2011).

La investigación de igual modo sugiere que los tenistas expertos pueden tener cortos retrasos visomotores que los habilitan para recoger información del vuelo de la bola y producir una respuesta con una corta latencia de alrededor de 200 milisegundos. Entonces, se señala que los jugadores anticipan más cuando están bajo altas restricciones espaciotemporales, correspondientes a situaciones en las que sus oponentes tienen una ventaja significativa. Sin

embargo, se postula que la anticipación no es tan frecuente en el tenis de alto nivel (6 al 13% de los golpes jugados), puesto que los jugadores tienen el tiempo suficiente para reaccionar a la vista de la porción inicial del vuelo de la bola antes de iniciar una respuesta. De esta forma, los jugadores pueden escoger no anticipar si perciben que hay suficiente tiempo de reacción sobre la base de la información del vuelo de la bola en lugar de tomar el riesgo de anticipar la respuesta del oponente (Triolet, Benguigui, Le Runigo, & Williams, 2013).

Se encuentra, siguiendo con este análisis de los MS en tenistas, al comparar la devolución del gesto de servicio, que en el momento que se enfrentaba a un sacador con una máquina lanzapelotas, se registraron mayores tiempos de inicio del movimiento que cuando se enfrentaba el restador a un sacador de tenis real. Curiosamente, también se encuentra en estos menor tiempo en el *back swing* que en el grupo que se enfrentó a la máquina. Se concluye así que los jugadores no siguen únicamente la bola, por el contrario, tienen en cuenta algunos otros puntos de referencia que le permiten tener un patrón de búsqueda visual (Carboch, Süß, & Kocib, 2014).

Otro trabajo sobre los MS con tenistas de élite mostró que estos son los más cercanos a la ortoforia, en comparación con otros deportistas (Junyent Quevedo et al., 2014). Este aserto es coincidente con el estudio de Ashton (1955), en el que se encontró en un grupo de 25 tenistas, frente a 194 individuos no entrenados, menor grado de heteroforia. El autor señaló, igualmente, el efecto del ejercicio sobre los mecanismos de control motor en los ojos, que difiere con el tipo de deporte, que requiere acciones repetitivas y jugadas, las cuales se caracterizan por una continua secuencia de situaciones impredecibles que necesitan un mayor ajuste.

La investigación en torno a la visión y el deporte confirma que, al evaluar diferentes habilidades visuales de tenistas adolescentes, se aprecia que el grupo de visión normal mostró mejor desempeño en las pruebas de profundidad y visión periférica que sus pares con problemas de refracción con y sin gafas. El autor concluye que en comparación con otros deportes, los tenistas requieren mejor visión deportiva para lograr altos desempeños (Chang, Liu, Lee, y See, 2015).

Es preciso señalar, siguiendo esta ruta de registro de comportamientos visuales en el tenis, que la utilización de dispositivo de seguimiento ocular ha permitido aclarar que tanto la valoración en campo como en laboratorio no evidencia diferencias en cuanto a la eficiencia de la respuesta motora, aun cuando los tiempos y los patrones de búsqueda visual han sido distintos (Luis del Campo, Reina Vaíllo, Sabido Solana, & Moreno Hernández, 2015).

En jugadores de tenis profesional, el análisis de los tiempos de respuesta motora a partir del contacto de la pelota con la raqueta del rival, ha encontrado que dichos tiempos están alrededor de los 300 ms (Filipic, Leskosek, & Filipic, 2017), lo que justifica la utilización de los MS, dadas las restricciones temporales que demanda la disciplina.

Trabajos más recientes han hallado que los tenistas de mayor rendimiento tienen menor número de fijaciones, pero de mayor duración y, en determinadas zonas, antes y durante. Sin embargo, también son claros en plantear que estos parámetros de búsqueda visual pueden variar a través del deporte, las tareas o las situaciones (Murray & Hunfalvay, 2017).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Vía Visual

En sus inicios, en el momento del nacimiento, la función cortical visual es algo elemental, pero evoluciona de forma acelerada luego del primer mes de vida, en correlación con el hecho de que las sinapsis en la corteza estriada humana aumentan solo a una velocidad superficial durante los primeros dos meses, para después aumentar vertiginosamente hasta llegar a su máxima expresión entre los 6-9 meses. Después, se multiplican unas 10 veces más con respecto al nacimiento y disminuyen en el número de sinapsis con solo la mitad del máximo restante a los 10 años. Este proceso de poda selectiva refina la organización, aunque no es claro qué mejoras particulares en el rendimiento visual durante la primera infancia pueden ser atribuidas a ello (Braddick & Atkinson, 2011).

El proceso de apoptosis se da en la mayoría de los tejidos, incluida la retina, en la cual la fase temprana del desarrollo del ojo sirve para el modelado del primordio óptico, así como para la formación de la fisura óptica, y parece ser responsable de la apertura de canales extracelulares. Por esto, genera espacios por los que pueden crecer las fibras ópticas. Igualmente, se puede mencionar que esta apoptosis realiza una modulación del número de células de cada tipo y en la localización respectiva, viéndose claramente que las células ganglionares mueren en un 70% en la retina humana durante su desarrollo (Kaufman & Alm, 2004).

El ojo es realmente una esfera que contiene líquido, encerrada por tres capas de tejido: la más interna es la retina, donde se encuentran las neuronas sensibles a la luz y con la capacidad de transmitir señales visuales, en tanto que el cuerpo ciliar consiste en un anillo que rodea el cristalino con un componente muscular importante para ajustar el poder de refracción del cristalino y un componente vascular (procesos ciliares) que produce el líquido que llena la parte anterior del ojo. Finalmente, el iris se encuentra en el tracto uveal y contiene dos conjuntos de músculos que con acciones opuestas permiten ajustar el tamaño de la pupila bajo el control neural (Purves et al., 2004).

La retina es un epitelio sensorial especializado que consta de una serie de capas. Estas capas contienen los bastones y los conos (que son los fotorreceptores), al igual que cuatro tipos de neuronas (bipolares, ganglionares, amacrinas y horizontales). La capa de receptores de la retina se encuentra sobre el epitelio pigmentario, una estructura delgada que contiene melanina, la cual

absorbe rayos de luminosidad, y gracias a ello se previene su reflejo a través de la retina. De lo contrario, se generarían defectos visuales como, por ejemplo, imágenes borrosas (Barret, Barman, Boitano, & Brooks, 2010).

Los procesos visuales requieren que sus medios ópticos sean transparentes para transmitir la energía luminosa de manera eficiente. Su función principal es lograr una imagen enfocada sobre la superficie de la retina (Purves et al., 2004)

A la retina la podemos dividir en dos partes: una que ocupa 30° desde el polo posterior y otra periférica. En el centro se ubica la mácula, con una pequeña depresión llamada fovea, que contiene la foveola. Esta última es la zona donde cada cono sinapta con una sola célula bipolar y esta a su vez con una ganglionar. Contrariamente, en la retina periférica hasta 300 bastones convergen en solo una célula ganglionar, por lo que la fovea se convierte en la zona de máxima agudeza visual. Así, el objetivo fundamental de la movilidad ocular es hacer coincidir la fovea con el objeto de interés (Plou Campo, 2007).

Los conos de la retina son los encargados de una correcta definición de la visión en condiciones de luz diurna. Así, cuando es mayor el número de conos, más aguda es la visión. Por ejemplo, en la fovea (estructura de la retina que presenta mayor número de células ganglionares) se encuentran alrededor de 2000 conos, gracias a lo cual su poder de resolución depende de la densidad de los fotorreceptores. De tal modo, a medida que es más excéntrica, su densidad disminuye (Kaufman & Alm, 2004).

La característica del sistema visual es transformar patrones de luz transitoria en una imagen visual tridimensional estable y coherente del entorno (Kandel, 2000). La luz penetra en el ojo a través de la córnea transparente, una estructura ocular con capacidad de refracción que hace que la luz se enfoque en la retina y que consta de una matriz extracelular que impide la dispersión de la luz. Esto último facilita que el 99% de la radiación visible que incide en la córnea sea transmisible. Además, la córnea es uno de los tejidos con mayor sensibilidad y esta facultad le permite una función protectora. Por lo tanto, la mayor parte de los receptores corresponden a los nociceptores, los cuales permiten la percepción de dolor y, en esta línea, de autoprotección (Kaufman & Alm, 2004).

En el momento en que la luz penetra, afecta directamente a los fotorreceptores, los conos a cargo de la visión cromática y de la agudeza visual alta (visión fotópica), y a los bastones que tienen alta sensibilidad para las detecciones bajas de luz que no proporcionan imágenes bien definidas y actúan mejor bajo condiciones de luminosidad limitada (visión escotópica). Este es un procesamiento que realizan las interneuronas de la retina que conducen la señal al encéfalo mediante axones de las células ganglionares retinianas, los cuales viajan por el nervio óptico. Esta información tiene una decusación a nivel del quiasma óptico, lo cual provoca una integración de la información contralateral y no ipsilateral. Así mismo, en los tractos ópticos, estos axones hacen

sinapsis en núcleos encefálicos, entre los cuales se destaca en la vía visual de los humanos el núcleo geniculado lateral del tálamo, que proyecta hacia la corteza visual y otras vías visuales que proyectan hacia el colículo superior, *pretectum* e hipotálamo, que participan en la orientación de los ojos, el control del tamaño de la pupila y los ritmos circadianos, respectivamente (Koeppen, 2009).

Los fotorreceptores convierten la luz en señales nerviosas mediante la fototransducción, se conoce que los cerca de 92 millones de bastones son los responsables de la luz tenue y que los cinco millones de conos se encargan bajo condiciones de luz brillante. Además de esta característica, los conos, a diferencia de los bastones, contienen tres opsinas diferentes, sensibles a tres regiones distintas del espectro luminoso. Porcentualmente hablando, se considera que los conos de la retina son sensibles al azul en un 15%, alrededor del 54% al verde y un 35% aproximadamente al rojo. Su neurotransmisor común es el glutamato. Estos fotorreceptores hacen sinapsis en la capa plexiforme externa con células bipolares y horizontales. Además, bastones y están constituidos por la rodopsina, una molécula biológica que absorbe la luz visible y luego la transforma en una señal nerviosa eléctrica (Kaufman & Alm, 2004).

La **fototransducción** es el proceso mediante el cual los fotorreceptores de la retina convierten la luz en una señal eléctrica. A diferencia de otros sistemas sensitivos en los que se producen potenciales de acción, aquí se producen potenciales graduados que conducen la membrana a una hiperpolarización y no despolarización, lo cual genera que el potencial de membrana del receptor se torne más negativo. Así, la liberación del transmisor desde terminaciones sinápticas de los fotorreceptores depende de los canales de calcio sensibles al voltaje, al igual que otras células. Sin embargo, la absorción de luz por el fotorreceptor reduce la concentración de cGMP en el segmento externo. Esto conduce a un cierre de canales con puerta de cGMP en la membrana externa y, de esta manera, a una reducción del flujo de cationes hacia el interior de Na y Ca, lo que da como resultado que la carga positiva transportada por el K fluya hacia el exterior más rápidamente que al interior. Así, logra hiperpolarizar la célula, en la que se desarrollan una serie de cambios bioquímicos internos a raíz de esta hiperpolarización. En dichos cambios se activa el mensajero interno (transducina) que activa una fosfodiesterasa que hidroliza el cGMP, lo que reduce su concentración en el segmento externo y consecuente cierre del canal. Se asume que tan solo un fotón que es absorbido por una molécula de rodopsina podría generar el cierre de 200 canales iónicos en cada bastón y de esta forma lograr un cambio en el potencial de membrana calculado en 1 mV (Purves et al., 2004).

Los fotorreceptores de la retina se proyectan sobre células bipolares que hacen sinapsis sobre células ganglionares retínales. Los axones de estas últimas forman el nervio óptico, el cual proyecta al núcleo geniculado lateral en el tálamo y de este a la corteza visual primaria, también llamada corteza estriada, que contiene un completo mapa neural de la retina. En continuidad a esto se encuentran las áreas extraestriadas, un conjunto de áreas visuales de orden superior que igualmente contienen representaciones de la retina. Todas las células de esta zona tienen diferentes roles dentro del proceso visual, como por ejemplo forma, color y movimiento (Kandel, 2000). De acuerdo con Purves y Cols:

...Estas células bipolares se caracterizan por tener potenciales graduados, conduciendo al aumento en la liberación de glutamato en sus sinapsis y la despolarización subsecuente de las células ganglionares con las que hacen contacto por medio de receptores de AMPA, Kainato y NMDA. (pg. 251)

En la retina de los mamíferos existen dos tipos de células horizontales (HII, que conecta exclusivamente con conos, y HI, cuyas dendritas contactan con conos y sus axones con los bastones). Al parecer, utilizan el GABA como neurotransmisor y su función radica en proporcionar retroalimentación inhibitoria a los fotorreceptores o provocar la inhibición de las células bipolares que son las que conducen la señal desde los fotorreceptores hasta las células ganglionares o amacrinas; una característica de estas células es que responden mejor a un estímulo pequeño y circular, al igual que las ganglionares (Kaufman & Alm, 2004).

Con respecto de las células amacrinas, estas se encuentran ubicadas entre las células bipolares y las ganglionares y se especializan en ampliar cambios repentinos de intensidad de la luz; por ejemplo, cuando ingresa un objeto rápidamente en el campo visual (Plou Campo, 2007). Estas células se encuentran en la capa proximal de la capa nuclear interna y todas ellas modulan señales de la capa plexiforme interna, constituyen una parte importante de la ruta de los bastones y se conectan con células ganglionares, otras amacrinas e interplexiformes (transportan señales de retroalimentación entre las capas plexiformes externa e interna). Existe una variedad de células amacrinas, las cuales cuentan con diferentes neurotransmisores (alrededor de ocho), y en relación con las células ganglionares se menciona que son las encargadas de recopilar la información censada en la retina y conducirla al encéfalo. Sus axones forman el nervio óptico, que finaliza en el cuerpo geniculado lateral, y tan solo el 10% se proyecta a estructuras subatómicas y hace parte de procesos como el reflejo pupilar o los ritmos circadianos (Kaufman & Alm, 2004).

Las células ganglionares son de dos tipos: las de tipo M, que tienen campos receptivos, cuerpos celulares y axones con diámetro más grande, con velocidades de conducción más rápida y responden de manera transitoria a escenas visuales porque se adaptan con rapidez a los cambios de luz. Por ello, su frecuencia de descarga en “reposo” con iluminación constante es relativamente baja y terminan en las capas magnocelulares ventrales del núcleo geniculado lateral. Su papel fundamental está relacionado con tareas concernientes a evaluación de localización, velocidad y dirección de un objeto que se desplaza rápidamente. Las células de tipo P, por su parte, que conforman la corriente parvocelular, reaccionan de manera sostenida a estímulos visuales. Además, transmiten información referente al color puesto que son sensibles a diferencias en la longitud de onda, por lo tanto, un daño en esta vía puede generar problemas en la percepción del tamaño, forma y color de los objetos (Purves et al., 2004).

Dentro de las diferentes estructuras que tienen proyecciones de la retina se encuentra el *cuerpo geniculado lateral*, que se encarga de la percepción de la forma y es la principal vía de

entrada de señales visuales a la corteza visual. Sus dos primeras capas poseen neuronas grandes conocidas como magnocelulares, las cuales proyectan señales relacionadas con el movimiento, la profundidad y el parpadeo, y las otras cuatro parvocelulares, ubicadas en la capa 3 a la 6, que conducen las señales para las visiones cromáticas, de textura, de forma y de detalles finos. Además, se considera que esta estructura presenta un mapa retinotópico, ya que existe una proyección punto a punto desde la retina hacia el *núcleo geniculado lateral* (Koeppen, 2009).

De igual forma, *el colículo superior*, un elemento del mesencéfalo, que junto con zonas de la corteza frontal y la formación reticular están a cargo de la generación de *MS* ante estímulos visuales. Se trata de una zona inicialmente unimodal que después de unos días de nacido se convierte en un sistema multimodal capaz de integrar sensaciones para que el individuo reaccione a estas, ya sean auditivas, visuales o somato-sensitivas, puesto que es una estructura que va madurando con el tiempo y genera un mapa en el cual la parte rostral representa el espacio auditivo y visual de la parte frontal del cuerpo, mientras que la parte caudal asume la información periférica de estos dos sentidos. De forma semejante, también tiene un mapa motor compuesto por neuronas de salida que codifican un vector de desplazamiento, un comando de movimiento que orienta ojos, oídos, cabeza y cuerpo a una distancia dada y en una dirección en particular. Sin embargo, es necesario tener presente que en el colículo superior la información visual se codifica en coordenadas retinocéntricas y la auditiva en coordenadas craneocéntricas, generando una representación en diferentes lugares, a pesar de que el estímulo tenga la misma ubicación espacial (Gazzaniga, 2000).

Así mismo, *la corteza visual primaria o corteza estriada* recibe información contralateral en cada uno de sus hemisferios, y contiene dos mapas retinotópicos (uno por cada hemisferio). De la misma manera, posee seis capas, de las cuales la ruta magno celular llega a la capa 4 más profunda, en tanto que la trayectoria parvo celular llega a esta misma capa pero a una subcapa diferente. Así, la corteza visual primaria separa la información cromática de las formas y de los movimientos, combina la información proveniente de ambos ojos, ya que hasta este punto la información de cada ojo permanece separada, y en esta zona, gracias a las conexiones de las capas 3 y 4, que mezclan las aferencias de ambos ojos, se puede combinar la información. Las proyecciones de esta zona del cerebro se dividen en una vía dorsal o parietal, que interviene principalmente en el movimiento, y otra ventral o temporal que interviene en la forma y el reconocimiento de las formas y los rostros. Para sintetizar, se puede decir que la corteza visual primaria es el lugar donde se procesan todas las señales visuales para la percepción visual consciente, antes de hacer su relevo a otras zonas (Barret et al., 2010).

Gran parte de la información visual de NGL pasa a través de la corteza visual primaria antes de procesarse más en zonas de la corteza visual extraestriada, que toma una ruta dorsal (referida al dónde) y una ventral (referida al qué), involucrada con el reconocimiento de las formas (Nassi & Callaway, 2009). La corriente ventral donde se incluye V4 está directamente relacionada con el reconocimiento de objetos y conduce desde la corteza visual primaria hasta la parte inferior del lóbulo temporal. Por su parte, la corriente dorsal conduce hasta el lóbulo parietal e implica el área temporal media o V5 y se relaciona con los aspectos espaciales de la visión, como por ejemplo

el análisis de movimientos y las relaciones de posición de los objetos (Purves et al., 2004). Particularmente V5 está especializada para procesar movimiento y profundidad, mientras que V4 se enfoca en forma y posiblemente color (Nassi & Callaway, 2009).

El *área premotora y la motora suplementaria*, de acuerdo con las evidencias, tienen propiedades sensomotoras que responden a la percepción y ejecución de acciones, así como también responden a otras señales del sistema sensorial como los estímulos auditivos (Lima, Krishnan, & Scott, 2016). *El área motora suplementaria* se ha referido como una estructura clave en el procesamiento de tiempo, actuando como un reloj interno que crea una representación de los intervalos de tiempo, al igual que en las secuencias de movimiento. Esto, de la mano de otras estructuras como son: corteza premotora, ganglio basal, lóbulo parietal superior e inferior y regiones prefrontales (Bortoletto & Cunnington, 2010).

El tiempo de reacción premotora puede subdividirse en la percepción y el procesamiento de la información visual, así como la transformación visomotora necesaria para la generación de comandos motores (Hülzdünker, Strüder, & Mierau, 2016). Por ejemplo, se ha podido evidenciar que los resultados con tenistas y jugadores de squash, en comparación con otros tipos de deportistas y sujetos controles, han mostrado una disminución en las latencias (Delpont, Dolisi, Suisse, Bodino, & Gastaud, 1991; Özmerdivenli et al., 2005). Así mismo, en deportes como el fútbol se ha señalado que el tiempo premotor es mayor en estímulos visuales periféricos que en estímulos centrales y que en ambos casos dependen mucho de la talla del estímulo, pero que siempre el tiempo premotor es más corto en esos deportistas que grupos control, para de esta forma poder desarrollar una rápida respuesta perceptual en el campo visual periférico y en el central (Ando, Kida, & Oda, 2001).

Esta adaptación perceptiva se puede atribuir a requerimientos de un deporte específico que se practique. Por ejemplo, los atletas muestran elevada activación del área motora primaria y del área premotora (con una activación en tan solo 116 ms luego de iniciado el estímulo) en el desarrollo de tareas de reacción motora. Así se observan diferencias en el tiempo de reacción visomotora entre atletas y no atletas, indicadas por un inicio más temprano en la ejecución del movimiento, debido a la activación del área premotora, lo que puede deberse a una mejor conexión parietal funcional del área premotora en atletas, que puede sugerir a su vez una transmisión más directa de señales visuales a regiones motoras ejecutivas, gracias a una red más eficiente en el tiempo. Por el contrario, en no atletas la información visual debe pasar una vía indirecta ya que la conectividad parietal vista es con activación de la corteza prefrontal dorso lateral, viéndose un retraso en la activación premotora (Hülzdünker et al., 2016).

Se ha podido evidenciar la activación y conectividad superior del **área motora suplementaria** en atletas y no atletas, lo que es señal de una cercanía entre desempeño superior de atletas y la activación de esta zona con respecto a tareas visomotoras, aunque el rendimiento visomotor superior en atletas se debe principalmente a un procesamiento visomotor más rápido

que a la percepción visual (Hülsdünker et al., 2016). Sin embargo, en relación con este punto existe otro soporte teórico sobre deportes de raqueta que puede ser contradictorio (Delpont et al., 1991).

Igualmente, *el núcleo pulvinar* integra impulsos nerviosos asociados con movimientos oculares, del brazo y de la mano, procesa la percepción de la forma y recoge señales relacionadas con movimientos oculares sacádicos. Por esto último, se piensa que otra de sus funciones estaría relacionada con el diseño de marcos de referencia para la coordinación ojo-mano (Kaufman & Alm, 2004).

Por lo anterior, la retroalimentación visual proporciona un elemento crítico en los procesos de ejecución de las habilidades técnicas del tenis de campo y el uso de información visual para acoplar la sincronización de movimientos (*timing*), que influye sobre procesos de ejecución facilitando el ajuste de los ritmos de golpe, con base en la información extractada del vuelo de la bola, puesto que el tenis se enmarca dentro de habilidades abiertas, las cuales se desarrollan en condiciones temporales y espaciales cambiantes en el ambiente (Giblin, Whiteside, & Reid, 2017).

Además, se ha visto que el balance en los atletas depende de las señales visuales. Así, la pérdida de estas afectaría el control motor (Hammami, Behm, Chtara, Othman, & Chaouachi, 2014). Con base en esto, se evidencia que el sistema visual tiene interrelación con varios aspectos del comportamiento humano, como el movimiento de los ojos y su relación con el control postural, y también tiene directa asociación con el campo deportivo (Thomas, Bampouras, Donovan, & Dewhurst, 2016).

De acuerdo con lo anterior, los aportes de los potenciales evocados deberían ser considerados como criterio neurofisiológico en la definición del desempeño deportivo (Özmerdivenli et al., 2005).

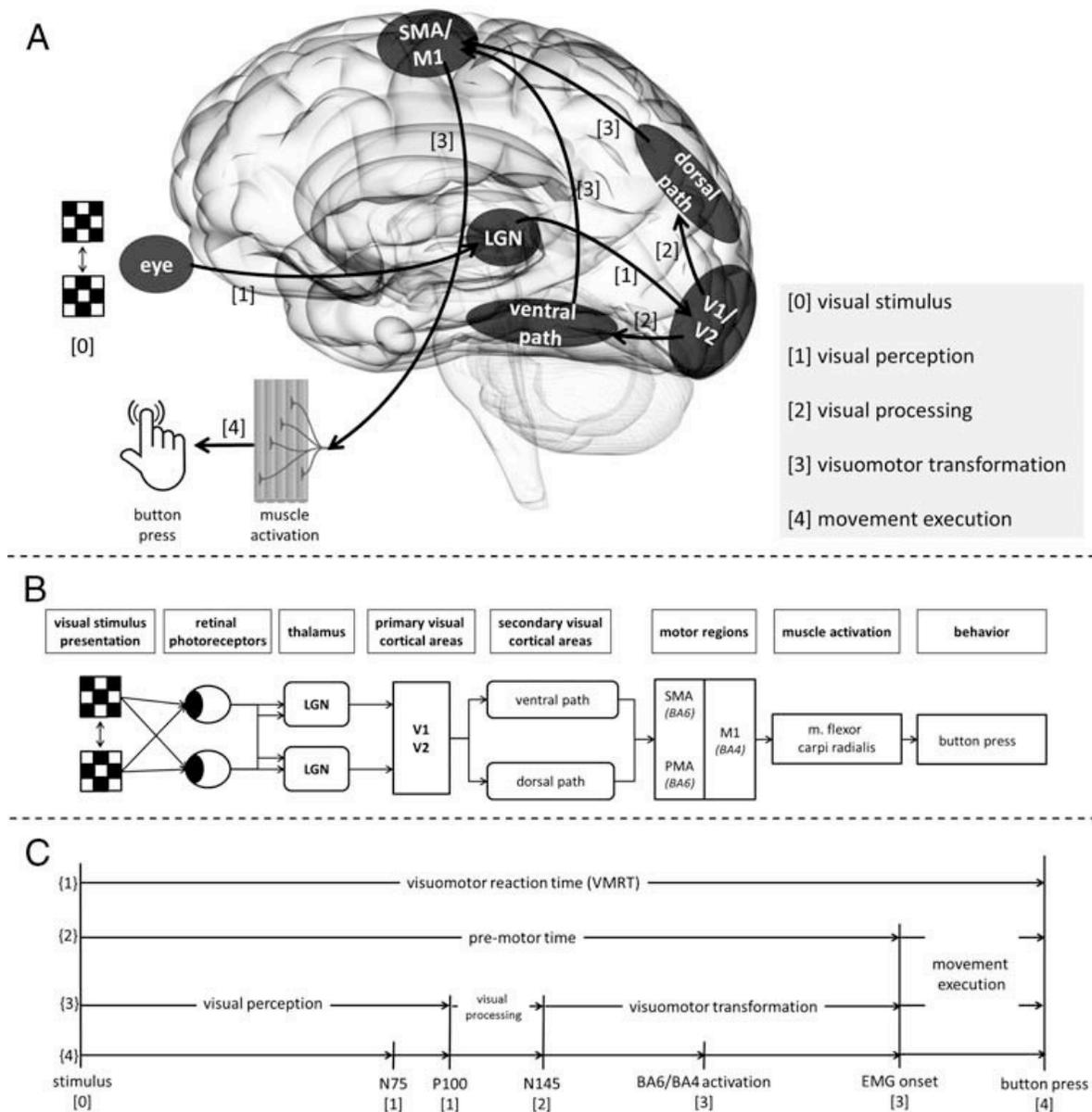


Figura 2-1 Procesamiento Visual

Fuente: Hülzdünker y colaboradores (2016).

Nota: explicación paso a paso del procesamiento visual, desde el inicio del estímulo (1), luego percibido por el fotorreceptor, que vía nervio óptico hace relevo en el núcleo geniculado lateral del tálamo y posteriormente viaja a la corteza visual primaria (V1 y V2), donde hace relevo a zonas corticales superiores por la vía dorsal y ventral para el procesamiento de la información en el lóbulo parietal, activando una región motora (área premotora y motora suplementaria) que planea y ejecutan la decisión.

2.2.2 La visión binocular

Una de las características de los ojos es su binocularidad, ya que tienden a moverse juntos (N. Wade, 2010). La visión binocular es un sistema que permite investigar la relación entre la actividad neural y la percepción y que requiere la combinación de la información central de las

dos retinas. Este requisito enfatiza la importancia de las señales a nivel cortical. La visión binocular tiene el nivel de complejidad que permite estudiar las relaciones entre la neurofisiología y la percepción (Gazzaniga, 2000).

De la misma forma, el área extraestriada es la que ha sido vinculada con el procesamiento de la información binocular y genera aferencias, al igual que el tálamo, hacia la corteza visual estriada, proveyendo así un sistema de retroalimentación que crea una modulación de la respuesta de una manera que depende del contexto perceptual del estímulo, incluido el binocular (Gazzaniga, 2000).

La visión binocular y la alta agudeza visual han evolucionado para requerir un control oculomotor muy fino. Por ello, la fijación de los ejes visuales debe controlarse binocularmente con pequeños márgenes de error. De otra parte, la transformación de los sistemas de control para mediar el seguimiento de los objetivos visuales en tres dimensiones se correlaciona con el desarrollo de la binocularidad y la alta agudeza visual, además de posicionar en el más alto nivel de demandas sobre la vía común final para el control del movimiento ocular (Porter, Baker, Ragusa, & Brueckner, 1995).

La visión binocular es importante en varios deportes, dado que facilita la orientación espacial para extraer información precisa de los objetos en las tres dimensiones, en situaciones estáticas y dinámicas, al igual que la velocidad y distancia del objeto. A través de los estudios se ha registrado que el desarrollo de la función de visión binocular tiene un efecto positivo sobre el rendimiento de las habilidades motoras, ya que, como se ha planteado, individuos con una baja visión binocular cometen más errores en tareas de atrapar pelotas (Zwierko et al., 2015).

Algunos estudios estiman que la ortoforia es una característica de deportes como el tenis, planteándose de esta forma el efecto sobre los mecanismos de control motor de los ojos que difiere de los deportes con patrones fijos de ejecución y actividades desarrolladas por medio de una secuencia de situaciones imprevistas que requieren constantes ajustes oculomotores (Craybiel et al., 1955; Junyent Quevedo et al., 2014).

2.2.3 Sistema óculo motor

El ojo, ubicado dentro de la órbita ósea, está rodeado por los músculos extraoculares, tejido conectivo y grasa orbital. Una característica de los ejes visuales de referencia en el ser humano radica en que son paralelos y están en línea recta, sin embargo, las órbitas óseas apuntan hacia afuera aproximadamente 23°. Este hecho tiene relevancia para la acción de los músculos extraoculares, porque el origen de los músculos rectos se encuentra en el ápice orbital y se insertan en espiral alrededor del limbo ocular, de tal manera que los rectos superior e inferior forman un ángulo de 23° con el eje visual anterior-posterior en la posición recta hacia adelante (Porter et al., 1995).

El sistema óculo motor es un sistema articulado único y diferente del sistema musculoesquelético del cuerpo humano, compuesto por doce músculos con un rango limitado de operación, al punto que los grados de libertad de los movimientos oculares se reducen en relación con los movimientos que son posibles mecánicamente; se ha sugerido que esto se debe a restricciones en el patrón de inervación. De la misma manera, la fuerza necesaria para ejecutar los mismos movimientos oculares en diferentes momentos permanece constante dentro de límites pequeños. También se plantea que la activación neuronal cambia dependiendo del estado de alerta *versus* el estado de sueño ligero (Hepp & Henn, 1986).

Otra diferencia con el sistema músculo esquelético radica en que el huso neuromuscular no es el principal receptor sensorial en el músculo extraocular, y no hay retroalimentación monosináptica de la aferencia muscular a las motoneuronas oculomotoras, por lo que la terminal de palisade (cilindro miotendinoso) parece ser el receptor sensorial primario. Estas terminaciones de palisade están asociadas con la unión miotendinosa distal de las fibras extrafusales, específicamente con el tipo de fibra muscular inervada multiplicada globalmente. La inervación motora de este tipo particular de fibras puede actuar de manera similar a las motoneuronas gamma en husos neuromusculares tradicionales, al modular la sensibilidad de los terminales nerviosos aferentes. De este modo, las fibras de inervación múltiple como las terminaciones de palisade están ausentes de los músculos elevadores del párpado superior, lo que sugiere que estos elementos desempeñan un papel único en los movimientos rotativos de los ojos. En los MS o fases rápidas del nistagmo, después del componente rápido de la sacada, o en movimientos lentos y suaves, el reclutamiento de motoneuronas individuales en la descarga sostenida depende de la posición del ojo (Porter et al., 1995).

Las unidades motoras rápidas de los músculos extraoculares podrían ser las encargadas de los MS, lo cual hace pensar que serían más útiles al inicio, en comparación con las unidades motoras resistentes a la fatiga, necesarias para mantener una posición del ojo independiente del grado de contracción muscular. Este fenómeno que se ve explicado por la falta de fatiga durante la abducción sostenida de los ojos en humanos (Shall & Goldberg, 1992).

Los músculos oculares pueden ejecutar movimientos del ojo, de búsqueda y vergencia para mantener la fijación sobre objetivos que se mueven suavemente a velocidades en las que el movimiento es apenas perceptible, pero también son capaces de alcanzar velocidades pico sacádicas de hasta 600°/segundo. La visión genera una retroalimentación precisa, aunque de larga duración, en cuanto al resultado de los comandos de movimiento de los ojos; por ejemplo, la velocidad de movimiento de persecución se ajusta para coincidir con la velocidad de un objeto, o en otras circunstancias una orientación errónea de sacados tiene como consecuencia MS correctivos en latencia corta, y el uso de lentes de aumento conlleva una recalibración bastante rápida del reflejo vestibulo-ocular; además, se puede utilizar una copia de la señal del comando motor que deriva a los centros neuronales superiores, información de latencia corta en cuanto al movimiento del ojo previsto (Porter et al., 1995).

Los músculos extraoculares del aparato visual tienen una inervación por los pares craneales motor ocular común (III), patético (IV) y motor ocular externo (VI), cuyos axones se originan en los núcleos motores del tronco encefálico que reciben aferencias del **núcleo de Edinger-Westphal**, con dominio parasimpático que a su vez recibe aferencias de la región pretectal, la cual ha sido identificada como centro de coordinación del reflejo fotomotor que favorece la reducción del diámetro pupilar como respuesta a la cantidad de luz que ingresa al ojo, permitiendo evaluar la integridad del sistema (Kaufman & Alm, 2004).

El hecho de que las motoneuronas del músculo extraocular muestren tasas de descarga que son de una magnitud más alta que la mayoría de las motoneuronas espinales, plantea demandas extremas sobre este grupo muscular y se considera que alrededor del 70% de las motoneuronas se encuentran en el umbral en la posición primaria, con relación a los patrones de actividad observados de sus pares espinales. Así, el motor del músculo ocular muestra unidades de descarga sostenida impresionantemente altas y la modulación bidireccional de la tasa de descarga tónica es el medio para ejecutar todos los movimientos oculares suaves (reflejos estabilizadores de la visión, persecución y movimientos de vergencia). Por su parte, las motoneuronas evidencian una actividad de alta frecuencia (hasta 600 picos/segundo), para compensar las fuerzas viscosas que resisten los movimientos de tipo balístico (MS y fases rápidas del nistagmo), y luego nivelan a una tasa de descarga tónica más alta que especifica la nueva posición del ojo (Porter et al., 1995).

El nervio y el núcleo óculo-motor son los encargados de inervar el músculo oblicuo inferior y el recto medial, superior e inferior; así mismo, el oblicuo superior es inervado inicialmente por el núcleo troquelar contralateral, mientras que el recto lateral es inervado por el núcleo abducen; los cuatro músculos rectos surgen de un anillo tendinoso (el anillo de Zinn) que rodea el foramen óptico y de una porción de la fisura orbitaria superior que rodea el nervio óptico (Goldberg & Shall, 1999).

Los parámetros contráctiles y de fatiga de los músculos extraoculares identifican a estos como unos de los músculos esqueléticos más rápidos y resistentes a la fatiga. A partir de los datos morfológicos, hay hasta seis posibles tipos de unidades motoras, y teniendo en cuenta que los músculos extraoculares exhiben contracciones de gran velocidad en comparación con los músculos más rápidos de las extremidades, igualmente se caracterizan por baja tensión de salida, tal vez evidenciando su composición de miosina única. Además, sus contracciones isométricas ocurren dos veces más rápido en comparación con sus pares estriados, y el flujo sanguíneo también es mayor, lo que genera un mayor potencial de su capacidad oxidativa. Asimismo, el pequeño tamaño de la unidad motora visto en el músculo extraocular (aproximadamente 10 fibras musculares/motoneurona) es consistente con el incremento preciso de la fuerza que se requiere en la fijación y en los movimientos oculares (Porter et al., 1995).

Los músculos oculomotores se caracterizan por tener una potencia de 500 a 1000 gramos, sometiendo a la contracción todas sus fibras, pero en condiciones normales el músculo solamente ejerce una fuerza que no excede los 10 gramos para generar algún movimiento a una velocidad

normal, lo cual permite calcular que estos músculos oculomotores poseen una potencia cincuenta a cien veces mayor que la que diariamente necesitan. Por lo tanto, la cantidad de energía potencial de que disponen estos músculos explicaría la no aparición de la fatiga muscular y la gran posibilidad de compensación de paresias, incluso si son muy acentuadas (Catañeda, 1971).

2.2.4 Movimientos Sacádicos

Se ha encontrado evidencia desde 1879, relacionada por Wade y Tatler (2009), de que fue Louis-Émile Javal quien logró con la ayuda de un espejo observar el movimiento de los ojos de los sujetos mientras leían, por lo cual se le considera el primero en notar el movimiento de los ojos en una especie de *jerks*. Javal reportó que los ojos no se mueven a lo largo de una línea de texto, sino que en lugar de esto hacen movimientos cortos rápidos (*sacadas*), mezclados con cortas paradas (*fijaciones*). Para estos análisis se valió de la observación, por la ausencia de una tecnología que permitiera mayor objetividad en los resultados. Aunque no hay precisión en el tipo de técnica que se usó en ese momento o quién la utilizó, sí se reconoce a Javal como el pionero en hablar de los *jerks*.

El término *sacadas* se atribuye a Javal cuando describe el movimiento de los ojos. Hasta ese momento era una palabra francesa de uso común que significaba “tirón o contracción”. El apropiamiento del término dentro del inglés fue atribuido a Dodge (Wade & Tatler, 2009; Tatler, Wade, Kwan, Findlay, & Velichkovsky, 2010).

Las *sacadas* son movimientos rápidos de los ojos (el movimiento más rápido que el cuerpo humano puede hacer), para que los estímulos visuales puedan ser fusionados y convertirse en el objetivo de atención. Se consideran esenciales para la interacción con el mundo y pueden ser de naturaleza automática, como cuando se mira reflexivamente a un estímulo visual que aparece de repente. Además, se pueden controlar de una manera más endógena y voluntaria y de esta manera aprovechar el control ejecutivo (Luna, Velanova, & Geier, 2008). Se conoce que los sacádicos se originan en parte en las áreas motoras binoculares (Kaufman & Alm, 2004).

También se ha definido a los MS como movimientos balísticos rápidos de los ojos que cambian bruscamente la dirección de la fijación y que pueden ser generados de forma consciente o inconsciente, dependiendo del nivel de atención del individuo (Purves et al., 2004; Le & Liu, 2015). La utilización de este tipo de movimientos se ha visto reflejada en algunos tenistas en condiciones de laboratorio, en las cuales se ha podido precisar que estos no hacen seguimiento constante hasta el impacto de la bola, sino, por el contrario, utilizan *sacadas anticipatorias* para poner los ojos frente a la bola en el impacto, lo que podría determinar el desempeño exitoso en su habilidad para mover rápidamente los ojos durante las *sacadas anticipatorias* (Bahill & LaRitz, 1984). Igualmente, se ha planteado que los movimientos de los ojos son esenciales para los procesos cognitivos, puesto que llevan la atención visual a partes específicas de algunos estímulos que son procesados en el cerebro (Sharafi, Soh, & Guéhéneuc, 2015).

El rendimiento de los MS se evalúa midiendo la velocidad máxima, la latencia y la precisión. En general, se sabe que el sistema sacádico está respaldado por un conjunto de circuitos ampliamente distribuidos en el que participan cerebelo, tronco encefálico y campo visual cortical frontal y parietal. La velocidad de la sacada aumenta durante el pico de la niñez, seguido de una disminución con la edad que parece tener un efecto, si es mínimo, sobre la velocidad de la sacada que puede deberse a un pico en la salud física durante la adolescencia o a una ralentización del proceso básico debido al control voluntario de aspectos del comportamiento evidente en la edad adulta (Luna et al., 2008).

Los MS alcanzan velocidades entre 500° y 800° por segundo y con una latencia de 100 a 300 milisegundos, lo cual los convierte en el movimiento ocular más rápido de todos, puesto que, por el ejemplo, los movimientos de seguimiento están alrededor de 45° /segundo y en esta línea los de vergencia son del orden de los 10° /segundo y la amplitud de 15° , que suceden cuando el objeto está localizado a una distancia menor a un metro y sirven para posicionar la imagen dentro del área fovea. Sin embargo, hay que tener presente que entre dos sacadas se suceden fijaciones que están en un rango entre 200 y 600 milisegundos y su duración depende de algunos factores como la luminancia, la complejidad del área de visión y la carga cognitiva (Gila, Villanueva, & Cabeza, 2009); Kapitaniak, Walczak, Kosobudzki, Józwiak, & Bortkiewicz, 2015).

El ser humano puede modificar la amplitud y dirección, pero no así la velocidad de las sacadas, es decir, que estas no tienen una retroalimentación visual que ajuste el curso. Salvo en situaciones de fatiga, estados patológicos o en presencia de drogas se podría disminuir su velocidad (Kandel, 2000). Igualmente, **los movimientos de seguimiento y los MS** soportan el sistema visual para cumplir con sus funciones principales de generar una representación interna consciente de nuestro mundo exterior y el apoyo para la orientación de nuestras acciones motoras y movilidad. Así, los trabajos fisiológicos en el colículo superior han permitido establecer que los movimientos de seguimiento y las sacadas se interrelacionan y no son sistemas completamente independientes, logrando un control preciso de los ojos a través de la foveación de un objeto en movimiento para una mejor agudeza (Schutz, Braun, & Gegenfurtner, 2011).

El control cognitivo del movimiento de los ojos está basado en el mecanismo de recompensa que es integral para la generación de MS, las áreas relacionadas con sacadas corticales (campos ópticos frontales, prefrontal dorso-lateral e intraparietal lateral) convergen en el núcleo caudado de los ganglios basales y en el circuito de colículo superior de los ganglios basales corticales que regulan el control de la fijación y el momento de los movimientos planificados, gracias a la regulación de la inhibición tónica ejercida por la sustancia negra en el colículo superior, que es el sitio del cerebro donde se generan las sacadas. Dicha regulación es un componente crucial del control de tareas de las fijaciones y el sustrato neural para aprender dónde buscar en el contexto de una tarea presente en los ganglios basales (Hayhoe & Ballard, 2005).

Estos resultados indican que las disminuciones relacionadas con la edad en la latencia de la sacada son impulsadas por procesos que se generalizan más allá del sistema oculomotor. Tales procesos pueden reflejar la velocidad del procesamiento de la información respaldado por un procesamiento neuronal optimizado que se consigue mediante la mielinización continua. Así, los circuitos cruciales para la planificación de la respuesta y la preparación que respaldan la latencia de la respuesta pueden mostrar una maduración específica que se convierte en adulta en la adolescencia e incluye vías neocorticales a subcorticales que permiten el control del comportamiento de arriba hacia abajo, evidenciando que el pico de velocidad de la sacada en la adolescencia y la estabilización de la precisión de la sacada en la infancia indican que los procesos subcorticales todavía pueden tener cierta especialización en la infancia que afecta los mecanismos básicos (Luna et al., 2008).

Para la ciencia, los movimientos de los ojos son una herramienta que permite relacionar el cerebro con el comportamiento y el desarrollo, además de evaluar el estado de algunas estructuras cerebrales, del mismo modo que ciertas enfermedades a través de métodos oculomotores. Todo esto evidencia que el sistema oculomotor es una estructura ideal para investigar las bases neuronales del comportamiento reflexivo y voluntario, así como para caracterizar las mejoras del desarrollo en el comportamiento, en estrecha relación con los procesos cerebrales de maduración. De tal manera, el sistema oculomotor se visualiza como puente de enlace entre el cerebro y el comportamiento (Hayhoe & Ballard, 2005; Luna et al., 2008; Optican & Pretegianni, 2017).

El control voluntario de los MS es paralelo a la maduración continua dentro de la adolescencia, con relación a los procesos de poda sináptica y mielinización que apoyan la integración funcional de los sistemas prefrontales con el resto del cerebro (Luna et al., 2008).

En el área de la salud el tema ha cobrado mayor importancia desde que en 1908 un primer artículo abrió un campo en torno a las bases biológicas y los desórdenes mentales, utilizando como mención los movimientos de los ojos (Klein & Etinger, 2008). Además, los MS han servido como punto de referencia; por ejemplo, la fijación de las sacadas se ha utilizado como un biomarcador para detectar pacientes con desorden del ganglio basal que inducen dificultades en preparaciones de acciones volitivas. Para esto se ha ayudado dentro del proceso de investigación de dispositivos como el *eye tracking* (Watanabe, Matsuo, Zha, Munoz, & Kobayashi, 2013; Optican & Pretegianni, 2017).

2.2.5 Fijaciones oculares

En la porción más rostral del colículo superior se puede ver una representación de la fovea, las neuronas en las capas intermedias en esta región tienen una fuerte descarga a la fijación visual activa y antes de pequeñas sacadas contralaterales. Teniendo presente que las neuronas están activas durante la fijación visual, esta zona más rostral del colículo superior se reconoce como "zona de fijación", en este punto las neuronas inhiben las neuronas relacionadas con el movimiento en las partes más caudales del colículo y también proyectan directamente al núcleo de rafe dorsal,

donde inhiben la generación de sacadas por estímulo de las neuronas de omnipausa, las cuales a su vez inhiben las sacadas (Kandel, 2000).

Se ha planteado que las *fijaciones* poseen un mecanismo separado del correspondiente al seguimiento y que este sistema genera que el objeto se pueda mantener sobre la fovea una vez que ha llegado allí, por medio de una foveación. Sin embargo, se conoce que los ojos difícilmente se mantienen absolutamente quietos, ya que se ha observado un leve temblor en los registros en los momentos de máxima firmeza, que en la fovea puede representar una distancia aproximada de 5 micras. De igual forma, el tiempo de fijación es un espacio muy leve. En este punto se sugiere que las microsacadas reflejan la capacidad del individuo de mantener la atención sobre un objeto, al punto de que estos observadores podrían ser acostumbrados a evitar estos movimientos (Kaufman & Alm, 2004).

El sistema neuronal de fijación evita activamente que los ojos se muevan y es un sistema no tan exigido cuando estamos haciendo algo que no requiere visión. Además, se ha visto que algunos pacientes con trastornos del sistema de fijación, entre los que se encuentran aquellos con nistagmo congénito, tienen mala visión, no por anomalía en el desempeño de sus ojos, sino porque no pueden mantener sus ojos lo suficiente como para que el sistema visual funcione correctamente. Entonces, se considera que la visión es más exacta en los momentos en que los ojos están en el instante que un objeto toma nuestro interés (Kandel, 2000).

La fijación es un proceso activo para mantener enfocada la atención e inhibir movimientos inapropiados de los ojos. Esta habilidad se encuentra presente en etapas tempranas del desarrollo, pero su estabilidad y control continúa mejorando a través de la adolescencia (Luna et al., 2008). Entonces, la fijación transcurre entre dos MS, cuando el globo ocular se fija para que la fovea se enfoque en la zona de la imagen de interés y puede tener un tiempo tan corto como 100 ms en la fijación y un arco visual de 3° (Luis del Campo et al., 2015; Sharafi et al., 2015).

Las mejoras continuas en la exactitud y predicción de la búsqueda y la capacidad de suprimir la distracción para mantener la fijación reflejan todas las mejoras de sistemas más complejos que integran redes más grandes a través de la neocorteza, y se sabe que estas redes apoyan el control cognitivo en general. De esta manera, durante la adolescencia, el cerebro experimenta una especialización significativa que le permite al individuo adaptarse a su entorno particular. Comprender estos cambios en la estructura del cerebro y los períodos de plasticidad puede proporcionar una idea de los posibles fundamentos del neurodesarrollo de la psicopatología.

Los resultados mencionados en el acápite precedente indican que la transición al control a nivel del comportamiento de adultos es compatible con la capacidad de integrar eficientemente la información en todo el cerebro, lo que respaldará los cálculos complejos necesarios para el control ejecutivo de las respuestas. En conjunto, estos estudios indican que los sistemas cerebrales cruciales para ejercer control cognitivo sobre el comportamiento todavía maduran durante la

adolescencia. Un sistema inmaduro es capaz de ejercer el control cognitivo, pero no lo hace de manera consistente, sino con una flexibilidad limitada y un control motivacional; por ejemplo, el sistema de fijación visual mejora hasta la adolescencia (Luna et al., 2008). En otras palabras, las fijaciones tienen como propósito ubicar objetos de interés en la fovea donde la agudeza visual es mayor (Le & Liu, 2015).

2.2.6 Eye Tracker

Desde el siglo XVIII, con la invención del dinamómetro para medir la fuerza muscular, la evaluación física se convirtió en algo más organizado y decidido. Así, se empezó a relacionar el rendimiento atlético con las características físicas, las cuales comenzaron a considerarse, pero solo en las últimas décadas ha ido viéndose la importancia de la función visual para el logro atlético (Laby et al., 2011).

Evaluar el movimiento de los ojos en el deporte consiste en medir la latencia requerida por el sistema para reaccionar al movimiento de un objeto. Por ejemplo, los movimientos de seguimiento son capaces de seguir objetos a una velocidad de $40^\circ/\text{s}$; en cambio, las sacadas, que son movimientos balísticos, son capaces de velocidades hasta de $1000^\circ/\text{s}$, dependiendo de su tamaño. Por el contrario, la fijación es limitada por el micronistagmus que moviliza la imagen a través de la retina fotorreceptora (Hitzeman & Beckerman, 1993).

La aparición de dispositivos de seguimiento ocular a finales del siglo XIX permitió que hubiera una directa relación con la concepción sobre el vínculo entre las fijaciones, los MS, la percepción y la cognición. Una aplicación inmediata del reconocimiento de MS y fijaciones fue considerar cómo nuestra suave y continua experiencia visual podría conciliarse con un comportamiento oculomotor que se sugiere es todo menos suave y continuo. De esta forma, al rastreador ocular fotográfico le siguió una especie de revolución en la investigación del movimiento ocular y una proliferación de nuevos experimentos en este campo, así como las técnicas de fotografía fueron de las primeras utilizadas en el análisis del movimiento de los ojos. Dicho análisis, inicialmente revisó aspectos relacionados con la lectura y luego con la vista de imágenes, mostrando la relación del movimiento de los ojos con la percepción. Sin embargo, estas técnicas no resultaron tan precisas con los movimientos pequeños de los ojos (N. J. Wade & Tatler, 2005; Klein & Ettinger, 2008; Tatler et al., 2010).

En las últimas décadas, en la investigación del movimiento de los ojos se utilizó la proyección de un infrarrojo sobre la pupila para hacer seguimiento a movimientos del ojo con registros fotoeléctricos. Igualmente, en este proceso de evaluación con dispositivos para análisis del movimiento de los ojos se empleó la técnica de electrooculografía, la cual permite estimar los movimientos horizontales y verticales por diferencias de potencial. Esta técnica facilita el análisis durante el sueño, aun con los ojos cerrados, pero su principal desventaja es que no tiene la misma precisión que otras. También se han diseñado dispositivos portátiles que utilizan una cámara sobre un casco que graba simultáneamente la escena de enfrente y la reflexión corneal justo bajo el ojo,

lo que permite la exploración de movimientos de los ojos en el mundo real durante el desarrollo de actividades como conducir o jugar cricket (N. J. Wade & Tatler, 2005).

Los registros obtenidos de un *eye tracker* proveen nuevas oportunidades en diferentes campos de las investigaciones del movimiento ocular que se han orientado a la investigación psiquiátrica. En dicho ámbito se ha buscado en particular: establecer endofenotipos para su uso en estudios genéticos moleculares; investigar la pato-neurofisiología de los trastornos psiquiátricos; investigar trastornos cognitivos en pacientes psiquiátricos y, finalmente, evaluar las influencias farmacológicas en la cognición y sus correlatos neuronales (Klein & Ettinger, 2008).

El eye tracker es usado para monitorear la atención visual de los participantes, a través de la colección de datos del movimiento de los ojos que sigue a un estímulo, para de esta forma reconocer procesos cognitivos. Los valores de precisión que muestran algunos estudios entre los registros oculares y la posición real de las fijaciones, se mide en grados de ángulo visual y varían entre 0.5° y 1°. Esto quiere decir que si un participante está sentado 50 cm en frente del rastreador ocular, la posición del movimiento de los ojos se puede medir en cualquier lugar en un radio de 1 cm de las posiciones reales; igualmente, el número de movimientos de las posiciones de los ojos por segundo adecuado es de 60 Hz, salvo en estudios de lectura donde se recomienda 500 Hz (Sharafi et al., 2015).

Por otro lado, se encontraron datos sobre el amplio desarrollo que durante las últimas décadas han tenido los *sistemas informáticos*, en hardware y software, lo que ha posibilitado el procesamiento de imágenes complejas en tiempo real que permiten captar mediante videocámaras los movimientos oculares con una resolución espacial de 0,2° y frecuencias de muestreo de 1 kHz. Para esto último se ha empleado la diferencia de distancias entre el punto de reflexión de la luz infrarroja que proporcionan los diodos leds emisores de infrarrojos sobre el limbo corneal y el punto central de reflexión retiniana a través de la apertura pupilar (Gila et al., 2009).

2.2.7 El software GP3 Eye Tracker Gazepoint de 60 Hz

El GP3 Eye Traker Gazepoint de 60 Hz es un sistema completo de seguimiento ocular. El sistema lo conforman los siguientes elementos: GP3 Eye tracker, software Gazepoint Analysis Standard, SDK, demo de Fruit Ninja, código de muestra de Visual Studio, cables USB y soporte. 1 año de garantía y soporte técnico. [/ fusión builder column] [fusion_builder column type = "1_4 " last = " no "] [fusión imageframe style = " dropshadow "bordercolor (Gazepoint, 2015).



Figura 2-2 Software Gazepoint Analysis Edición UX
Fuente: sitio WEB gazept.com

Software de análisis Gazepoint (Edición UX)

Gazepoint Analysis UX Edition software de seguimiento ocular tiene todas las características de Gazepoint Analysis Professional más Think Aloud Voice y la funcionalidad de grabación de cámara web. Según el sitio Web de Gazepoint (2019), el software UX Edition incluye:

- Mapa de calor
- Camino de fijación de la mirada
- Captura de pantalla / Imagen / Video / Web Agregación de datos de múltiples usuarios
- Áreas Dinámicas de Interés (AOIs)
- Exportación de imágenes, videos y estadísticas
- Grabación de voz y webcam Think Aloud

3 Capítulo 3: Metodología de Investigación

3.1 Tipo de estudio

Experimental prospectivo de corte transversal con población finita de tenistas prejuveniles (14 a 16 años), colombianos.

3.2 Población y Muestra

Constituyeron la población objeto de estudio un total de 24 tenistas prejuveniles avanzados e intermedios que hacen parte del registro de la Federación Colombiana de Tenis, en la modalidad de jugador. Un primer grupo conformado por hombres y mujeres ubicados entre los 25 primeros lugares del ranking, a nivel federativo nacional, en la categoría de 14 a 16 años, que harán parte del grupo avanzado. El segundo grupo, lo conformaron hombres y mujeres ubicados por encima de los 100 primeros del ranking a nivel federativo nacional, en la categoría de 14 a 16 años, que conformará el grupo intermedio.

1. Selección de la muestra: por conveniencia.
2. Grupo de medición No. 1: 12 tenistas (6 hombres y 6 mujeres) entre los 25 primeros del ranking a nivel federativo nacional en la categoría 14 a 16 años, que se denominará: grupo avanzado.
3. Grupo de medición No. 2: 12 tenistas (6 hombres y 6 mujeres) ubicados en el ranking por encima de los cien primeros a nivel federativo nacional en la categoría 14 a 16 años, que se denominará: grupo intermedio.

3.3 Criterios de inclusión y exclusión

A continuación se presentan en detalle los parámetros bajo los cuales se definió la población objeto de estudio:

Tabla 3-1 *Criterios de Inclusión y Exclusión de la Población Objeto de Estudio*

PARÁMETROS DE INCLUSIÓN	PARÁMETROS DE EXCLUSIÓN
Hombres y mujeres que pertenezcan al ranking nacional de la categoría 14 a 16 años y cumplan con los parámetros de los grupos experimentales.	Presentar algún tipo de patología o enfermedad al momento de la intervención.
Sin antecedentes médicos visuales o uso de ortesis ópticas	Haber consumido algún tipo de sustancias estimulantes.
Que hayan acumulado cinco años de entrenamiento continuo con promedio de 40 horas mensuales.	No haber firmado consentimiento informado (documento anexo).
Tiempo de sueño 7 a 8 horas diarias la noche previa al experimento y en promedio.	Utilizar medicamentos de uso terapéutico.
	Ser jugador habitual de videojuegos (más de una hora diaria).

Fuente: elaboración propia.

3.4 Hipótesis

H₀ Los MS y las Fijaciones no tienen relación con el rendimiento deportivo (ranking nacional) de los tenistas prejuveniles colombianos entre los 14 y 16 años.

H₁ Los MS y las Fijaciones tienen relación con el rendimiento deportivo (ranking nacional) de los tenistas prejuveniles colombianos entre los 14 y 16 años.

Tabla 3-2 *Variables de Medición*

VARIABLE INDEPENDIENTE			
Variable	Definición conceptual	Tipo de variable	Unidad de medida
Rendimiento	Ranking logrado por deportistas a lo largo de su participación en torneos nacionales federados	Cuantitativa Ordinal- discreta	Número ordinal
VARIABLES DEPENDIENTES			
Variable	Definición conceptual	Tipo de variable	Indicador
Movimientos oculares sacádicos (MS) en forma aleatoria.	Movimientos balísticos de los ojos que se medirán con el dispositivo <i>Eye tracker</i> a través de un protocolo en forma aleatoria en rangos de 500 ms y 300 ms.	Cuantitativa continua	Milisegundos
Movimientos oculares sacádicos (MS) en forma predeterminada	Movimientos balísticos de los ojos que se medirán con el dispositivo <i>Eye tracker</i> a través de un protocolo en forma predeterminada en rangos de 500 ms y 300 ms.	Cuantitativa continua	Milisegundos
Fijaciones	Movimiento de los ojos que convergen sobre una imagen u objeto, que se medirán con el dispositivo <i>Eye tracker</i> a través de un protocolo en forma predeterminada en rangos de 500 ms y 300 ms.	Cuantitativa continua	Milisegundos

Fuente: elaboración propia.

4 Capítulo 4: Aplicación del Protocolo en Ambiente Virtual 2D

4.1 Aplicación del diseño experimental con el protocolo.

El orden en el que se aplicó el protocolo fue el siguiente:

1. 300 indeterminado
2. 300 predeterminado
3. 500 indeterminado
4. 500 predeterminado

4.1.1 Protocolo.

En la convocatoria de un evento deportivo del circuito prejuvenil (torneo avalado por la FNT), bajo los criterios de inclusión y exclusión (ver tabla 1) asistieron todos los jugadores citados de su respectiva categoría (14 a 16 años), comprendida por 6 hombres y 6 mujeres entre los 25 primeros del ranking (grupo avanzado), a nivel federativo nacional. El segundo grupo de tenistas estuvo conformado por 6 hombres y 6 mujeres cuyo ranking los ubica por encima de los cien primeros lugares a nivel federativo nacional (grupo intermedio), siendo un total de 24 tenistas, acompañados de su tutor o representante legal (Ley de Infancia y adolescencia), y una vez firmado el consentimiento informado por los padres o tutores (ver anexo B), y el asentimiento informado por parte del menor se procede a la intervención.

En un espacio cerrado y previamente acondicionado, se sometieron a una encuesta durante un espacio de tiempo de cinco a diez minutos (5-10) minutos. Tiempo, durante el cual diligenciaron los demográficos, mediante un cuestionario (Anexo A). Posteriormente los jugadores se sentaron 3 minutos donde se les informó las tareas visuales a desarrollar así: que la distancia sería de 60 cm de un monitor de 17 pulgadas de 300 puntos por pulgada (DPI), con fondo negro, en los ángulos visuales de 10° o 20°, y la tarea consistió en seguir un punto rojo (0.6° de diámetro), que iniciaba en una posición central con relación a la pantalla, a partir de la cual se desplazaría en cuatro direcciones conocidas (arriba, abajo, derecha e izquierda), pero con diferente secuencia a una distancia de 14° del centro, los jugadores deberían desarrollar cuatro actividades con una duración entre 20 a 32 segundos (Gagnon, O'Driscoll, Petrides, & Pike, 2002); (Di Russo, Pitzalis, & Spinelli, 2003); (Zhang & Watanabe, 2005); (Bibi & Edelman, 2009); (Piras et al., 2015).

Actividad 1: indeterminado 300 ms.

Se retó a los deportistas a realizar visualizaciones de un punto rojo central durante 300 ms, el cual, después, aleatoriamente se les presentó dicho punto: arriba, abajo, a la izquierda o a la derecha de la pantalla, donde duró 300 ms, retornando al centro de la pantalla donde permaneció 300 ms antes del siguiente movimiento aleatorio, continuando así sucesivamente, hasta completar 8 repeticiones de la secuencia (Gagnon et al., 2002; Di Russo et al., 2003; Zhang & Watanabe, 2005; Fehd & Seiffert, 2008; Bibi & Edelman, 2009; Palidis, Wyder-hodge, Fooker, & Spering, n.d.).

Actividad 2: predeterminado 300 ms.

Se retó a los deportistas a realizar visualizaciones de un punto rojo central durante 300 ms y posteriormente, de modo predeterminado, se mostró el objetivo en secuencia repetitiva desde el centro hacia la derecha, de vuelta al centro, luego hacia arriba, de vuelta al centro, a la izquierda, de vuelta al centro, luego hacia abajo y de vuelta al centro. Hasta completar ocho repeticiones. El objetivo permaneció 300 ms en cada una de las posiciones arriba indicadas.

Actividad 3: indeterminado 500 ms

Los deportistas fueron retados a visualizar un punto rojo central que duró 500 ms y posteriormente y de manera aleatoria se los presentó arriba, abajo, a la izquierda o a la derecha de la pantalla ese punto con duración de 500 ms y retorno al centro de la pantalla donde permaneció 500 ms antes del siguiente movimiento aleatorio. Continuando así sucesivamente para 8 repeticiones de la misma secuencia. El objetivo permaneció por 500 ms en cada una de las posiciones arriba mencionadas.

Actividad 4: predeterminado 500 ms

Se retó a los deportistas a realizar visualizaciones de un punto rojo central que durante 500 ms y después de forma determinada, el objetivo se mostró en secuencia repetitiva desde el centro hacia la derecha, de vuelta al centro, luego hacia arriba, de vuelta al centro, a la izquierda, de vuelta al centro, luego hacia abajo y de vuelta al centro. Se realizaron ocho repeticiones de la secuencia. El objetivo permaneció por 500 ms en cada una de las posiciones arriba mencionadas.

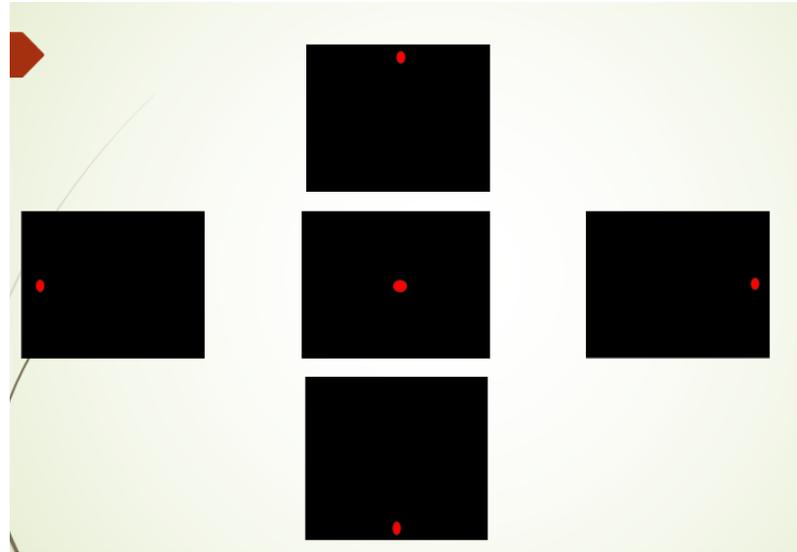


Figura 4-1 Secuencia de los movimientos de móvil en los ejes verticales y horizontales a velocidades de 300 ms y 500 ms

Fuente: elaboración propia

Al finalizar cada una de las actividades, se realizó una pausa de 5 segundos y se les ordenó a los deportistas realizar parpadeos repetidamente para disminuir su necesidad de parpadear durante el estímulo (Hirvonen et al., 2010).

La actividad visual de los sujetos es captada por conexión a un computador portátil Intel Core i5 de 8GB RAM con pantalla de fondo negro en ángulo visual de 0.50° a 1° (Zhang & Watanabe, 2005), unida a un lector de seguimiento ocular o GP3 Eye Tracker Gazepoint de 60 Hz, (Gazepoint, 2015). Además, la trayectoria ocular con su cantidad de fijaciones y duración en ms se midió con el dispositivo GP3 Eye Tracker Gazepoint de 60 Hz conectado al monitor en ángulo visual de 0.50° a 1° ; los patrones de seguimiento ocular con la cantidad de fijaciones de la mirada y duración de cada fijación se analizaron con el programa Gazepoint Pro-Versión 3.1. El cálculo de los MS se hizo off-line exportando los datos en formato CVS al programa Excel formato. XS donde el resultado se obtuvo al seleccionar las duraciones de fijación de la mirada.

4.2 Generalidades de registros y escenario.

Para la aplicación del proyecto y las correspondientes actividades de medición, fue necesario la realización de tres (3) registros en:

1. La Liga de Tennis del Atlántico, en la parada mundial juvenil.
2. El Centro de alto rendimiento de Bogotá.
3. El Centro de Compensar (calle 220 de Bogotá).

4.2.1 Acondicionamiento del escenario

Para los deportistas participantes y el investigador se adecuó un espacio cerrado (*oficina*) que previamente se oscureció con cortinas negras hasta que el punto de iluminación fuese de 1 lumens (*medición comprobada con la aplicación light sensor*), como lo muestran otros estudios. Posteriormente, sobre una mesa se ubicó un apoya mentón para que el evaluado pudiese mantener una posición fija con el cuello relajado, y a una distancia de 60 cm del apoya mentón se ubicó la pantalla de 17 pulgadas marca Acer; frente a la mesa se dispuso una silla para que el evaluado estuviese sentado durante la prueba y una vez enfrentado a la pantalla se procedió a explicarle las tareas a realizar y cómo debería desarrollarlas.

4.2.2 Instrumentos de recolección de información

Los instrumentos de recolección de información fueron:

1. Cuestionario de recolección de información demográfica (ver Anexo A).
2. Equipo de seguimiento ocular: GP3 Eye Tracker Gazepoint de 60 Hz (Vancouver – Canadá). Se filtraron los datos de las fijaciones en rangos entre 0 y 1000 ms en todos los sujetos evaluados. Los datos por fuera de este rango fueron eliminados ya que correspondían a parpadeos.
3. Computador portátil Intel Core i5 de 8GB RAM.

4.3 Procesamiento estadístico de la información

Los datos resultantes fueron tratados a la luz de las variables de medición y haciendo uso del programa Microsoft Excel y del software SPSS (versión 24).

Se realizaron los siguientes procedimientos estadísticos:

4.3.1 Estadística descriptiva

Medidas de tendencia central

1. Promedio de la cantidad y duración de las fijaciones
2. Promedio de los MS entre las fijaciones

Medidas de dispersión

1. Desviación estándar de la cantidad y duración de las fijaciones
2. Desviación estándar de los MS entre las fijaciones

4.3.2 Estadística inferencial

3. Prueba Kolmogorov-Smirnov: para la validación los supuestos, por grupo, de normalidad de los datos.
4. Test de Levene: para evaluar la homogeneidad de varianza¹.
5. Prueba t: para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de los dos grupos² bajo los siguientes parámetros:
 - Valor de p: $p < 0.05$
 - Factor de agrupación: el nivel del jugador (intermedio y avanzado).
 - Variable aleatoria: el valor reportado por cada jugador del tiempo de las fijaciones y los tiempos de los MS entre estas en la actividad respectiva.
6. Anova: para hacer un análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo.

4.4 Consideraciones legales

Por tratarse de una población objeto estudio menor de edad -14-16 años-, se siguieron y respetaron los criterios de la Ley 1098 del 8 de noviembre de 2006 de Infancia y Adolescencia. Consagrados en el artículo 7: la protección integral y en el artículo 18 el derecho a la integridad personal y en su artículo 33 el derecho a la intimidad.

De acuerdo con los principios establecidos por la Resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, la investigación se considera de riesgo mínimo, y su desarrollo se realizó con el respeto requerido y necesario por la dignidad de los pacientes evaluados. Sus datos fueron y serán tratados con absoluta confidencialidad y con la certeza de que alguno de ellos mismos podía abandonar el estudio en el momento que lo desearan. Así mismo, supieron del compromiso del investigador por entregar y ellos recibir un informe con los resultados obtenidos y la interpretación de estos. Se aplicó un tipo de informe Belmont³, acerca de principios y guías éticas para la protección de los sujetos humanos de investigación.

¹ Los resultados revelaron el cumplimiento del supuesto de normalidad para cada grupo $p > 0.05$, sin embargo, la homogeneidad no se cumplió $p < 0.05$ (ver anexo E).

² Dados los resultados obtenidos a partir de la prueba de Levene se aplicó la prueba t asumiendo desigualdad en las varianzas entre los grupos. Esta prueba requiere del supuesto de normalidad ya que es una prueba estadística paramétrica y también requiere del supuesto de heterogeneidad de varianza.

4.4.1 Consideraciones éticas

De acuerdo con los principios establecidos por la Resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, la investigación es considerada de riesgo mínimo, y su desarrollo se hará conforme al respeto por la dignidad de los pacientes evaluados, donde los datos serán tratados con total confidencialidad y mediante la cual ellos mismos pueden en cualquier momento abandonar el estudio. De la misma forma todos recibirán un informe con los resultados obtenidos.

Se aplicó el informe Belmont, acerca de principios y guías éticas para la protección de los sujetos humanos de investigación.

Consentimiento informado. Se informó a cada deportista, a sus padres o tutores sobre su participación voluntaria, que son objeto y objetivo de la investigación. También se les informaron los beneficios, intervenciones y riesgos esperados los cuales se dieron a conocer a través de un consentimiento informado (Anexo B).

Privacidad y confidencialidad de los datos. Con el fin proteger y preservar la confidencialidad de los datos personales, se realizó un registro físico (ver Anexo A) de los sujetos de investigación, a los cuales se le asignó un código alfanumérico a cada uno de los participantes del estudio para los procedimientos de tabulación y presentación de resultados.

5 Capítulo 5: Resultados y Análisis de Resultados

Los datos recopilados y tabulados con el cuestionario demográfico que fue aplicado a los dos grupos de jugadores a los que se les aplicó el test 500ms determinado e indeterminado y 300 ms determinado e indeterminado fueron resumidos, Los nombres de los jugadores se omitieron dentro de la tabla y se codificaron alfanumérico específico y datos como el género, fecha de nacimiento, años cumplidos y ranking nacional se tabularon específicamente para referencia dentro de la comparación y análisis, la demás información se encontrará en cada encuesta demográfica aplicada a los jugadores (ver Anexo A).

5.1 Resultados obtenidos con la aplicación del diseño experimental

5.1.1 Sobre las fijaciones

Estadística descriptiva

A continuación se presentan los resultados del procesamiento estadístico descriptivo de los datos obtenidos con la aplicación del diseño experimental, específicamente de la variable dependiente Fijaciones.

Tabla 5-1 *Medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (desviación estándar) de los datos obtenidos a la luz de la variable dependiente Fijaciones*

GRUPO	PROTOCOLO	N (número de jugadores)	MEDIA (expresada en milisegundos)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (expresada en milisegundos)
Ranking Intermedio	Indeterminado 300	12	584	432
Ranking Avanzado	Indeterminado 300	11	357	128
Ranking Intermedio	Indeterminado 500	12	697	672
Ranking Avanzado	Indeterminado 500	6	133	074

Ranking Intermedio	Determinado 300	12	913	705
Ranking Avanzado	Determinado 300	9	287	195
Ranking Intermedio	Determinado 500	12	270	196
Ranking Avanzado	Determinado 500	6	180	115

Fuente: elaboración propia con datos predeterminados e indeterminados 300 ms y 500 ms.

Nota 1: los totales no suman siempre el 100 por ciento de la muestra por datos perdidos en el registro.

La comparación entre las medias por grupo y por protocolo presentadas en la tabla anterior se grafican a continuación (figura 5-1):

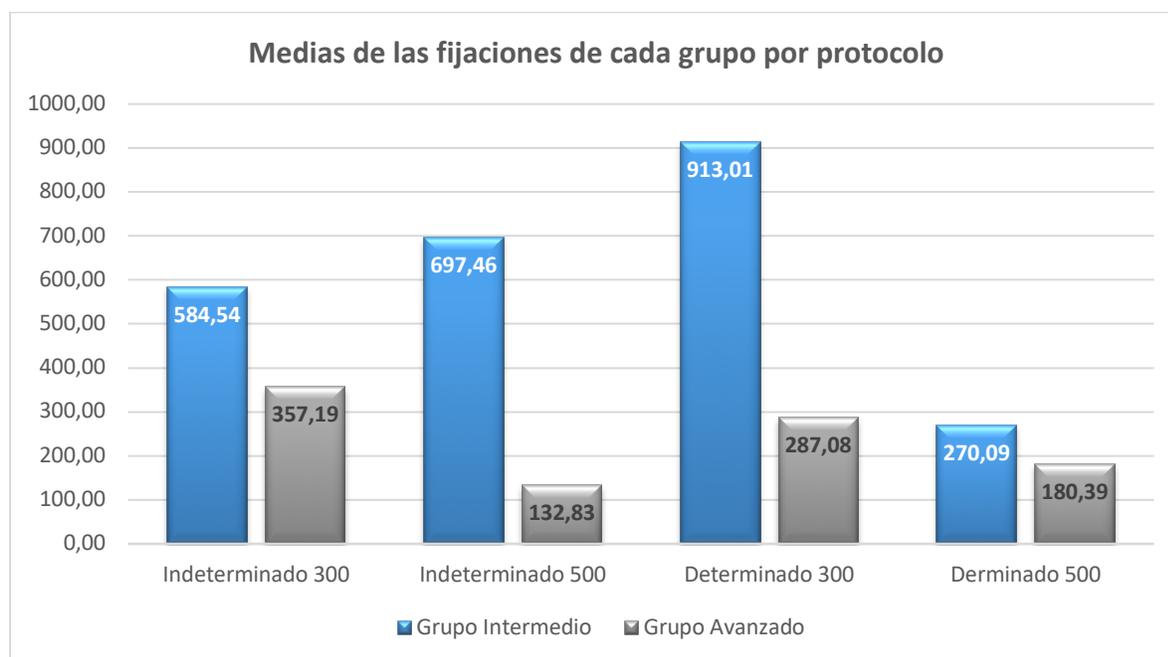


Figura 5-1 Medias de las fijaciones de cada grupo en cada protocolo
Fuente: elaboración propia

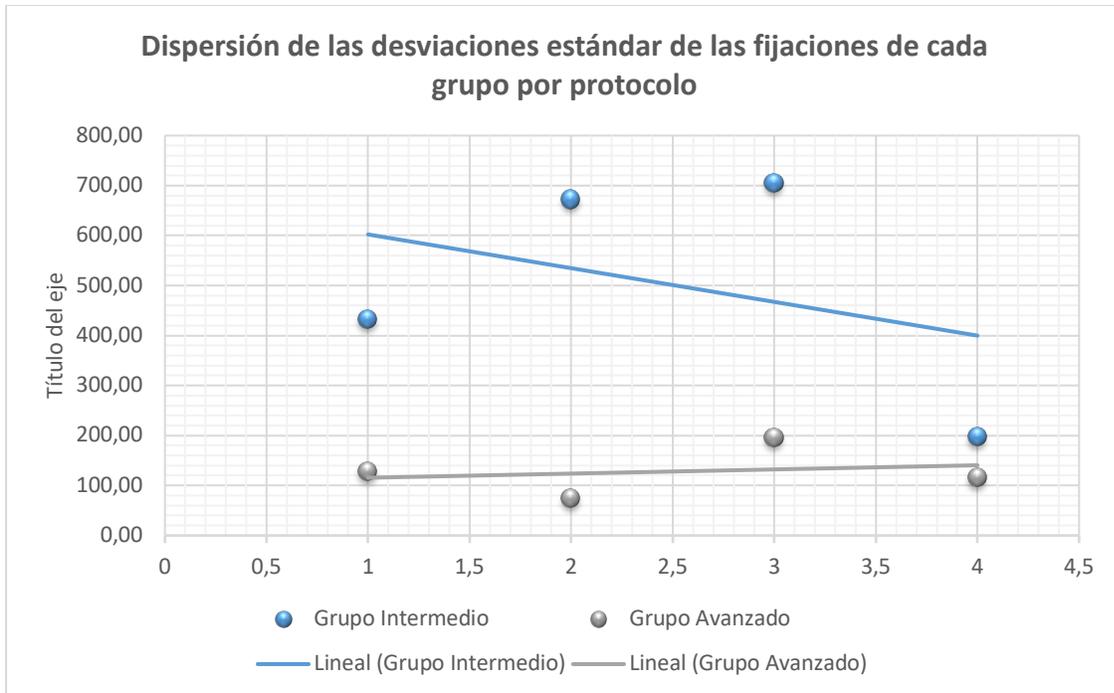


Figura 5-2 Dispersión de las desviaciones estándar de las fijaciones de cada grupo por protocolo
Fuente: elaboración propia

La tabla 5-1 y las figura 5-1 y 5-2 muestran el comportamiento de las medias y las desviaciones estándar de las fijaciones a partir de los resultados de los cuatro protocolos realizados (cuatro pares de grupos). Se observa que las medidas más bajas corresponden al grupo avanzado y que, por lo tanto, las más altas corresponden al grupo intermedio. Esto se alinea con los sustentos teóricos en términos de una menor dispersión de las fijaciones en grupos de rendimiento deportivo más alto y menores promedios de estos respecto de sus pares, cuyo rendimiento es inferior. A partir de esto, se puede inducir a que un mejor patrón motor del grupo avanzado frente al grupo intermedio, si que sea un elemento concluyente.

La comparación entre las medias por grupo y por protocolo en términos de volúmenes se grafican a continuación (figura 5-3):

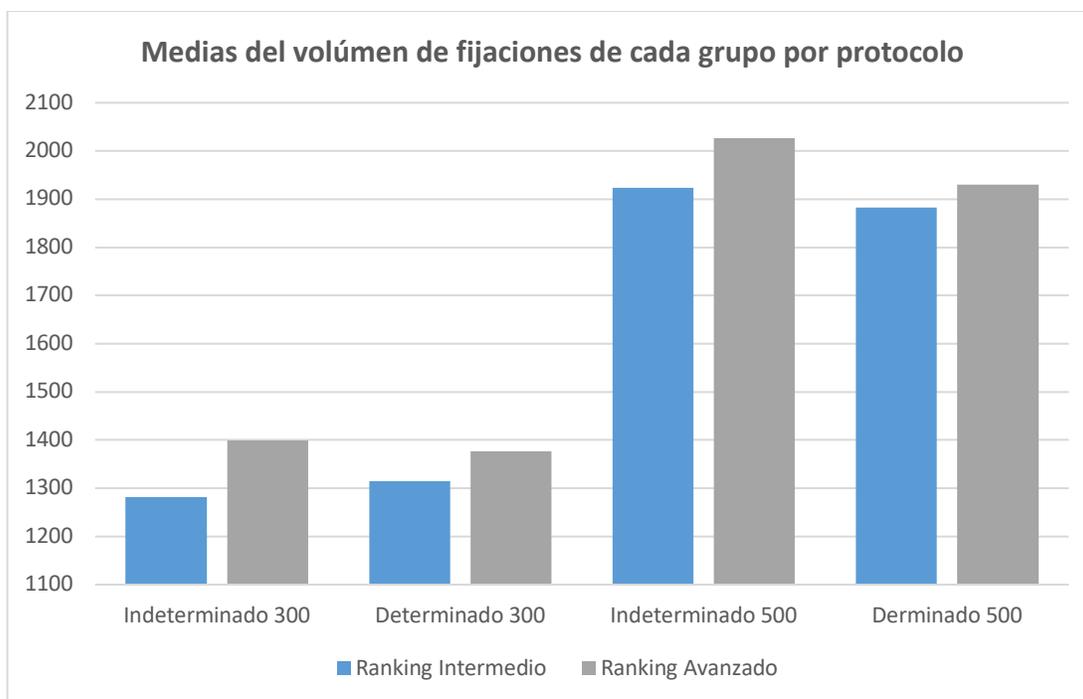


Figura 5-3 Medias del volúmen de fijaciones por actividad aplicada para cada uno de los grupos
Fuente: elaboración propia

En la figura 5-3, puede verse reflejado que el grupo avanzado tuvo mayor volumen en el promedio de sus fijaciones en los cuatro protocolos. Esto es inversamente a las medias mostradas en la tabla 5-1, en las cuales las fijaciones del grupo de ranking avanzado fueron más bajas que sus pares intermedios lo que es concordante con que el lapso fue el mismo para los dos grupos, y con promedios más bajos se realizan mayor número de estas fijaciones. A partir de esto, es de resaltar que, a través de cada una de las pruebas, cada uno de los grupos siempre evidencia un patrón, en su desempeño.

Estadística inferencial

A partir de los anteriores resultados no es posible determinar si las diferencias descritas para cada grupo son significativas, por ello se recurrió a una prueba t para muestras independientes, siendo el nivel del jugador (Intermedio y Avanzado) el factor de agrupación y la variable aleatoria el valor reportado por cada jugador en la medición respectiva.

Previo a la aplicación de la prueba t , se validaron los supuestos por grupo, de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene. Los resultados revelaron el cumplimiento del supuesto de normalidad para cada grupo $p > .05$, sin embargo, la homogeneidad no se cumplió $p < .05$ (ver anexo E). En ese sentido, se aplicó la Prueba t asumiendo desigualdad en las varianzas entre los grupos.

Tabla 5-2 Prueba *t* de muestras independientes para duración de fijaciones según los grupos

Grupo	Protocolo	t	gl	Sig.(bilateral)
I	300 indeterminado-avanzados e intermedios	1,742	13,074	0,105
II	500 indeterminado-avanzados e intermedios	2,878	11,523	0,014
III	300 predeterminado-avanzados e intermedios.	2,931	13,166	0,012
IV	500 predeterminados-avanzados e intermedios	1,219	15,327	0,241

Fuente: elaboración propia

La tabla 5.2 muestra los resultados de la Prueba *t* para muestras independientes, en ella se observa con un nivel de significación de 0.05, que las diferencias reportadas para las medias en los grupos I y IV no son significativas (las diferencias se pueden deber al azar). Entre tanto, y con el mismo nivel de significación, las medias en los grupos II y III resultaron significativas (significa que hay evidencias estadísticas de que hay una diferencia, sin embargo, no significa que la diferencia sea grande, importante o radicalmente diferente).

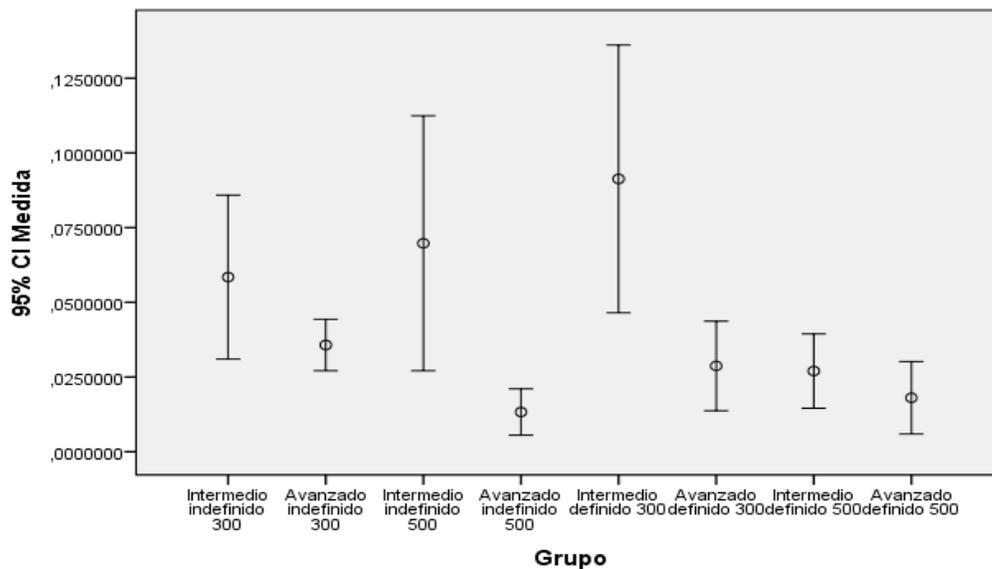


Figura 5-4 Barra de error
Fuente: elaboración propia

En la figura 5-4 se puede ver que en los grupos 300 indeterminado (tanto avanzado como intermedio), y en 500 determinado (avanzado e intermedio), se observa un solapamiento de los datos. Esto quiere decir que las medias se están solapando producto de la amplia dispersión que se encuentra en los grupos intermedios. Sin embargo, al analizar bien la gráfica, se ve reflejado que

en la medida que los jugadores de ranking intermedio realizan las pruebas, la dispersión de las medias va disminuyendo, este efecto se analizará en el siguiente apartado.

En las actividades de 300 determinado y 500 indeterminado por el contrario se observa una mayor dispersión de las medias del grupo intermedio respecto del avanzado y al igual muestran promedios más bajos en el grupo avanzado, y en este caso las medidas no se solapan como en las otras dos actividades, mostrando aquí una diferencia significativa estadísticamente.

Con el fin de contratar los resultados inferenciales anteriores sobre el volumen de las fijaciones, se hizo un análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo. Se tomaron como factores los grupos Intermedio y Avanzado y como muestras los cuatro protocolos. Los resultados se muestran en la tabla 5-3.

Tabla 5-3 *Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo*

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
RESUMEN	300 I	300 D	500 I	500 D	Total	
<i>1 Intermedio</i>						
Cuenta	12	12	12	12	48	
Suma	15386	15941	23083	22588	76998	
Promedio	1282,166667	1328,416667	1923,583333	1882,333333	1604,125	
Varianza	64368,87879	40305,35606	150259,3561	187069,8788	195139,3032	
<i>2 Avanzado</i>						
Cuenta	12	12	12	12	48	
Suma	16797	12231	14186	11579	54793	
Promedio	1399,75	1019,25	1182,166667	964,9166667	1141,520833	
Varianza	12951,65909	379255,2955	1112280,879	1051012,083	627323,0208	
<i>Total</i>						
Cuenta	24	24	24	24		
Suma	32183	28172	37269	34167		
Promedio	1340,958333	1173,833333	1552,875	1423,625		
Varianza	40586,12862	225594,4058	747223,2446	811687,8967		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>medio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	5136062,76	1	5136062,76	13,70757487	0,000371964	3,949321007
Columnas	1814683,448	3	604894,4826	1,614395461	0,191762776	2,708186474
Interacción	3868508,531	3	1289502,844	3,441538314	0,020185631	2,708186474
Dentro del grupo	32972537,25	88	374687,9233			
Total	43791791,99	95				

Fuente: elaboración propia

A partir del análisis de la varianza presentado en la tabla 5-3, se encuentra que para la muestra el valor estadístico de la prueba $F=13.71$ es significativamente lejano a 1 para cualquier nivel de significación, por lo tanto, se rechaza la igualdad de medias. Así mismo, el efecto de la interacción, $F=3,44$ no alcanza significación estadística.

5.1.2 Sobre los movimientos oculares sacádicos (MS) en forma aleatoria y en forma predeterminada

No fue posible obtener datos puntuales de los movimientos oculares sacádicos, ni en forma aleatoria, ni en forma predeterminada con la metodología utilizada; por lo tanto, esas dos variables dependientes no toman valores en este estudio.

5.2 Discusión

Como los autores Roetert et al. (1992); Kovacs (2006); Girard y Millet (2009); Lidor et al., (2009); Fernandez et al. (2009); Torres-Luque, Sánchez-Pay, Belmonte, y Ramón Moya (2011), han intentado develar la relación entre el rendimiento deportivo y las habilidades motrices; sin embargo, encontraron que no hay correspondencia entre estas y el ranking de los jugadores. Así, mismo, autores como Kramer et al., (2017) no encontraron resultados contundentes entorno a la maduración, el desempeño físico y la edad con relación al rendimiento, siendo del interés de este estudio, lo relacionado con el desempeño físico. A partir de lo anterior, Le Runigo y colaboradores (2010), estudiaron a un grupo de tenistas respecto de pares sin ninguna experiencia deportiva en deportes de raqueta en ambiente de laboratorio, y encontraron que la “intercepción simulada de tareas” con cambios de dirección sorpresivos, se puede tomar como un razonable predictor de experticia.

El presente estudio se enfocó en la comparación de las fijaciones y de los MS en un ambiente virtual 2D con el rendimiento de tenistas. Confrontando el análisis descriptivo se evidencia -tal como muestra la figura 5-3-, que sí hubo un patrón de comportamiento visual de los tenistas de ranking avanzado, permitiendo concluir que los tenistas avanzados tienen un número más alto de fijaciones en todas las actividades desarrolladas dentro del protocolo virtual 2D planteado, del cual hay que resaltar que sucedió para cada actividad dentro del mismo intervalo de tiempo de 300 y 500 ms respecto a los tenistas de ranking intermedios. A partir de estas diferencias encontradas se pudo evidenciar que necesariamente los jugadores de mejor ranking muestran menor dispersión de las fijaciones y mayor número de estas, evidenciando mejor adaptación al contexto porque el protocolo virtual 2D no fue conocido por ningún jugador previo al registro y no correspondía con la actividad deportiva, con el objeto de evitar procesos cognitivos de anticipación.

Los hallazgos en torno a la dispersión de las fijaciones (tabla 5-1 y figura 5-2) ratifica el hecho que postulan algunos autores, de que el control de la mirada es fundamental en destrezas que requieran una selección precisa de las señales dentro de restricciones temporales y así plantearlo como una característica del rendimiento perceptivo motor (Wilson et al., 2013; Vine et al., 2014). De acuerdo con esto, el análisis de la dispersión de las desviaciones mostrada por cada uno de los grupos en las actividades realizadas, como se pueden ver en la tabla 3, nos arroja un patrón visual de ortoforia, presentada por los jugadores de ranking avanzado, respecto de los de ranking intermedio, que es consistentemente encontrado en otros estudios donde una menor dispersión de las fijaciones evidencia un mejor desempeño deportivo (Craybiel et al., 1955;

Jafarzadehpur & Yarigholi, 2004; Quevedo et al., 2014), y así mismo Zwiwko y col. 2015 señalan que el desarrollo de la función de visión binocular tiene un efecto positivo sobre el rendimiento de las habilidades motoras, ya que individuos con una baja visión binocular tienen mayores errores en tareas de atrapar pelotas.

Como se ha documentado acerca de los deportes de raqueta, los jugadores tienen menos de 400 ms para predecir e iniciar ciertas acciones técnicas de acuerdo a su estrategia visual, generando una demanda perceptiva visual muy alta (McLeod, 1987; Ripoll, 1989; Abernethy et al., 1999; Menayo et al., 2004; Triolet et al., 2013); tales tiempos son cercanos a los encontrados en los resultados, donde los promedios de las fijaciones (Ver Tabla 5.1), muestran el corto tiempo de procesamiento que fue usado por los jugadores retados con el protocolo virtual 2D para la toma de las decisiones consistentes en seguir de forma aleatorio y predeterminada el móvil presentado, que refleja la necesidad de un mejor desempeño de las fijaciones, y es comparable al ranking de los jugadores del grupo avanzado, por las demandas exógenas de la disciplina.

Igualmente, al encontrarse tiempos de fijaciones más cortos (Ver Tabla 5.1), en los jugadores de ranking avanzado, respecto de sus pares intermedios, se puede deducir una habilidad en los tiempos de respuesta más rápidos del grupo avanzado frente al intermedio, elemento que se ha visto constatado asimismo con otros autores (Mann et al., 2007).

Al seguir en el análisis de las desviaciones estándar de las fijaciones (ver tabla 3), se encontró en todas las actividades experimentales, que hay menores dispersiones de las fijaciones en los jugadores de ranking avanzado respecto a los de ranking intermedio; estos valores de dispersión más bajos se reportan como un posible efecto del mayor dominio por la madurez del sistema oculomotor cuando hay tareas asignadas (Luna et al., 2008). Por tanto, de forma relevante se destaca que este “índice descriptivo” de la dispersión de las fijaciones hace ver que los jugadores de ranking avanzado podrían contar con una mayor madurez neural que le daría la habilidad para integrar información, justo como sucede en la vida adulta y que al recordar que los sujetos de estudios son del grupo etario prejuvenil, se sugiere a su vez que aquellos jugadores de ranking intermedio dicha madurez neural aún no se ha optimizado.

En concordancia con Le Runigo y colaboradores (2010), donde los jugadores de ranking avanzado, muestran una mejor capacidad de ajustar sus movimientos al patrón del punto mostrado sobre la pantalla mucho antes que sus pares intermedios (ver figura 5), ya que las desviaciones estándar de las fijaciones muestran una menor dispersión; los autores reseñados complementan en su estudio, con el pico de velocidad de la mano, encontrando diferencias de 1.97 frente a 1.56 m/s, entre los grupos analizados; arrojando una alta coordinación entre la aferencias visuales con la eferencia motora involucrada en la acción; hecho que también fue constatado en otro estudio (Hayhoe y Ballard, 2005), lo que razonablemente permite exponer que un mejor desempeño visual se relaciona con una mejor respuesta técnica (Maman et al., 2011; Jafarzadehpur & Yarigholi, 2004; Overney, Blanke, & Herzog, 2008).

En cuanto al valor del protocolo virtual 2D ejecutado, Luis del Campo y colaboradores (2015), encuentran unos tiempos de fijación alrededor de 202.57 ms en tenistas de nivel intermedio, resultados que son ligeramente diferentes a las fijaciones encontradas en este estudio (Ver Tabla 3); debido tal vez a el tipo de protocolo 2D utilizado; sin embargo el autor también ratifica que los escenarios 2D no difieren de los 3D para el entrenamiento visual ya que no encontró diferencias significativas en la efectividad de la respuesta pues los porcentajes de desempeño fueron muy similares. De la misma forma otras investigaciones igualmente ratifican la superioridad del grupo experto respecto de un grupo de novatos tanto en laboratorio como en campo (McLeod, 1987 & Abernethy, 1990); reafirmando que el laboratorio puede ser un escenario valido para la evaluación deportiva. Sin embargo y en contraposición, otros estudios como los de Féry & Crognier (2001) y Mann y Cols (2007), enfatizan acerca de la necesidad de evaluar sobre ambientes reales de juego.

En línea con lo anterior, otros trabajos también han registrado la anticipación sobre situaciones inherentes del deporte (Abernethy, 1988; Abernethy, 1990; Féry & Crognier, 2001; Piras et al., 2015; Alexandru y Lorand, 2015); estos arrojaron como resultado un menor número de fijaciones y un mayor tiempo de estas (Mann et al., 2007; Wilson et al., 2013), aquí se evidencio que las fijaciones tuvieron menor tiempo, y de la misma forma como se muestra en la tabla 5-1, mayor cantidad de fijaciones en el grupo de ranking avanzado, respecto de sus pares intermedios, dado la exposición del estímulo (que no tenía relación con el deporte); con esto se puede asumir que se da a nivel cognitivo un proceso de extrapolación de las habilidades visuales desarrolladas dentro de la práctica deportiva. Habría la necesidad de evaluar a los jugadores también en un ambiente de competencia (Ripoll, 1989); para determinar cómo se manifiestan las fijaciones y los MS, en el escenario real.

Reforzando lo anterior, se entiende que el jugador de tenis tiene un entrenamiento perceptual implícito que mejora con la práctica, y este tipo de adiestramiento tiene un efecto sobre la anticipación (Goulet et al., 1989; Abernethy, 1990; Farrow & Abernethy, 2002; Hernández et al., 2006 Triolet et al., 2013). Sin embargo, las tareas desarrolladas en este estudio evidencian que además de generarse una estrategia visual (Bahill & LaRitz, 1984; Goulet et al., 1989; Moreno Hernández et al., 2005; Postma, Rob Den Otter, & Zaal, 2014), también el grupo de jugadores avanzados posee un mayor control de aparato visual evidenciado en el análisis de la dispersión de las fijaciones mostrada por los grupos en la figura 5 puesto que las actividades desarrolladas no tenían relación con ejecuciones técnicas del deporte; por lo tanto, en concordancia con Triolet y colaboradores (2013), la anticipación no siempre se utiliza dentro del desempeño deportivo del tenis. En definitiva estos deportistas requieren una mejor visión deportiva para lograr altos desempeños (Chang et al., 2015).

Al encontrar tiempos de respuesta cercanos mas no iguales, en cada uno de los grupos experimentales, nos indica que cada jugador aparentemente tiene su propio mecanismo de respuesta y que es capaz de adaptarlos a las demandas del ambiente, en concordancia con los otros hallazgos (Aviles et al., 2002; Carboch et al., 2014; Filipčič, Leskošek, Munivrana, Ochiana, y Filipčič, 2017).

Finalmente, Zhang & Watanabe (2005) encuentran en deportistas mejor desempeño de los grupos evaluados con el mismo protocolo en las actividades predeterminadas respecto de las actividades indeterminadas. Pero en este estudio al encontrar significancia en la prueba t ($p < .05$) de la tabla 4, en solo dos de las cuatro actividades, no fue posible constatar esta evidencia. Sin embargo, Gagnon y colaboradores (2002), manifiestan que en deportistas hay una activación mayor o menor, en diferentes estructuras del cerebro, dependiendo del <<dónde>> y <<cuándo>>, y si es predecible o impredecible la tarea cognitiva, confirmando que existe una disociación subcortical a los eventos.

6 Capítulo 6: Conclusiones

A partir del modelo experimental utilizado se puede concluir que en las actividades 2D de 300 determinado y 500 indeterminado, fueron las que permitieron hallar diferencias significativas entre los grupos evaluados entorno al comportamiento de las fijaciones.

Con respecto a los MS, no podemos concluir finalmente ningún elemento dentro del tipo de experimento realizado que nos permita emitir algún juicio, ya que no se logra realizar una medición objetiva de estos con la metodología utilizada.

De las actividades realizadas en el protocolo 2D con móvil de forma determinada e indeterminada, se encontró que las fijaciones mostraron diferencias en su comportamiento entre cada uno de los grupos en donde los del grupo de ranking avanzado evidenciaron menor dispersión y mayor cantidad en cada una de las actividades, lo que define un patrón visual claro de un grupo respecto del otro, permitiendo sugerir un “índice descriptivo” que define la superioridad de un grupo respecto del otro en los resultados del protocolo.

6.1 Recomendaciones

La muestra podría aumentarse para tener un mejor análisis o por lo menos uno más robusto que permita ser un poco más contundente en los resultados que se obtengan; al igual que de ser posible, realizar unas mediciones que incluya un ranking internacional y que sea longitudinal para confrontar los resultados con el futuro rendimiento deportivo, traducido en éxito deportivo.

Además del ranking, el volumen de entrenamiento y el rango de edad, sería importante tener un elemento adicional en los criterios de inclusión y exclusión, con respecto al volumen de participación en torneos, que permita igualar aún más las condiciones del sujeto evaluado respecto

de sus pares, ya que la experiencia competitiva puede ser un parámetro diferenciador en los resultados.

6.2 Limitaciones

Una primera limitación tuvo lugar en el registro de la información y obedeció al hecho de que, en el momento del registro, el jugador debe apoyar el mentón en el artefacto al exponerse a un lumen de iluminación, la luz infrarroja que proyecta el dispositivo GP3 Eye Tracker Gazepoint de 60 Hz hizo interferencia con el marco de aluminio del apoya mentón, lo que genero errores del registro de algunos individuos los cuales fueron descartados dentro del análisis puesto que no corresponden con un registro real. Esto generó que las muestras fueran diferentes en cada grupo y por esta razón se utilizó una estadística para muestras independientes. Esto, particularmente, ocurrió con jugadores del grupo avanzado y por esta razón en este grupo la muestra no fue igual a la del grupo intermedio. Vale la pena mencionar que un mejor control del parpadeo por parte de los jugadores a lo largo de la prueba hubiese disminuido la supresión de registros.

Por otra parte, al ser un tema nuevo en Colombia, tanto jugadores como entrenadores y padres no le dieron la importancia suficiente al estudio y esto dificultó la recolección de datos ya que fue complejo llegar a acuerdos con los jugadores objeto de la investigación sobre espacios y tiempos para desarrollar las actividades correspondientes. A esto se adiciona el hecho de que estos últimos fueran de diferentes ciudades y no todos acuden a los mismos torneos. Igualmente, la toma de datos en competencia fue difícil de realizar puesto que la prioridad de los jugadores es su participación en el torneo.

7 Referencias

- Abernethy, B. (1988). The Effects of Age and Expertise upon Perceptual Skill Development in a Racquet Sport. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59(3), 210-221.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1988.10605506>
- Abernethy, B. (1990). Expertise, Visual Search, and Information Pick-Up in Squash. *Perception*, 19(1), 63-77. <https://doi.org/10.1068/p190063>
- Abernethy, B., Wood, J. M., & Parks, S. (1999). Can the Anticipatory Skills of Experts Be Learned by Novices? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70(3), 313-318.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1999.10608050>
- Alderson, G. J. K., & Whiting, H. T. A. (1974). Prediction of Linear Motion. *Human Factors*, 16(5), 495-502. <https://doi.org/10.1177/001872087401600507>
- Alexandru, M. A., & Lorand, B. (2015). Motor Behavior and Anticipation - A Pilot Study of Junior Tennis Players. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 187, 448-453.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.03.084>
- Alexandru, M. A., Ruxandra, R., & Carmen, G. G. (2014). Predictors of Tennis Performance of Junior Players. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 5169-5174.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1094>
- Alvis-Gómez, K., & Pulzara-Tiara, A. (2013). Discriminación auditiva, exploración visual y desarrollo del esquema corporal y espacial en tenistas y no practicantes de deporte. *Revista de La Facultad de Medicina*, 61(4), 395-403. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-00112013000400009&lang=pt
- Ando, S., Kida, N., & Oda, S. (2001). Central and Peripheral Visual Reaction Time of Soccer Players and Nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 92(3), 786-794.
- Aviles, C., Benguigui, N., Beaudoin, E., & Godart, F. (2002). Developing Early Perception and Getting Ready for Action on the Return of Serve. *Coaching & Sport Science Review*, (28), 6-8. Retrieved from <http://articles.sirc.ca/search.cfm?id=S-877203%5Cnhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=SPHS-877203&lang=pt-br&site=ehost-live>

- Bahill, A. T., & LaRitz, T. (1984). Why Can't Batters Keep Their Eyes on the Ball? *American Scientist*, 72(3), 249-253.
- Bane, M. K., Reid, M., & Morgan, S. (2014). Has Player Development in Men's Tennis Really Changed? An Historical Rankings Perspective. *Journal of Sports Sciences*, 32(15), 1477-1484. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2012.05.002>
- Barret, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., & Brooks, H. L. (2010). *Ganong Fisiologia Medica*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Becker, W., & Jürgens, R. (1979). An Analysis of the Saccadic System by Mans of Double Step Stimli. *Vision Research*, 19(1974), 967-983.
- Benguigui, N., & Ripoll, H. (1998). Effects of Tennis Practice on the Coincidence Timing Accuracy of Adults and Children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3), 217-223. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607688>
- Bibi, R., & Edelman, J. A. (2009). The Influence of Motor Training on Human Express Saccade Production. *Journal of Neurophysiology*, 102(6), 3101-3110. <https://doi.org/10.1152/jn.90710.2008>
- Bortoletto, M., & Cunnington, R. (2010). Motor Timing and Motor Sequencing Contribute Differently to the Preparation for Voluntary Movement. *NeuroImage*, 49(4), 3338-3348. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.11.048>
- Braddick, O., & Atkinson, J. (2011). Development of Human Visual Function. *Vision Research*, 51(13), 1588-1609. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.02.018>
- Brouwers, J., De Bosscher, V., & Sotiriadou, P. (2012). An Examination of the Importance of Performances in Youth and Junior Competition as an Indicator of Later Success in Tennis. *Sport Management Review*, 15(4), 461-475. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2012.05.002>
- Carboch, J., Süß, V., & Kocib, T. (2014). Ball Machine Usage in Tennis: Movement Initiation and Swing Timing While Returning Balls from a Ball Machine and from a Real Server. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(2), 304-308.
- Chang, S.-T., Liu, Y.-H., Lee, J.-S., & See, L.-C. (2015). Comparing Sports Vision among Three Groups of Soft Tennis Adolescent Athletes: Normal Vision, Refractive Errors with and without Correction. *Indian Journal of Ophthalmology*, 63(9), 716-721. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.170974>
- Craybiel, A., Jokl, E., & Trapp, C. (1955). Russian Studies of Vision in Relation to Physical Activity and Sports. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 26(4), 480-485. <https://doi.org/10.1080/10671188.1955.10612840>
- Delpont, E., Dolisi, C., Suisse, G., Bodino, G., & Gastaud, M. (1991). Visual Evoked Potentials: Differences Related to Physical Activity. *International Journal of Sports Medicine*, 12(03), 293-298. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024684>
- Di Russo, F., Pitzalis, S., & Spinelli, D. (2003). Fixation Stability and Saccadic Latency in Elite Shooters. *Vision Research*, 43(17), 1837-1845. <https://doi.org/10.1016/S0042->

6989(03)00299-2

- Di Stasi, L. L., Catena, A., Cañas, J. J., Macknik, S. L., & Martinez-Conde, S. (2013). Saccadic Velocity as an Arousal Index in Naturalistic Tasks. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(5), 968-975. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.03.011>
- Doyne, R. W. (1910). "Eye" in Sport. *British Medical Journal*, 1, 1960-1963.
- Farrow, D., & Abernethy, B. (2002). Can Anticipatory Skills Be Learned through Implicit Video Based Perceptual Training? *Journal of Sports Sciences*, 20(6), 471-485. <https://doi.org/10.1080/02640410252925143>
- Fehd, H. M., & Seiffert, A. E. (2008). Eye Movements during Multiple Object tracking: Where do Participants Look? *Cognition*, 108(1), 201-209. <https://doi.org/10.1038/nrm2621>
- Fernandez-Fernandez, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2014). Fitness Testing of Tennis Players: How Valuable Is it? *British Journal of Sports Medicine*, 48(Suppl 1), i22-i31. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093152>
- Fernandez, J., Sanz, D., & Mendez, A. (2009). A Review of the Activity Profile and Physiological Demands of Tennis Match Play. *Strength and Conditioning Journal*, 31(4), 15-26. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181ada1cb>
- Féry, Y.-A., & Crognier, L. (2001). On the Tactical Significance of Game Situations in Anticipating Ball Trajectories in Tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72(2), 143-149. <https://doi.org/10.1080/02701367.2001.10608944>
- Filipic, A., Leskosek, B., & Filipic, T. (2017). Split-Step Timing of Professional and Junior Tennis Players. *Journal of Human Kinetics*, 55(1), 97-105. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0009>
- Filipčič, A., Leskošek, B., Munivrana, G., Ochiana, G., & Filipčič, T. (2017). Differences in Movement Speed before and after a Split-Step between Professional and Junior Tennis Players. *Journal of Human Kinetics*, 55(1), 117-125. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0011>
- Gagnon, D., O'Driscoll, G. A., Petrides, M., & Pike, G. B. (2002). The Effect of Spatial and Temporal Information on Saccades and Neural Activity in Oculomotor Structures. *Brain*, 125(1), 123-139. <https://doi.org/10.1093/brain/awf005>
- Gazzaniga, M. S. (2000). *The New Cognitive Neurosciences*. The MIT Press.
- Giblin, G., Whiteside, D., & Reid, M. (2017). Now You See, Now You Don't ... The Influence of Visual Occlusion on Racket and Ball Kinematics in the Tennis Serve. *Sports Biomechanics*, 16(1), 23-33. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1179337>
- Gila, L., Villanueva, A., & Cabeza, R. (2009). [Physiopathology and recording techniques of the ocular movements]. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 32 (Suppl 3), 9-26.
- Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Physical Determinants of Tennis Performance in Competitive Teenage Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1867-1872.
- Goldberg, S. J., & Shall, M. S. (1999). Motor Units of Extraocular Muscles: Recent Findings.

- Progress in Brain Research*, 123, 221-232.
- Goulet, C., Bard, C., & Fleury, M. (1989). Expertise Differences in Preparing to Return a Tennis Serve: A Visual Information Processing Approach. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 11(4), 382-398.
- Hammami, R., Behm, D. G., Chtara, M., Othman, A. Ben, & Chaouachi, A. (2014). Comparison of Static Balance and the Role of Vision in Elite Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 41(1), 33-41. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0030>
- Haskins, M. J. (1968). Adaptation of Response-Recognition Training Film for Use in the Classroom. *Perceptual and Motor Skills*, 26(3), 1029-1030.
- Hayhoe, M., & Ballard, D. (2005). Eye Movements in Natural Behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(4), 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.02.009>
- Hepp, K., & Henn, V. (1986). Extraocular Motoneuron Behavior in Synergistic Action. *Progress in Brain Research*, 64(C), 31-38. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)63397-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)63397-X)
- Hernández Hernández, M. E., Sicilia Oña, A., & Espa Ureña, A. (2006). La anticipación como proceso perceptivo motor que interviene en el aprendizaje de las habilidades abiertas. *Publicaciones*, 36, 135-148.
- Hirvonen, K., Puttonen, S., Gould, K., Korpela, J., Koefoed, V. F., & Müller, K. (2010). Improving the Saccade Peak Velocity Measurement for Detecting Fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*, 187(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.01.010>
- Hitzeman, S. A., & Beckerman, S. A. (1993). What the Literature Says about Sports Vision. *Optometry Clinics : The Official Publication of the Prentice Society*, 3, 145-169. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8324322>
- Hülsdünker, T., Strüder, H. K., & Mierau, A. (2016). Neural Correlates of Expert Visuomotor Performance in Badminton Players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2125-2134. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001010>
- Jafarzadehpur, E., & Yarigholi, M. R. (2004). Comparison of Visual Acuity in Reduced Luminance and Facility of Ocular Accommodation in Table Tennis Champions and Non-Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(1), 44-48.
- Junyent Quevedo, L., Ferran Castañé, M., Fortó Solé, J., & Torradeflot Cardona, G. (2014). Estudio de la función visual de una población de deportistas de élite. / Study of Visual Function in a Population of Elite Athletes. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 2(116), 69-79. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=109373663&lang=pt-br&site=ehost-live>
- Kandel, E. R. (2000). *Principles of Neural Science* (4th ed.). Maidenhead, United States: McGraw-Hill Education - Europe, Appleton & Lange.
- Kapitaniak, B., Walczak, M., Kosobudzki, M., Józwiak, Z., & Bortkiewicz, A. (2015). Application of Eye-Tracking in the Testing of Drivers: A Review of Research. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 28(6), 941-954.

<https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00317>

- Kaufman, P. L., & Alm, A. (2004). *ADLER. Fisiología del ojo aplicación clínica*. Madrid: Elsevier.
- Klein, C., & Ettinger, U. (2008). A Hundred Years of Eye Movement Research in Psychiatry. *Brain and Cognition*, 68(3), 215-218. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.012>
- Koeppen, B. M. (2009). *Berne y Levy Fisiología*. Elsevier.
- Kovacs, M. S. (2006). Applied Physiology of Tennis Performance. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 381-386. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.023309>
- Kovacs, M. S. (2007). Tennis Physiology. *Sports Medicine*, 37(3), 189-198. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737030-00001>
- Kovacs, M. S., Mundie, E., Eng, D., Bramblett, J., Kovacs, M. J., & Hosek, R. (2015). How Did the Top 100 Professional Tennis Players (ATP) Succeed: an Analysis of Ranking Milestones. *Journal of Medicine and Science in Tennis*, 20(2), 50-57.
- Kramer, T., Huijgen, B. C. H., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2017). Prediction of Tennis Performance in Junior Elite Tennis Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(1), 14-21.
- Laby, D. M., Kirschen, D. G., & Pantall, P. (2011). The Visual Function of Olympic-Level Athletes - An Initial Report. *Eye & Contact Lens*, 37(3), 116-122. <https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e31820c5002>
- Le, O., & Liu, Z. (2015). Saccadic Model of eye Movements for Free-Viewing Condition Q. *Vision Research*, 116, 152-164. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.12.026>
- Le Runigo, C., Benguigui, N., & Bardy, B. G. (2010). Visuo-Motor Delay, Information-Movement Coupling, and Expertise in Ball Sports. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 327-337. <https://doi.org/10.1080/02640410903502782>
- Lidor, R., Côté, J., & Hackfort, D. (2009). ISSP Position Stand: To Test or Not to test? The Use of Physical Skill Tests in Talent Detection and in Early Phases of Sport Development. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 7(2), 131-146. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2009.9671896>
- Lima, C. F., Krishnan, S., & Scott, S. K. (2016). Roles of Supplementary Motor Areas in Auditory Processing and Auditory Imagery. *Trends in Neurosciences*, 39(8), 527-542. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.06.003>
- Luisl del Campo, V., Reina Vaíllo, R., Sabido Solana, R., & Moreno Hernández, F. J. (2015). Diferencias en el comportamiento visual y motor de tenistas en laboratorio y en pista de tenis. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 47(2), 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.rlp.2015.05.003>
- Luna, B., Velanova, K., & Geier, C. F. (2008). Development of Eye-Movement Control. *Brain and Cognition*, 68(3), 293-308. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.019>
- Maman, P., Gaurang, S., & Jaspal, S. (2011). The Effects of Vision Training on Performance in

- Tennis Players. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 5(1), 11-16.
<https://doi.org/10.4324/9780203123355.ch23>
- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29(4), 457-478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 229-240 .
<https://doi.org/10.1038/nrn1348>
- McLeod, P. (1987). Visual Reaction Time and High Speed Ball Games. *Perception*, 16(1), 49-59. <https://doi.org/10.1068/p160049>
- Menayo, R., Fuentes, J. P., Luis, V., & Moreno, F. J. (2004). Aplicación de un protocolo automatizado para el análisis de los parámetros temporales de la respuesta de reacción en jugadores de tenis durante la ejecución de split-step y volea. *European Journal of Human Movement*, 12(95), 113.
- Mohammadi, S. F., Amiri, M. A., Naderifar, H., Rakhshi, E., Vakilian, B., Ashrafi, E., & Behesht-Nejad, A. H. (2016). Vision Examination Protocol for Archery Athletes along with an Introduction to Sports Vision. *Asian Journal of Sports Medicine*, 7(1), 1-9.
<https://doi.org/10.5812/asjasm.26591>
- Moreno Hernández, F. J., Reina Vaíllo, R., Luis, V., Salgado, F., & García, J. A. (2005). Visual Behavior and Perception of Trajectories of Moving Objects With Visual Occlusion. *Perceptual and Motor Skills*, 101(1), 13-20. <https://doi.org/10.2466/PMS.101.5.13-20>
- Moreno Hernández, F. J., Reina Vaíllo, R., Sanz Rivas, D., & Ávila Romero, F. (2002). Las estrategias de búsqueda visual de jugadores expertos de tenis en silla de ruedas. *Revista de Psicología Del Deporte*, 11(2), 197-208.
- Munivrana, G., Filipčić, A., & Filipčić, T. (2015). Relationship of Speed, Agility, Neuromuscular Power, and Selected Anthropometrical Variables and Performance Results of Male and Female Junior Tennis Players. *Collegium Antropologicum*, 39 (Suppl 1), 109-116. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26434018>
- Murray, N. P., & Hunfalvay, M. (2017). A Comparison of Visual Search Strategies of Elite and Non-Elite Tennis Players through Cluster Analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(3), 241-246. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1161215>
- Myburgh, G. K., Cumming, S. P., Coelho E. Silva, M., Cooke, K., & Malina, R. M. (2016). Growth and Maturity Status of Elite British Junior Tennis Players. *Journal of Sports Sciences*, 34(20), 1957-1964. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1149213>
- Nassi, J. J., & Callaway, E. M. (2009). Parallel Processing Strategies of the Primate Visual System. *Nature Reviews Neuroscience* 10(5), 360-372.
<https://doi.org/10.1038/nrn2619.Parallel>
- Optican, L. M., & Pretegianni, E. (2017). A GABAergic Dysfunction in the Olivary-Cerebellar-Brainstem Network May Cause Eye Oscillations and Body Tremor. II. Model Simulations of Saccadic Eye Oscillations. *Frontiers in Neurology*, 8, 1-13.

<https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00372>

Overney, L. S., Blanke, O., & Herzog, M. H. (2008). Enhanced Temporal but not Attentional Processing in Expert Tennis Players. *PloS One*, 3(6), e2380.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002380>

Özmerdivenli, R., Bulut, S., Bayar, H., Karacabey, K., Ciloglu, F., Peker, I., & Tan, U. (2005). Effects of Exercise on Visual Evoked Potentials. *International Journal of Neuroscience*, 115(7), 1043-1050. <https://doi.org/10.1080/00207450590898481>

Palidis, D. J., Wyder-Hodge, P. A., Fookan, J., & Spering, M. (n. d.). *Eye Movement Strategies and Dynamic Visual Acuity as Sensorimotor Indicators of Baseball Batting Performance*.

<http://www.visualcognition.ca/spering/publications/PalidisEtal.PLoSOne-subm.2016.pdf>

Piras, A., Raffi, M., Lanzoni, I. M., Persiani, M., & Squatrito, S. (2015). Microsaccades and Prediction of a Motor act Outcome in a Dynamic Sport Situation. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 56(8), 4520-4530. <https://doi.org/10.1167/iovs.15-16880>

Plou Campo, P. (2007). Bases fisiológicas del entrenamiento visual. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 2(88), 62-74.

Porter, J. D., Baker, R. S., Ragusa, R. J., & Brueckner, J. K. (1995). Extraocular Muscles: Basic and Clinical Aspects of Structure and Function. *Survey of Ophthalmology*, 39(6), 451-484.

[https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(05\)80055-4](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(05)80055-4)

Postma, D. B. W., Rob Den Otter, A., & Zaal, F. T. J. M. (2014). Keeping Your Eyes Continuously on the Ball While Running for Catchable and Uncatchable Fly Balls. *PLoS One*, 9(3), e92392. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092392>

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., Lamantia, A.-S., Mcnamara, J. O., & Willians, S. M. (2004). Neuroscience. In *Sunderland* (vol. 3). <https://doi.org/978-0878937257>

Reid, M., Morgan, S., Churchill, T., & Bane, M. K. (2014). Rankings in Professional Men's Tennis: a Rich but Underutilized Source of Information. *Journal of Sports Sciences*, 32(10), 986-992. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.876086>

Reid, M., & Morris, C. (2013). Ranking Benchmarks of top 100 Players in Men's Professional Tennis. *European Journal of Sport Science*, 13(4), 350-355.

<https://doi.org/10.1080/17461391.2011.608812>

Reina, R., Moreno Hernández, F. J., & Sanz Rivas, D. (2007). Visual Behavior and Motor Responses of Novice and Experienced Wheelchair Tennis Players Relative to the Service Return. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 24(3), 254-271.

Ripoll, H. (1989). Uncertainty and Visual Strategies in Table Tennis. *Perceptual and Motor Skills*, 68(2), 507-512.

Roetert, E. P., Garrett, G. E., Brown, S. W., & Camaione, D. N. (1992). Performance Profiles of Nationally Ranked Junior Tennis Players. *Journal of Applied Sport Science Research*, 6(4), 225-231. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1992\)006<0225:PPONRJ>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1992)006<0225:PPONRJ>2.3.CO;2)

- Sánchez-Muñoz, C., Sanz, D., & Zabala, M. (2007). Anthropometric Characteristics, Body Composition and Somatotype of Elite Junior Tennis Players. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(11), 793-799. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.037119>
- Schutz, A. C., Braun, D. I., & Gegenfurtner, K. R. (2011). Eye Movements and Perception: A Selective Review. *Journal of Vision*, *11*(5), 9-9. <https://doi.org/10.1167/11.5.9>
- Scott, D., Scott, L. M., & Howe, B. L. (1998). Training Anticipation for Intermediate Tennis Players. *Behavior Modification*, *22*(3), 243-261. <https://doi.org/0803973233>
- Shall, M. S., & Goldberg, S. J. (1992). Extraocular Motor Units: Type Classification and Motoneuron Stimulation Frequency-Muscle Unit Force Relationships. *Brain Research*, *587*(2), 291-300. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(92\)91010-C](https://doi.org/10.1016/0006-8993(92)91010-C)
- Sharafi, Z., Soh, Z., & Guéhéneuc, Y. G. (2015). A Systematic Literature Review on the Usage of Eye-Tracking in Software Engineering. *Information and Software Technology*, *67*, 79-107. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.06.008>
- Singer, R. N., Williams, A. M., Frehlich, S. G., Janelle, C. M., Radlo, S. J., Barba, D. A., & Bouchard, L. J. (1998). New Frontiers in Visual Search: An Exploratory Study in Live Tennis Situations. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *69*(3), 290-296. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607696>
- Tatler, B. W., Wade, N. J., Kwan, H., Findlay, J. M., & Velichkovsky, B. M. (2010). Yarbus, Eye Movements, and Vision. *I-Perception*, *1*(1), 7-27. <https://doi.org/10.1068/i0382>
- Thomas, N. M., Bampouras, T. M., Donovan, T., & Dewhurst, S. (2016). Eye Movements Affect Postural Control in Young and Older Females. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *8*, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00216>
- Torres-Luque, G., Sánchez-Pay, A., Belmonte, M. J. B., & Ramón Moya, M. (2011). Functional Aspects of Competitive Tennis. *Journal of Human Sport and Exercise*, *6*(3), 528-539. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.63.07>
- Triolet, C., Benguigui, N., Le Runigo, C., & Williams, A. M. (2013). Quantifying the Nature of Anticipation in Professional Tennis. *Journal of Sports Sciences*, *31*(8), 820-830. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.759658>
- Vine, S. J., Moore, L. J., & Wilson, M. R. (2014). Quiet Eye Training: The Acquisition, Refinement and Resilient Performance of Targeting Skills. *European Journal of Sport Science*, *14*(Suppl. 1), 37-41. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.683815>
- Wade, N. (2010). Pioneers of Eye Movement Research. *I-Perception*, *1*(2), 33-68. Retrieved from <http://ipe.sagepub.com/content/1/2/33.short>
- Wade, N. J., & Tatler, B. W. (2005). The Moving Tablet of the Eye: The Origins of Modern Eye Movement Research. In *The Moving Tablet of the Eye: The Origins of Modern Eye Movement Research*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198566175.001.0001>
- Wade, N. J., & Tatler, B. W. (2009). Did Javal Measure Eye Movements During Reading? *Journal of Eye Movement Research*, *2*(5), 1-7. <https://doi.org/10.16910/jemr.2.5.5>

- Watanabe, M., Matsuo, Y., Zha, L., Munoz, D. P., & Kobayashi, Y. (2013). Fixational Saccades Reflect Volitional Action Preparation. *Journal of Neurophysiology*, *110*(2), 522-535. <https://doi.org/10.1152/jn.01096.2012>
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation Skill in a Real-World Task: Measurement, Training, and Transfer in Tennis. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *8*(4), 259-270. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.4.259>
- Wilson, M. R., Miles, C. A. L., Vine, S. J., & Vickers, J. N. (2013). Quiet Eye Distinguishes Children of High and Low Motor Coordination Abilities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(6), 1144-1151. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828288f1>
- Zhang, J., & Watanabe, K. (2005). Differences in Saccadic Latency and Express Saccades at Two Visual Angles. *Perceptual and Motor Skills*, *100* (3 Suppl), 1127-1136.
- Zwierko, T., Puchalska-Niedbał, L., Krzepota, J., Markiewicz, M., Woźniak, J., & Lubiński, W. (2015). The Effects of Sports Vision Training on Binocular Vision Function in Female University Athletes. *Journal of Human Kinetics*, *49*(1), 287-296. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0131>

8 Anexos

Anexo A. Cuestionario de información demográfica

Nombre (s) y Apellido (s): _____

Teléfono: _____

Correo electrónico: _____

Fecha de nacimiento: _____

Edad (años y meses): _____

Género: M____. F____.

Ranking Internacional: _____ Categoría: _____

Ranking Nacional: _____

Años de entrenamiento (continuos): _____

Edad de inicio en el tenis: _____

Tiempo dedicado al entrenamiento mensual (horas): _____

Mano con la que juegas: _____.

Con cuantas manos golpeas el revés: _____

Torneos jugados en el último año: _____

Torneos jugados en su vida como tenista (aprox.): _____

Qué otros deportes practicó de manera continua: _____

Horas de sueño anoche: _____

Utiliza gafas o lentes de contacto: _____

Juegas videojuegos más de 1 hora diaria: _____

Consumió bebidas energizantes recientemente: _____

Utiliza medicamentos de forma terapéutica: _____ ¿Cuál?: _____

Talla (mts): _____

Peso (kg): _____ IMC: _____.

Repeticiones utilizadas en la calibración: _____

Nota: Una vez terminado el proceso de sistematización de la información serán socializados vía correo electrónico los resultados de forma individual

Anexo B. Consentimiento informado

Consentimiento Informado de Participación en Proyecto de Investigación

Dirigido a: Padres de familia y/o entrenadores.

Mediante la presente, se le solicita su autorización para la participación de su hijo/hija/jugador en el estudio enmarcado en el Proyecto de investigación “Relación de los movimientos sacádicos en un ambiente virtual 2D”, presentado y conducido por el maestrante en fisiología de la Universidad Nacional de Colombia, Miguel Alfredo Pirachicán identificado con número de CC. 80501008 de Cajicá y asesorado por el profesor Dr. Edward Acero Mondragón, perteneciente a la Universidad de la Sabana de Bogotá.

Dicho Proyecto tiene como objetivo principal determinar cómo son los movimientos oculares de los participantes, a través del seguimiento visual de un punto rojo, mostrado sobre un fondo negro en una pantalla de computador y si un mejor desempeño en esta prueba corresponde con mejores resultados en las competencias, o no de tenistas prejuveniles colombianos entre los 14 y 16 años. En función de lo anterior es pertinente la participación de su hijo/hija/jugador en el estudio, por lo que, mediante la presente, se le solicita su consentimiento informado.

La colaboración de su hijo/hija/jugador en esta investigación, consistirá en primer lugar llenar un cuestionario de información demográfica, posteriormente sentarse frente a una pantalla de computador y seguir un punto rojo que será mostrado a diferentes velocidades en un fondo negro. En total son 4 pruebas que no tienen ningún efecto colateral, ni serán invasivas. Dicha actividad tendrá una duración aproximada de 10 minutos en total (explicación de los protocolos, aplicación de estos, diligenciamiento de cuestionario demográfico) y se realizará una única vez. El espacio para tal fin será un salón debidamente acondicionado para las pruebas donde el menor debe estar acompañado de su padre o acudiente respectivo.

Los alcances y resultados esperados de esta investigación son poder evaluar si las habilidades visuales de los jugadores son diferentes de acuerdo con el rendimiento (ranking nacional), y a partir de ahí, considerarlas en un plan de entrenamiento. Hay que anotar que la participación en este estudio no implica ningún riesgo de daño físico, ni psicológico para su hijo/hija/jugador, y se tomarán todas las medidas que sean necesarias para garantizar la salud e integridad física y psíquica de quienes participen del estudio.

El acto de autorizar la participación de su hijo/hija/pupilo en la investigación es absolutamente libre y voluntario. Todos los datos que se recojan serán estrictamente anónimos y de carácter privados. Además, los datos entregados serán absolutamente confidenciales y sólo se usarán para los fines científicos de la investigación. El responsable de esto, en calidad de custodio de los datos, será el Investigador Responsable del proyecto, quien tomará todas las medidas necesarias para cautelar el adecuado tratamiento de los datos, el resguardo de la información registrada y la correcta custodia de estos.

El investigador responsable del proyecto asegura la total cobertura de costos del estudio, por lo que la participación de su hijo/hija/jugador no significa gasto alguno. Por otra parte, la participación en este estudio no involucra pago o beneficio económico alguno.

Si presenta dudas sobre este proyecto o sobre la participación de su hijo/hija/jugador en él, puede hacer preguntas en cualquier momento de la ejecución de este. Igualmente, puede retirarse de la investigación en cualquier momento, sin que esto represente perjuicio. Es importante que usted considere que la participación en este estudio es completamente libre y voluntaria, y que existe el derecho a negarse a participar o a suspender y dejar inconclusa la participación cuando así se desee, sin tener que dar explicaciones ni sufrir consecuencia alguna por tal decisión.

Desde ya le agradecemos su participación.

Nombre del acudiente: _____ Fecha: _____

Firma acudiente: _____

Nombre del Investigador responsable: _____

Correo del Investigador: mapirachicana@unal.edu.co

Teléfono del Investigador: 311 4525019

Firma de investigador: _____

Fecha: _____

Anexo C. Carta que avala "Evaluación de la movilidad Ocular con tenistas prejuveniles del Circuito Colombiano"



Bogotá D.C., septiembre 3 de 2018

Señor
MIGUEL PIRACHICAN
Ciudad

GE-104-2018

Estimado Miguel:

La Federación Colombiana de Tenis, consciente del aporte de estudios que fortalezcan del desarrollo de nuestros deportistas, **AVALA** "la evaluación de la movilidad Ocular con tenistas pre juveniles del Circuito Colombiano".

Por favor activar todos los protocolos relacionados con la investigación y los posibles riesgos y en especial recibir de parte de los padres el respectivo consentimiento.

Cordialmente,

DAVID SAMUDIO GÓMEZ
Presidente,

Diagonal 35 Bis # 19 - 31
Teléfono: (57-1) 288 08 00
Bogotá D.C. - Colombia
comunicaciones@fedecoltenis.com
www.fedecoltenis.com



Anexo D. Utilización de Light sensor

Light Sensor

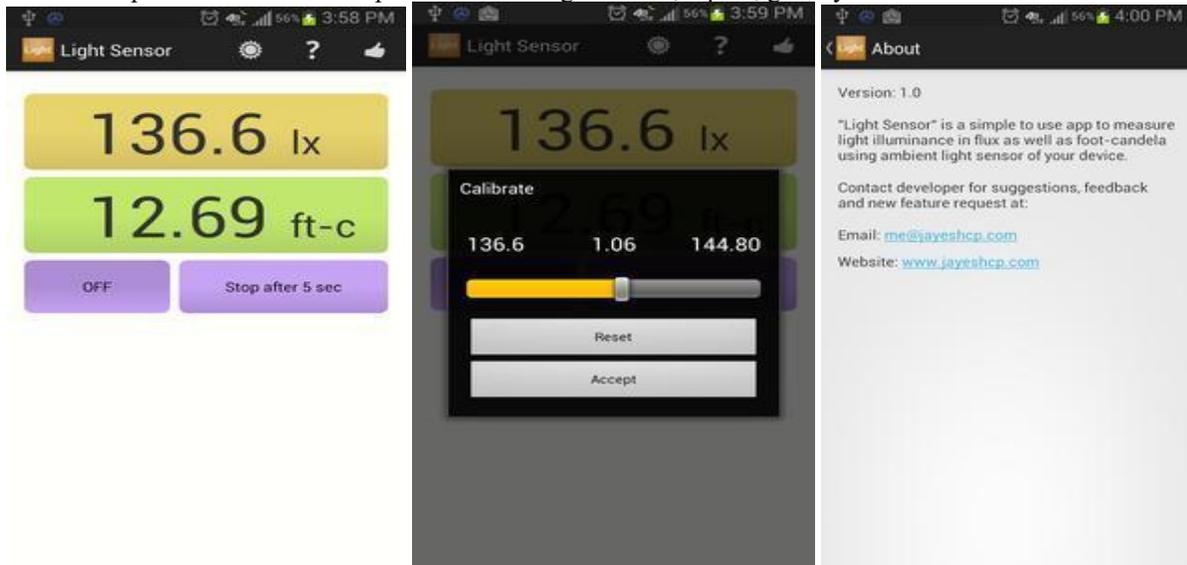
1.2 for Android

| 0 Reviews | 0 Posts

Jayesh Chandrapal

[Descargar APK\(219.0 KB\)](#) Versions

Usando la aplicación de APKPure para actualizar Light Sensor, rápido, gratis y ahorra datos de Internet.



La descripción de Light Sensor fuente: <https://apkpure.com/es/light-sensor/com.app.lightsensor>

Free today, Free Always ! No Ads "Light Sensor" is a simple to use app to measure light illuminance in lux as well as foot-candela using ambient light sensor of your device.

★ Distinct features of this light sensor ★

- * Light illuminance measurement in lux and foot-candela
- * 5 sec timer to allow you to take light measurement
- * No battery drainage whether app is running or minimized to background
- * Calibration feature to make minor adjustments to measured value
- * Fast response time

Accuracy of the light sensor may vary on different devices.

Make sure light sensor is facing the light source to get correct reading.

Keywords: Light Sensor, Light Meter, Lux, Candela

Light Sensor 1.2 Actualizar. 2015-08-18

V1.2:

- 1). Fix for some users device where measured light value was reaching final value very slowly.

Light Sensor Tags

Anexo E. Pruebas de normalidad y homogeneidad

Pruebas de normalidad y homogeneidad

Grupo I

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Medida	Intermedio indefinido 300	,124	12	,200*

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Medida	Avanzado indefinido 300	,166	11	,200*

Grupo II

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Medida	Intermedio indefinido 500	,216	12	,126

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Medida	Avanzado indefinido 500	,204	6	,200*

Grupo III

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Medida	Intermedio definido 300	,172	12	,200*

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Medida	Avanzado definido 300	,152	9	,200*

Grupo IV

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
	Grupo	Estadístico	gl	Sig.
Medida	Intermedio definido 500	,258	12	,026

		Kolmogorov-Smirnov ^b		
	Grupo	Estadístico	gl	Sig.
Medida	Avanzado definido 500	,129	6	,200*
