

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

FACULTAD DE MEDICINA



**RETORNO AL DEPORTE POST-LESIÓN DE ISQUIOTIBIALES EN
FUTBOLISTAS UTILIZANDO SISTEMAS DE SEGUIMIENTO
ELECTRÓNICOS DE RENDIMIENTO**

Por:

MARCOS ORTIZ HERNANDEZ

PRODUCTO INTEGRADOR:

TESIS

**Como requisito para obtener el grado de
MAESTRÍA EN TERAPIA FÍSICA Y READAPTACIÓN DEPORTIVA**

NUEVO LEÓN, MAYO 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

FACULTAD DE MEDICINA



**RETORNO AL DEPORTE POST-LESIÓN DE ISQUIOTIBIALES EN
FUTBOLISTAS UTILIZANDO SISTEMAS DE SEGUIMIENTO
ELECTRÓNICOS DE RENDIMIENTO**

Por

MARCOS ORTIZ HERNANDEZ

Asesor

DRA. SILVIA CAROLINA MEDRANO MENA

PRODUCTO INTEGRADOR

TESIS

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN TERAPIA FÍSICA Y READAPTACIÓN DEPORTIVA**

NUEVO LEÓN, MAYO 2025

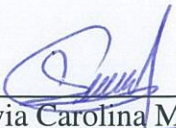
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

FACULTA DE MEDICINA

Los miembros del Comité de Titulación de la Maestría en Terapia Física y Readaptación Deportiva integrado por la Facultad de Organización Deportiva y la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León, recomendamos que el Producto Integrador en modalidad de Tesis titulado “Retorno al deporte post-lesión de isquiotibiales en futbolistas utilizando sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento” realizado por el Lic. Marcos Ortiz Hernández, sea aceptado para su defensa como oposición al grado de Maestro en Terapia Física y Readaptación Deportiva.

COMITÉ DE TITULACIÓN



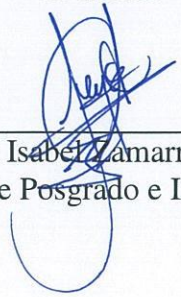
Dra. Silvia Carolina Medrano Mena
Asesor principal



Dr. José Raúl Hoyos Flores
Co-asesor



Mtro. Enrique Yosifer Mata García
Co-asesor



Dr. Jorge Isabel Zamarripa Rivera
Subdirector de Posgrado e Investigación

Nuevo León, Mayo, 2025

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo que me otorgó a través del programa de Becas Nacionales para la realización de mis estudios de posgrado y de mi producto de tesis.

A mi asesora la Dra. Silvia Carolina Medrano Mena, así como a los co-asesores, el Mtro. Enrique Yosifer Mata García y el Dr. José Raúl Hoyos Flores por la asesoría en el presente proyecto.

Al equipo multidisciplinario del Club Tigres comenzando por el área de rehabilitación y recuperación física, Lic. Jorge Emiliano Raffetto, Mtro. Leonardo Antonio González Silva, Lic. Ricardo Abraham Cerda Castillo. Por parte del área médica al Dr. Agustín Jaime Alanís Flores. Y por parte del área de sport scientist el Mtro. Gabriel García. A todos y cada uno de ellos que me apoyaron con su conocimiento y experiencia para desarrollar la presente investigación.

A mi amigo y compañero el Mtro. Luis Enrique Bañuelos Terés por su gran apoyo, disponibilidad y dedicación para realizar asesorías y dar retroalimentación.

A los futbolistas que contribuyeron con su participación durante el desarrollo del proyecto, por haber confiado en su servidor.

Tabla de Contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Anatomía de los isquiotibiales	4
1.1.1 Mecanismos de lesión	5
1.1.2 Terminología, clasificación y diagnóstico de las lesiones musculares	8
1.1.3 Epidemiología de lesiones musculares en los isquiotibiales en el futbol.....	12
1.1.4 Factores de riesgo.....	16
1.2 Sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento	16
1.2.1 Características de los sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento basados en sistemas de navegación global por satélite	18
1.2.2 Validez y fiabilidad del sistema de seguimiento electrónico de rendimiento “real track wimu pro”.....	22
1.2.3 Variables de los sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento para el análisis de la readaptación deportiva.....	24
1.3 Rehabilitación deportiva en lesiones musculares	27
1.4 Readaptación deportiva.....	29
1.4.1 Conceptualización	29
1.4.2 Papel del readaptador deportivo	31
1.4.3 Vía para el retorno al rendimiento en el futbol profesional	32
CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO	35
2.1 Diseño	35
2.2 Población de estudio	35
2.3 Muestreo y muestra.....	36
2.4 Criterios de inclusión	36
2.5 Criterios de exclusión	36
2.6 Criterios de eliminación.....	36
2.7 Instrumentos.....	36
2.7.1 Escala visual análoga dolor	36
2.7.2 Wimu pro.....	38
2.8 Intervención	39
2.8.1 Consideraciones éticas	44
2.9 Análisis de datos	44

CAPÍTULO 3. RESULTADOS	46
3.1 Datos descriptivos de las características sociodemográficas de la muestra.....	46
3.2 Comparación de las variables preprotocolo y post protocolo	47
3.2.1 Variable distancia total.....	47
3.2.2 Variable carrera a alta velocidad.....	50
3.2.3 Variable sprints absolutos	53
3.2.4 Variable hsr + sprints absolutos	56
3.2.5 Variable máxima velocidad.....	59
3.2.6 Variable aceleraciones.....	62
3.2.7 Variable desaceleraciones	65
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN	67
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	74
Referencias	75
RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO.....	97

Índice de tablas

Tabla 1.	Principales variables para la cuantificación de la carga externa	27
Tabla 2.	Protocolo edema muscular en isquiotibiales	42
Tabla 3.	Protocolo desgarró muscular en isquiotibiales, etapa 1 y 2.....	43
Tabla 4.	Protocolo desgarró muscular en isquiotibiales, etapa 3 y 4.....	44
Tabla 5.	Características descriptivas de la muestra	47
Tabla 6.	Variable distancia total (m)	48
Tabla 7.	Variable carrera a alta velocidad (HSR).....	51
Tabla 8.	Variable sprints absolutos.....	54
Tabla 9.	Variable HSR + sprints absolutos.....	57
Tabla 10.	Variable máxima velocidad (Max Sp).....	60
Tabla 11.	Variable aceleraciones (Acc + 3)	63
Tabla 12.	Variable desaceleraciones (Dcc + 3)	66

Índice de figuras

Figura 1. Anatomía básica de los isquiotibiales.	4
Figura 2.. División del nervio ciático División del nervio ciático.	5
Figura 3. Arterias perforantes.	5
Figura 4 Fases del ciclo de la carrera	6
Figura 5 Anatomía y ubicación del tipo de lesiones musculares.....	9
Figura 6 Porcentaje de lesiones musculares en futbolistas. Elaboración propia	14
Figura 7 Porcentaje de lesiones en los músculos isquiotibiales. Elaboración propia.....	15
Figura 8. Registro del posicionamiento con GNSS.....	19
Figura 9. Empresas que han obtenido el certificado IMS otorgado por FIFA.	22
Figura 10. Sistemas certificados con sello FIFA Quality.....	23
Figura 11. Flujograma de participación en el estudio	35
Figura 12. Escala Visual Analógica	37
Figura 13. Dispositivo portátil hudi WIMU PRO	39
Figura 14. Etapas de la lesión hasta el regreso al rendimiento Tomado de: Departamento de rehabilitación y recuperación física del Club Tigres	40
Figura 15. Comparación de la variable distancia total, al inicio y término del protocolo de readaptación.....	48
Figura 16. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable distancia total	49
Figura 17. Comparación de la variable carrera a alta velocidad, al inicio y término del protocolo de readaptación.....	51
Figura 18. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable HSR.....	52
Figura 19. Comparación de la variable sprints absolutos, al inicio y término del protocolo de readaptación.	54
Figura 20. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable sprints absolutos.....	55

Figura 21. Comparación de la variable HSR + Sprints, al inicio y término del protocolo de readaptación.....	57
Figura 22 Gráfico de estimación de Gardner-Altman, de la variable HSR + Spritns	58
Figura 23 Comparación de la variable Max Sp., al inicio y término del protocolo de readaptación.....	60
Figura 24. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable Max. Sp.....	61
Figura 25. Comparación de la variable aceleraciones, al inicio y término del protocolo de readaptación.....	63
Figura 26. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable aceleraciones	64
Figura 27 Comparación de la variable desaceleración, al inicio y término del protocolo de readaptación.....	65
Figura 28. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable desaceleraciones.....	66

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

FACULTAD DE MEDICINA

Resumen

Fecha de Graduación: Mayo, 2025

NOMBRE DE LA ALUMNA(O): MARCOS ORTIZ HERNANDEZ

Título: RETORNO AL DEPORTE POST-LESIÓN DE ISQUIOTIBIALES EN FUTBOLISTAS UTILIZANDO SISTEMAS DE SEGUIMIENTO ELECTRÓNICOS DE RENDIMIENTO

Candidato para obtener el Grado de Maestría en
Terapia Física y Readaptación Deportiva

Número de páginas: 97

Introducción. Este estudio analiza el efecto de un protocolo de readaptación deportiva para futbolistas profesionales con desgarró de isquiotibiales, mediante el uso de sistemas electrónicos de seguimiento del rendimiento para cuantificar la carga de trabajo externa durante la reincorporación a la actividad deportiva en campo. **Método.** Estudio descriptivo longitudinal durante cuatro meses en la temporada apertura 24-25 de la Liga MX. Las mediciones se efectuaron al inicio de temporada, post lesión y tras el protocolo de readaptación. La población consistió en jugadores de la categoría sub-23 del Club Tigres, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. **Resultados.** Se analizaron datos de cinco futbolistas, el 80% de los participantes se desempeñaba en la posición de defensa y el 20 % como mediocampistas. La variable que presentó el menor porcentaje de cambio entre los futbolistas evaluados fue velocidad máxima, registrando valores inferiores al 70% en la totalidad de los participantes. **Conclusión.** Se observó que el protocolo aplicado tiene potencial de mejorar en variables clave, como aceleración y desaceleración, dado que la mayoría de los futbolistas alcanzaron o incluso superaron sus niveles pre-lesión. Asimismo, la implementación de sistemas electrónicos de seguimiento del rendimiento permitió una monitorización precisa de las variables de carga externa.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL: Dra. Silvia Carolina Medrano Mena.



Introducción

Investigaciones epidemiológicas previas han reportado que los músculos isquiotibiales son los más expuestos a sufrir lesiones en el fútbol profesional¹. Se ha registrado que el 37% de todas las lesiones musculares en los futbolistas profesionales ocurren en los músculos isquiotibiales². Dentro de este grupo muscular, el 83% de las lesiones se localizan en el músculo bíceps femoral, el 12% en el semimembranoso, y el 5% en el semitendinoso³. Estas lesiones, también denominadas como *Hamstring Injury* (HSI, por sus siglas en inglés), tienen un impacto importante en la disponibilidad del jugador, puesto que responsables de un considerable número de ausencias, tanto en entrenamientos como en partidos³.

El tiempo de inactividad varía según la gravedad y localización de la lesión. En promedio los jugadores se ausentan entre 13 y 15 días, perdiendo alrededor de tres partidos³. Se ha reportado que la recurrencia de estas lesiones sigue en aumento dentro del fútbol profesional, entre el 16% y el 34% de los casos, se deben a una recurrencia en la lesión⁴. El 18% de las reincidencias se localizan en el bíceps femoral; mientras que el 2%, en el semitendinoso y el semimembranoso³. Esta recurrencia puede estar relacionada con factores como: una rehabilitación insuficiente, la ausencia de fortalecimiento específico, o una reincorporación prematura a la actividad competitiva⁵.

La incorporación de métodos y herramientas de evaluación objetivas, tales como los sistemas de monitoreo electrónicos, contribuyen en la medición precisa del esfuerzo físico de los jugadores durante las sesiones en campo⁶, lo que favorece a la toma de decisiones relacionadas con el momento óptimo para la reincorporación de un jugador a las actividades deportivas y así minimizar el riesgo de recurrencia lesional.

Sin embargo, hasta el momento no se ha encontrado evidencia con respecto al uso de sistemas electrónicos de seguimiento de rendimiento (EPTS, por sus siglas en inglés) en la cuantificación de la carga de trabajo dentro de protocolos de readaptación deportiva en futbolistas mexicanos de fuerzas básicas, específicamente en las HSI. A partir de lo

anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto de un protocolo de readaptación deportiva en futbolistas con desgarro de los isquiotibiales mediante el uso de sistemas electrónicos de rendimiento?

De este modo, la presente investigación busca aportar una solución innovadora y basada en evidencia para la readaptación de futbolistas con HSI, utilizando EPTS que permitan una intervención más precisa, eficiente y segura. Al integrar una herramienta práctica y funcional, se pretende favorecer el diseño de estrategias más eficaces para la readaptación de lesiones y la optimización del rendimiento deportivo, contribuyendo tanto al bienestar de los futbolistas, como al rendimiento global de los equipos, lo que justifica plenamente la relevancia y el impacto de este estudio en el campo de la terapia física y la readaptación deportiva.

Es por ello por lo que el objetivo general de esta investigación fue analizar el efecto de un protocolo de readaptación deportiva para futbolistas profesionales con desgarro de los isquiotibiales, mediante el uso de sistemas electrónicos de seguimiento del rendimiento (EPTS). Para alcanzar el objetivo del estudio se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Describir las características sociodemográficas de los futbolistas participantes del estudio.
2. Comparar el porcentaje de cambio de las variables pre-realización del protocolo y post protocolo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Anatomía de los isquiotibiales

Los músculos isquiotibiales, también conocidos como isquiosurales, son un grupo de músculos ubicados en la parte posterior del muslo y se componen del semitendinoso (ST), semimembranoso (SM), y las dos porciones del bíceps femoral (BF): la porción larga (BF_{lh}) y la porción corta (BF_{sh}) (Figura 1). Su origen se encuentra en la tuberosidad isquiática, salvo en el caso de la porción corta del bíceps femoral, cuyo origen es la línea áspera del fémur⁷. Los músculos ST, SM y BF_{lh} son biarticulares, lo que les permite participar en la extensión de la cadera, así como en la flexión y rotación, tanto medial como lateral, de la rodilla. En su inserción distal, el semitendinoso se fusiona parcialmente con los tendones de los músculos grácil y sartorio, formando un tendón común denominado "pata de ganso", que se inserta en la parte medial del extremo proximal de la tibia⁷.

Por otro lado, el semimembranoso se inserta en el cóndilo medial de la tibia, la fosa intercondílea del fémur, el cóndilo lateral del fémur y el ligamento poplíteo oblicuo. Finalmente, las dos porciones del bíceps femoral se insertan en la cara lateral de la cabeza del peroné^{7,8}.

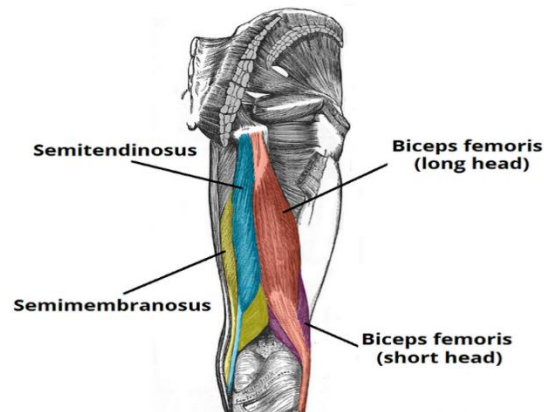


Figura 1. Anatomía básica de los isquiotibiales. Tomado de Teach Me Anatomy [Internet]. Disponible en: <https://teachmeanatomy.info/wp-content/uploads/Muscles-of-the-Posterior-Thigh.-1024x1008.png>

Los músculos isquiotibiales reciben su innervación principalmente de las ramas terminales del nervio ciático, que se origina en las raíces nerviosas de las vértebras L5 a S2, aunque con variaciones interindividuales⁷ (Figura 2). En cuanto a la irrigación sanguínea, la mayor parte de la sangre que llega a estos músculos proviene de las arterias perforantes, las cuales son ramas de la arteria femoral profunda y de la arteria circunfleja femoral medial. Además, contribuyen a la vascularización la arteria glútea inferior, glútea superior, así como ramas de la arteria poplítea y arterias que irrigan la parte lateral de la rodilla.^{7,8} (Figura3).

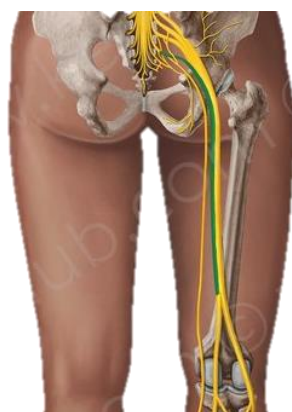


Figura 2.. División del nervio ciático División del nervio ciático. Tomado de Kenhub [Internet]. Disponible en: <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/nervio-ciatico>

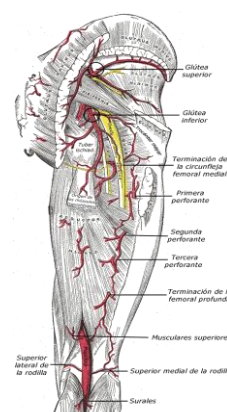


Figura 3. Arterias perforantes. Tomado de La Fisioterapia [Internet]. Disponible en: <https://lafisioterapia.net/wp-content/uploads/2018/06/arterias-posteriores-pierna.png>

La complejidad de la anatomía de los isquiotibiales establece importantes conexiones con los segmentos proximales, como el tronco y la pelvis, y con los segmentos distales, incluyendo la rodilla y la pierna. Como resultado, los movimientos y la mecánica en estas áreas pueden influir directamente en la función de los isquiotibiales y en las fuerzas mecánicas que se ejercen sobre ellos⁹.

1.1.1 Mecanismos de lesión

La lesión muscular ocurre cuando la tensión mecánica aplicada al tejido excede su capacidad para resistirla¹⁰, lo que provoca daño en las fibras musculares. En la literatura

científica, se distinguen dos mecanismos principales que causan lesiones en los isquiotibiales (HSI): la lesión por carrera de alta velocidad y la lesión por estiramiento⁹.

En primer lugar, es relevante abordar el mecanismo relacionado con la carrera de velocidad. Se estima que más del 47% de las lesiones en los isquiotibiales ocurren durante la fase de *sprint*⁹. Considerando que la mayoría de estas lesiones se producen en las etapas de aceleración o al alcanzar velocidades de altas a máximas, es razonable suponer que los factores biomecánicos desempeñan un papel crucial en la generación de la tensión mecánica que conduce a la lesión¹¹.

Para comprender el origen de una lesión durante la carrera de velocidad, es esencial analizar la biomecánica de esta, de manera que se pueda identificar el momento preciso en que se produce el daño. Durante la fase de aceleración, los músculos isquiotibiales generan grandes torques extensores sobre la cadera, contribuyendo hasta en un 15% al impulso propulsivo total del cuerpo¹². En la carrera a alta o máxima velocidad, se ha estudiado principalmente la fase de balanceo y la fase inicial de apoyo, ya que son las más relevantes en relación con el mecanismo de lesión¹³. En la fase de balanceo, la rápida flexión y extensión de la cadera provoca aceleraciones angulares significativas de la pierna, lo que impulsa la rodilla hacia la extensión en la transición del balanceo tardío al terminal¹⁴ (Figura 4).



Figura 4 Fases del ciclo de la carrera Tomado de Bramah, C [Internet] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-023-01925-x/figures/2>

Durante el balanceo terminal, las fuerzas musculares alcanzan valores extremadamente elevados, llegando a ser hasta 10 veces el peso corporal¹⁴. En particular, las fuerzas de tracción sobre el semimembranoso oscilan entre 23,9 y 46,0 N/kg, mientras

que en la cabeza larga del bíceps femoral varían entre 13,2 y 26,4 N/kg, y en el semitendinoso, entre 5,9 N/kg ¹⁵. A medida que avanzan estas fases, los músculos y tendones de los isquiotibiales experimentan un aumento de longitud de aproximadamente un 10%, alcanzando su máxima elongación en la fase de balanceo tardío del sprint ¹⁶.

Análisis electromiográficos han mostrado que el bíceps femoral, especialmente su cabeza larga, es sometido a una alta fuerza de tracción instantánea en la fase final del balanceo, lo que lo pone en un estado de mayor riesgo para sufrir una distensión muscular¹⁷. En menor medida, el semitendinoso también está expuesto a este riesgo ¹⁸. Se considera que el semitendinoso está mejor adaptado para soportar cargas excéntricas debido a su estructura alargada y delgada, mientras que el bíceps femoral, con fibras más cortas y voluminosas, parece estar diseñado para contracciones isométricas y concéntricas. Sin embargo, cuando el semitendinoso se fatiga y el bíceps femoral asume una carga excéntrica excesiva, la probabilidad de lesión aumenta ^{18,19}.

Además, se ha observado que, a mayores velocidades de carrera, la relación de activación entre los isquiotibiales y los cuádriceps aumenta significativamente. Este fenómeno es particularmente notorio en el bíceps femoral, cuya activación se incrementa de manera considerable al pasar de correr a un 80% del volumen máximo de oxígeno (VO₂max), a correr al 90% y 100% de VO₂max ²⁰.

El segundo mecanismo lesivo más frecuente reportado en la literatura son las lesiones por sobreestiramiento de los músculos isquiotibiales, las cuales generalmente resultan de una combinación excesiva de flexión de la cadera y extensión de la rodilla. Este patrón de movimiento puede ocasionar daños significativos tanto en la musculatura proximal como distal ²⁰. Estos daños ocurren principalmente en la región posterior del muslo, cerca de la tuberosidad isquiática, en movimientos que permiten una gran flexión de la cadera junto con la extensión de la rodilla. A pesar de la complejidad de las lesiones, se ha observado que el 83% de ellas afectan al semimembranoso, un músculo que, debido a su función y ubicación, es particularmente vulnerable a este tipo de lesiones.²¹

1.1.2 Terminología, clasificación y diagnóstico de las lesiones musculares

La correcta definición de los términos utilizados en el diagnóstico, manejo y estudio de patologías, síndromes y lesiones es fundamental en el campo de la medicina deportiva. Este aspecto es especialmente relevante en el caso de las lesiones musculares, que presentan una alta prevalencia en el fútbol, con una incidencia que alcanza el 37%².

La información disponible en la literatura sobre la definición y clasificación de las lesiones musculares es limitada y carece de claridad. A lo largo del tiempo, se han propuesto diversas clasificaciones, pero estas han mostrado diversas limitaciones, como la ausencia de subcategorías específicas, lo que conlleva a una agrupación de lesiones con diferentes etiologías, enfoques terapéuticos y pronósticos dentro de una misma categoría²².

En el Consenso de Múnich, llevado a cabo en 2013 en Múnich (Alemania), un grupo de 30 científicos y médicos especializados en medicina deportiva, provenientes de equipos de primer nivel y de habla inglesa, propuso un sistema alternativo para la clasificación de las lesiones musculares. Este consenso tuvo como objetivo establecer una terminología precisa y una clasificación coherente de las lesiones musculares, lo que permitiría mejorar la comunicación entre los profesionales de la salud y facilitar el desarrollo de estrategias terapéuticas más sistemáticas²².

El sistema propuesto establece cuatro categorías principales: la primera categoría involucra los trastornos musculares funcionales, que incluyen aquellos relacionados con el sobreesfuerzo; una segunda categoría abarca los trastornos musculares de origen neuromuscular, los cuales se caracterizan por alteraciones musculares sin evidencia macroscópica de desgarro de fibras. Además, en una tercera y cuarta categoría se identifican las lesiones musculares estructurales, que comprenden los desgarros parciales y los desgarros completos o avulsiones tendinosas, en los cuales se observa un daño estructural evidente, como desgarros de fibras musculares²². Para cada una de estas categorías, se desarrollaron subclasificaciones específicas con el fin de permitir una

evaluación más detallada de las diversas formas en que estas lesiones pueden manifestarse (Figura 5).

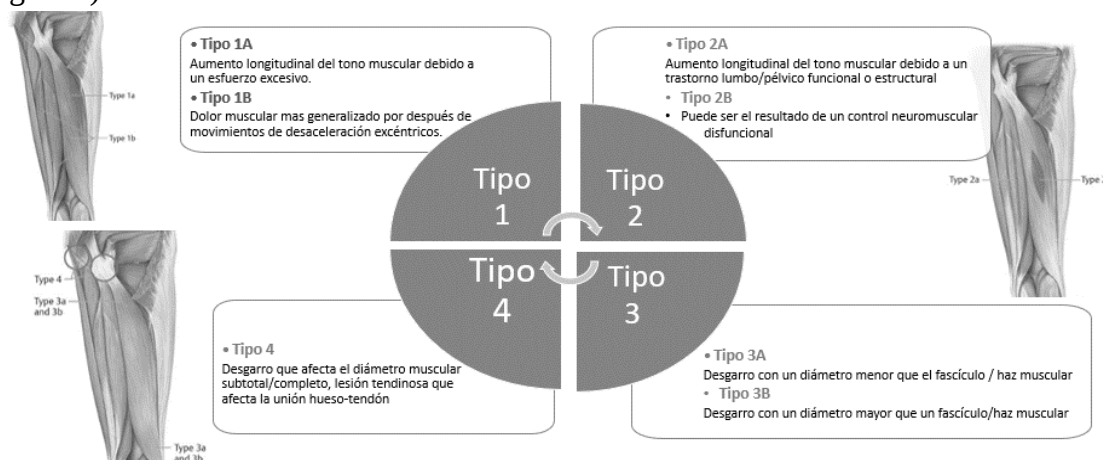


Figura 5 Anatomía y ubicación del tipo de lesiones musculares Tomado de: Publishers [Internet], Disponible en: <https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/47/6/342/F1.large.jpg?width=800&height=600&carousel=1>

La clasificación se fundamenta principalmente en distinguir si la causa de la lesión es directa o indirecta. En el caso de las lesiones de origen indirecto, se hace una distinción adicional para determinar si existe o no un daño estructural.

Se ha señalado que el uso de la resonancia magnética (RM) es esencial para el diagnóstico y la evaluación de las lesiones en los isquiotibiales²³; ya que, sin esta herramienta de imagen, resulta dificultoso diferenciar entre las lesiones que afectan al músculo isquiotibial y aquellas que no lo involucran⁴. La recomendación consiste en determinar si la lesión es funcional, en cuyo caso no se observaría daño macroscópico en las pruebas de resonancia magnética o ecografía, o si es estructural, lo que permitiría identificar una alteración evidente en estas modalidades de imagen. En general, se sugiere que la RM se realice idealmente entre 24 y 48 horas después de la lesión²⁴ para obtener resultados diagnósticos más precisos.

En el ámbito de los deportes de élite, las imágenes diagnósticas se utilizan de manera habitual para evaluar la gravedad de las lesiones musculares y determinar el tipo de tejido afectado, empleando el sistema de clasificación más actualizado y ampliamente

adoptado, el desarrollado por el equipo médico de “*British Athletics*”²³. Este sistema proporciona un marco diagnóstico preciso y se apoya en la evidencia disponible para una correcta clasificación de las lesiones. La clasificación de las lesiones musculares en este sistema se divide en cinco grados, del 0 al 4, según las características observadas en la RM. Además, los grados 1 a 4 se subdividen en tres grupos diagnósticos (a, b o c), dependiendo de la localización y la extensión de la lesión²³.

El término "lesión muscular" se considera adecuado para referirse a lesiones en los grados 0 a 4²². Según el Consenso de Múnich, se desaconseja el uso del término "distensión" y se prefiere el término "desgarro" para describir las lesiones de los grados 1 a 4²³.

La clasificación de lesiones musculares del “*British Athletics*” incluye diversas categorías, comenzando con el grado 0²³, que se refiere a la presencia de dolor muscular focal, generalmente posterior a la actividad física, aunque también puede manifestarse durante el ejercicio. Dentro de este grado, el subgrupo 0a se caracteriza por ser una "lesión muscular negativa en resonancia magnética", un término ampliamente documentado en la literatura y asociado con un pronóstico favorable. Por otro lado, el grado 0b describe un dolor muscular generalizado, que se presenta con mayor frecuencia tras la realización de ejercicios no habituales, especialmente aquellos que implican un esfuerzo excéntrico, y es comúnmente conocido como DOMS (*Delayed Onset Muscle Soreness* o dolor muscular de aparición retardada)²³.

Las lesiones musculares de grado 1 corresponden a desgarros pequeños que afectan al músculo, con una extensión que va desde la fascia hasta un máximo del 10% de la musculatura y cuya extensión longitudinal no supera los 5 cm. Dentro de este grado, las lesiones 1b se localizan en el interior del músculo o con mayor frecuencia, en la unión miotendinosa medial (MTJ, por sus siglas en inglés)²³.

Por otro lado, las lesiones de grado 2 son de moderada gravedad y se caracterizan por desgarros más extensos. En las lesiones de grado 2a, el daño se extiende desde la fascia

periférica hasta el músculo, mostrando en las imágenes por resonancia magnética un cambio de señal evidente desde la periferia muscular. Este cambio de señal abarca entre el 10% y el 50% del área de la sección transversal del músculo afectado y se extiende entre 5 y 15 cm dentro del músculo ²³. La interrupción de la arquitectura de las fibras musculares suele ser inferior a 5 cm ²⁵. Las lesiones de grado 2b afectan la unión miotendinosa. Las lesiones de grado 2c en cambio, involucran el tendón, pero el daño en el mismo se limita a una longitud menor a 5 cm y no supera el 50% del diámetro máximo del tendón en las imágenes axiales ²⁵.

Las lesiones de grado 3 representan desgarros más severos y extensos ²³. Las lesiones de grado 3a (miofasciales) y 3b (musculo-tendinosas) presentan en las imágenes por resonancia magnética un patrón de cambio de señal alto, que afecta a más del 50% del área transversal del músculo o se extiende a más de 15 cm de longitud ²³. Además, se observa una alteración de la arquitectura de las fibras musculares que probablemente sea superior a 5 cm. Finalmente, las lesiones intratendinosas de grado 3c muestran evidencia de daño tendinoso que afecta una longitud mayor a 5 cm o más del 50% del área transversal máxima del tendón ²³.

Las lesiones de grado 4 corresponden a desgarros completos, ya sea del músculo, grado 4a o del tendón, grado 4c. En estos casos, el deportista experimentará un dolor agudo y repentino, acompañado de una limitación inmediata y significativa de la capacidad para realizar actividad física. En muchos casos, se puede palpar una separación o "vacío" en el área afectada, lo que indica la gravedad de la lesión ²³.

Para el diagnóstico de las HSI, Askling et al. ²⁶ y Jarvinen et al. ²⁷, recomiendan realizar una evaluación exhaustiva que incluya la anamnesis, indagando sobre las circunstancias del evento, los síntomas presentes y cualquier historial de problemas previos en la zona afectada. Posteriormente, se debe realizar una inspección clínica detallada, que abarca la observación, la palpación, la comparación con el lado no afectado y la evaluación de la funcionalidad de la región lesionada. Además, es aconsejable realizar una ecografía

entre las 2 y 48 horas posteriores a la lesión ^{24,28} para obtener información diagnóstica inicial.

En caso de sospecha de una lesión estructural, se debe proceder con una RM, ya que, aunque el 70% de las lesiones no muestran hallazgos significativos en la RM durante las primeras 24-48 horas, estas lesiones son responsables de más del 50% de las ausencias de los jugadores en sus respectivos equipos ²⁴. Las manifestaciones clínicas de las lesiones en los isquiotibiales, según su grado de severidad, suelen incluir: dolor, disminución de la fuerza y potencia muscular, reducción de la flexibilidad, y la presencia de hematomas o signos de hemorragia interna ²⁴.

Las HSI comprenden una amplia variedad de tipos, lo que complica la predicción precisa de la vuelta al rendimiento (RTP). Por esta razón, resulta fundamental clasificar estas lesiones en subgrupos específicos, lo que permite una evaluación más detallada y precisa ²³. Se requieren estudios más profundos y sistemáticos para obtener datos confiables sobre los tiempos de retorno tras una HSI. Estos resultados pueden ser de gran utilidad para desarrollar directrices prácticas para el personal médico de los equipos, facilitando la estimación de la duración de la ausencia del jugador ²³. Aunque el diagnóstico clínico sigue siendo esencial, las imágenes de RM presenta una alta fiabilidad en la detección de lesiones agudas de los músculos isquiotibiales ²⁹.

Sin embargo, su capacidad para proporcionar información precisa sobre el estado funcional del jugador y su preparación para reincorporarse a la actividad deportiva es limitada y carece de la fiabilidad necesaria para evaluar con precisión su aptitud para el retorno al juego ³⁰.

1.1.3 Epidemiología de lesiones musculares en los isquiotibiales en el futbol

Para comprender el concepto de lesión, es fundamental revisar las definiciones que diversas entidades han propuesto. Según el Comité Médico de la Unión Europea de Asociaciones de Fútbol (UEFA, por sus siglas en francés), en una definición elaborada por Ekstrand, una lesión se refiere a un "hecho que ocurre durante una sesión de entrenamiento

o partido del programa y que provoca la ausencia del individuo en la siguiente sesión de entrenamiento o partido"³¹. De manera similar, el *National Athletic Injury Registration System* (NAIRS, por sus siglas en inglés) la describe como un incidente que limita la participación deportiva, al menos, durante el día posterior a la lesión. Por su parte, el Consejo de Europa ofrece una definición más amplia, señalando que una lesión puede tener al menos una de las siguientes consecuencias: una disminución en la cantidad o intensidad de la actividad deportiva, la necesidad de un tratamiento médico, o incluso generar efectos socioeconómicos adversos³².

Estudios epidemiológicos previos han señalado que los músculos isquiotibiales son los más propensos a sufrir lesiones en los futbolistas profesionales². La tasa global de lesiones en futbolistas fue de 8.1 lesiones por cada 1000 horas de actividad. En cuanto a las lesiones ocurridas durante los partidos, la incidencia ascendió a 36 lesiones por cada 1000 horas de exposición, cifra casi diez veces mayor que la registrada en entrenamientos, que fue de 3.7 lesiones por cada 1000 horas¹. Las lesiones en las extremidades inferiores fueron las más comunes, con una incidencia de 6.8 lesiones por cada 1000 horas de exposición. Dentro de estas, las lesiones musculares fueron las más frecuentes, registrando una tasa de 4.6 lesiones por cada 1000 horas de exposición¹.

Las lesiones musculares representaron el 31% del total de las lesiones registradas y fueron responsables del 27% del tiempo de inactividad debido a lesiones. En promedio, cada jugador experimentó 0.6 lesiones musculares por temporada². Un alto porcentaje de estas lesiones, el 92%, afectó a los cuatro grupos musculares principales del miembro inferior². (Figura 6)

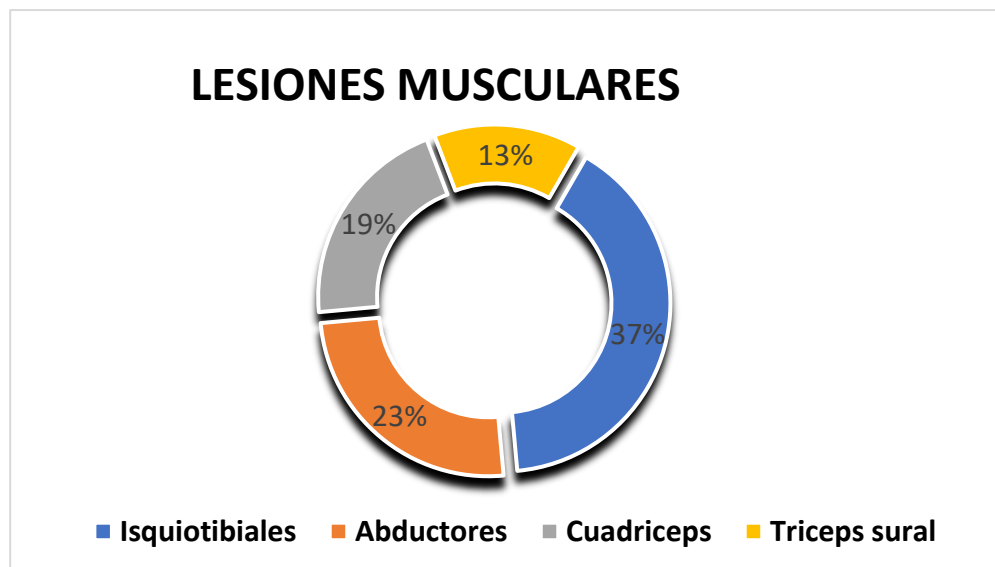


Figura 6 Porcentaje de lesiones musculares en futbolistas. Elaboración propia

En un estudio realizado por Ekstrand et al.³³ que abarcó 36 clubes de 12 países europeos entre 2001 y 2014, se registró la exposición individual a lesiones en los futbolistas. Durante los 13 años de investigación, se produjeron un total de 1614 lesiones de isquiotibiales. La tasa global de lesiones fue de 1.20 por cada 1000 horas de exposición; sin embargo, la incidencia fue considerablemente más alta en los partidos, con una tasa de 4.77 lesiones por cada 1000 horas de juego, casi nueve veces superior a la registrada en entrenamientos, que fue de 0.51 lesiones por cada 1000 horas³³. De las lesiones observadas, el 35% ocurrieron durante los entrenamientos y el 65% en los partidos³³.

En cuanto a la distribución entre las piernas, las lesiones se repartieron de manera bastante equitativa: 50.5% en la pierna derecha, 49.1% en la izquierda, y solo un 0.4% fueron bilaterales. En cuanto a la naturaleza de las lesiones, el 66% fueron de inicio agudo, mientras que el 34% se desarrollaron de forma gradual. Finalmente, en términos de gravedad, el 10% de las lesiones fueron leves o mínimas, el 21% fueron leves, el 54% moderadas y el 15% fueron graves³³.

Entre las lesiones de los isquiotibiales, como se puede observar en la Figura 7, el mayor porcentaje se produjeron en el bíceps femoral³.

LESIONES EN ISQUIOTIBIALES

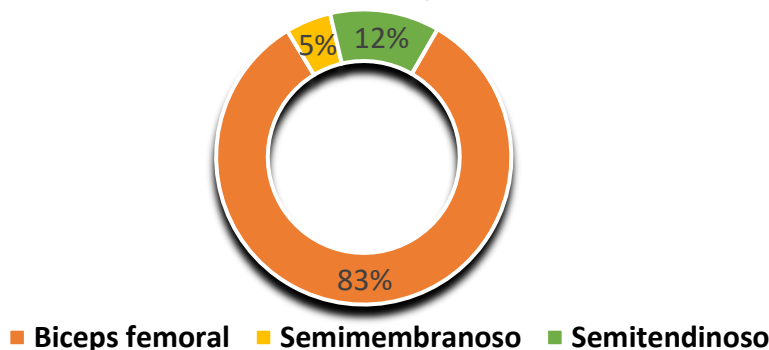


Figura 7 Porcentaje de lesiones en los músculos isquiotibiales. Elaboración propia

En un estudio llevado a cabo por Hallén et al.³, se investigaron los días de inactividad en jugadores con lesiones de isquiotibiales y los resultados mostraron que el tiempo promedio de ausencia para las lesiones de grado 0 fue de 9 ± 7 días, con una mediana de 8 días. Las lesiones de grado 1 requirieron un promedio de 14 días de inactividad, las de grado 2 tuvieron un tiempo de recuperación de 19 días, y las de grado 3 fueron las más graves con un tiempo medio de ausencia de 59 días³.

En relación con la reincidencia de lesiones, se observó que, las lesiones recurrentes ocurren con menor frecuencia que las nuevas lesiones, con una tasa de 1.3 frente a 7.0 lesiones por cada 1000 horas de exposición³⁴. La recurrencia de lesiones fue más frecuente en el bíceps femoral con una tasa del 18%, mientras que las lesiones en el semitendinoso y el semimembranoso presentaron una tasa de recurrencia mucho menor de solo el 2% en conjunto³. Recientes estudios han demostrado que la mayoría de las lesiones recurrentes, en su mayoría de músculos y tendones de las extremidades inferiores, se producen dentro de los dos primeros meses tras el retorno a la actividad deportiva³⁴. Asimismo, un análisis de las tendencias a lo largo del tiempo mostró un incremento anual promedio del 2.3% en la tasa total de lesiones de isquiotibiales durante un período de 13 años. Las tasas de lesiones de isquiotibiales asociadas al entrenamiento han experimentado un aumento notable³³. Hasta un 30% de estas lesiones pueden recurrir si no se manejan adecuadamente.³⁵

1.1.4 Factores de riesgo

Las HSI son un problema multifactorial, lo que significa que no existe un único factor que explique su aparición. Según la literatura revisada, se destacan varios factores de riesgo importantes. En primer lugar, las lesiones previas de isquiotibiales son un factor clave^{35,36}, ya que aumentan 11.6 veces la probabilidad de que ocurra una nueva lesión³⁷. La fatiga también juega un papel fundamental, siendo más común que las lesiones ocurran al final de los partidos de fútbol³⁸ o como resultado de una carga excesiva de entrenamiento, especialmente en sesiones de alta velocidad³⁹. Se ha sugerido que la fatiga puede generar descoordinación entre los tres músculos isquiotibiales biarticulares⁴⁰.

Otra causa relevante es una rehabilitación y readaptación deportiva inadecuada de una lesión previa, lo que puede generar tejido cicatricial y alterar la mecánica del estiramiento muscular. Este proceso puede reducir la flexibilidad, disminuir la fuerza excéntrica y provocar atrofia muscular, lo que afecta la biomecánica del miembro inferior y la longitud óptima del músculo, en la que se genera el pico de tensión³⁶. Además, la falta de fuerza constituye un factor crítico⁴¹⁻⁴³, ya que un déficit de entre el 8% y el 15% en la fuerza de la pierna puede incrementar el riesgo de lesiones^{44,45}. Un bajo ratio entre la fuerza de los isquiotibiales y los cuádriceps puede indicar la incapacidad de los isquiotibiales para frenar la inercia generada por los potentes músculos flexores de cadera y extensores de rodilla, lo que aumenta la probabilidad de lesión durante el golpeo del balón o al finalizar un *sprint*^{41,46}.

Se ha observado que una flexibilidad limitada^{41,42}, como una incapacidad para levantar la pierna recta más de 90°, puede predecir futuras lesiones en los isquiotibiales⁴⁷. Otros factores de riesgo incluyen la edad avanzada²⁴, una faja abdominal débil y un calentamiento inadecuado⁴⁸.

1.2 Sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento

La Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA), introduce el concepto de Dispositivo de Seguimiento Electrónico del Rendimiento (DSER), conocido en inglés como

*Electronic Performance & Tracking Systems (EPTS)*⁶, que se define como una tecnología diseñada para monitorizar tanto a jugadores como a equipos, con el objetivo de optimizar su desempeño en el campo. Estos sistemas, cuyo principal propósito es realizar el seguimiento de las posiciones de los jugadores durante el transcurso de un partido, también pueden integrarse con dispositivos microelectromecánicos, tales como acelerómetros y giróscopos, con el fin de obtener datos adicionales sobre el movimiento y las dinámicas de los atletas⁴⁹.

Los EPTS se dividen en tres categorías principales, según la tecnología empleada⁵⁰. En primer lugar, los sistemas semiautomáticos basados en el análisis de video (VT, por sus siglas en inglés), consisten en un conjunto de cámaras computarizadas que no requieren que los jugadores porten ningún dispositivo⁵¹. En segundo lugar, el sistema global de navegación por satélite (GNSS por sus siglas en inglés), más conocidos como *Global Positioning System* (GPS), en los cuales el atleta debe llevar un dispositivo receptor que recibe señales de satélites para determinar su ubicación geográfica^{52,53}. Finalmente, los sistemas de posicionamiento local (LPS, por sus siglas en inglés)⁵⁴, que operan bajo un principio similar al de los GNSS, pero en este caso utilizan una red de antenas distribuidas en un área de medición para reemplazar a los satélites, proporcionando un sistema de referencia local^{54,55}. Dentro de esta categoría, los sistemas de posicionamiento pueden ser clasificados según su tecnología, en infrarrojos, radiofrecuencia, Ultra-Wideband (UWB) o ultrasonido⁵⁶.

Estos sistemas calculan la localización de los jugadores utilizando diversos algoritmos, como el tiempo de vuelo, diferencia de tiempo de llegada, ángulo de llegada, diferencia de frecuencia de llegada o el *doppler* diferencial, así como algoritmos híbridos para mejorar la precisión del posicionamiento^{56,57}.

Los EPTS facilitan el análisis de datos en tiempo real, lo que permite al cuerpo técnico acceder a información clave durante el desarrollo de un entrenamiento o de un partido. Gracias a esto, se obtiene retroalimentación inmediata sobre el desempeño de los

jugadores, lo que habilita la toma de decisiones rápidas y fundamentadas en métricas observables ⁵⁸.

A partir de la década de 2010, los sistemas de seguimiento óptico se expandieron progresivamente en las principales ligas de fútbol, al mismo tiempo que aumentó el uso de dispositivos de GNSS. Este fenómeno comenzó en los entornos de entrenamiento y se fue extendiendo a los partidos oficiales. Como resultado, estos sistemas fueron reconocidos como una tecnología emergente, con el potencial de proporcionar beneficios tanto a los jugadores como a los entrenadores y al personal médico, al permitir un seguimiento más preciso y en tiempo real del rendimiento y la condición física de los deportistas ⁵⁹.

1.2.1 Características de los sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento basados en sistemas de navegación global por satélite

En la actualidad, el sistema global de navegación por satélite (GNSS) se han consolidado como una de las tecnologías más empleadas en el análisis del rendimiento deportivo, especialmente en el marco de los sistemas electrónicos de seguimiento de rendimiento (EPTS). Originalmente desarrollados para aplicaciones militares⁶ y científicas, estos sistemas han experimentado una evolución significativa, lo que ha facilitado su adaptación a diversas áreas. En particular, su implementación en deportes colectivos ha permitido la cuantificación precisa de la carga externa durante los entrenamientos, proporcionando datos clave para la optimización del rendimiento y la prevención de lesiones ^{52,60,61}.

El término GNSS engloba una serie de sistemas de navegación satelital interconectados ⁵³. En la actualidad, existen seis constelaciones principales de satélites, cada una con una cantidad específica de satélites en órbita ⁶. La constelación Galileo, utilizada en Europa, está compuesta por 24 satélites; GLONASS, el sistema ruso, dispone de 29 satélites; el sistema GPS estadounidense cuenta con 31 satélites; Beidou, operado por China, incluye 24 satélites; el sistema NAVIC de India consta de 4 satélites; y la constelación QZSS en Japón está formada por 3 satélites ⁶. No obstante, para lograr un

posicionamiento fiable y exacto, es esencial contar con un mínimo de 24 satélites activos en el sistema global ⁵². Para obtener la localización precisa de un jugador, se requiere la detección de al menos cuatro satélites (Figura 8), lo que, a través de la trilateración tridimensional, permite calcular con exactitud las coordenadas geográficas (longitud, latitud y altitud) y el tiempo, fundamentales para el análisis del rendimiento deportivo ⁵².

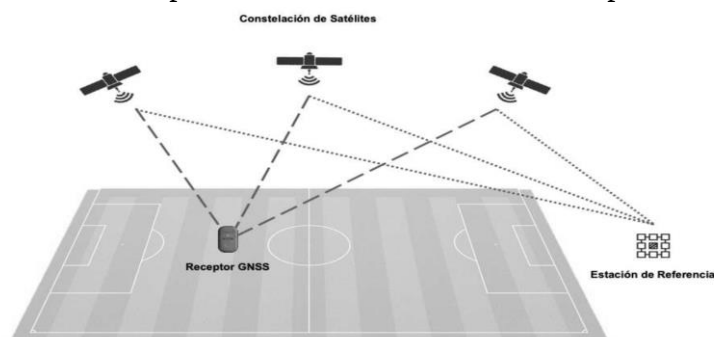


Figura 8. Registro del posicionamiento con GNSS. Tomado de Rico-González M, Gómez-Carmona CD, Rojas-Valverde D, Los Arcos A, Pino-Ortega -J. Electronic Performance & Tracking Systems (EPTS): Practical applications in team sports. Rev. Inv.[Internet] Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/337769097>

Un aspecto fundamental al emplear los dispositivos EPTS para el seguimiento del posicionamiento espacial de los futbolistas es la frecuencia de muestreo, que se mide en Hercios (Hz) ⁶². Este parámetro refleja la cantidad de datos que se registran por segundo, y si bien está relacionado con los sensores incorporados en los dispositivos, no depende exclusivamente del dispositivo EPTS en su totalidad. Una frecuencia de muestreo más elevada genera una mayor cantidad de información por unidad de tiempo, pero es importante señalar que un aumento en la frecuencia no siempre se traduce en una mejora en la calidad de los resultados obtenidos ⁶².

La mayoría de los EPTS están equipados con sensores inerciales, los cuales permiten medir diferentes parámetros relacionados con el movimiento de los jugadores, como la aceleración, la velocidad angular y el desplazamiento, a través de acelerómetros y giroscopios. Estos sensores generan variables clave que permiten evaluar el rendimiento deportivo ⁶³. Aunque esta tecnología existe desde hace tiempo, fue en la década de 1980

cuando se desarrolló el primer sensor inercial basado en la tecnología microelectromecánica (MEMS), lo que marcó un hito en su evolución.^{63,64}

En la actualidad, los dispositivos portátiles diseñados para cuantificar métricas de rendimiento se han integrado de manera generalizada en el ámbito deportivo⁵⁸. Un enfoque particularmente relevante dentro de este contexto es el uso de dispositivos que incorporan la Unidad de Medición Inercial (IMU), los cuales se emplean para analizar el movimiento en diversas disciplinas deportivas⁶⁵. Los sensores IMU combinan acelerómetros, giroscopios y magnetómetros, lo que permite medir variables como la velocidad angular, la rotación y las fuerzas gravitacionales⁶⁶.

En el marco de la presente investigación, se detallarán los sensores de tipo acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, ya que serán los encargados de proporcionar las variables necesarias para el análisis del rendimiento de los futbolistas.

El acelerómetro es un dispositivo electromecánico diseñado para medir fuerzas de aceleración, estáticas como dinámicas⁶⁷. Los acelerómetros que integran los sistemas inerciales se fabrican utilizando tecnología MEMS, y consisten en celdas capacitivas, formadas por placas fijas y placas móviles acopladas a una masa. Estos componentes permiten la detección de variaciones en la capacitancia, lo que genera una señal eléctrica proporcional a la aceleración⁶⁸. Dentro de los acelerómetros MEMS, se encuentran tres categorías principales: el acelerómetro capacitivo de silicio, el piezorresistivo y el térmico, siendo los acelerómetros capacitivos de silicio los más utilizados en la práctica⁶⁷.

En términos de funcionamiento, el acelerómetro permanece en reposo cuando no se ve afectado por fuerzas de aceleración; es decir, cuando el dispositivo está inmóvil o se mueve a velocidad constante. No obstante, al experimentar una aceleración, se genera una fuerza en dirección opuesta al movimiento, lo que provoca un desplazamiento del sistema. Este desplazamiento da lugar a una modificación en la capacitancia, resultando en un voltaje de salida que es proporcional a la magnitud de la aceleración a la que está siendo sometido el dispositivo⁶⁷.

Los acelerómetros de los dispositivos EPTS se colocan de forma que sus ejes de medición se disponen perpendiculares entre sí⁶⁹. Esto permite que el acelerómetro triaxial registre la aceleración total a lo largo de los tres ejes espaciales, en relación con el sistema de coordenadas del propio dispositivo. Al medir tanto la frecuencia como la magnitud de los movimientos, el acelerómetro es capaz de calcular la aceleración inercial del atleta, también denominada fuerza G⁷⁰.

El giroscopio es un sensor electromecánico que se utiliza para medir la velocidad angular de un objeto, basándose en el principio del "Efecto de Coriolis". Este efecto se refiere a la aceleración relativa experimentada por un cuerpo dentro de un sistema en rotación, y se caracteriza por ser perpendicular tanto al eje de rotación del sistema como a la velocidad del cuerpo⁷¹. En los dispositivos EPTS, los giroscopios emplean una configuración conocida como “de horquilla vibrante”, que está compuesta por dos masas que oscilan en direcciones opuestas de forma continua⁷². Estos giroscopios, dispuestos en un patrón ortogonal similar al de los acelerómetros, permiten medir la rotación tridimensional del objeto⁶⁵.

Los magnetómetros son sensores especializados en la medición del campo magnético, particularmente en la detección del campo magnético terrestre. Estos dispositivos son de tipo MEMS⁶⁶. Los sensores AMR (*Anisotropic Magneto Resistive*) son los utilizados para medir estos cambios, lo que provoca una variación en el voltaje que permite al magnetómetro determinar la dirección hacia el norte magnético⁷³. En el ámbito del rendimiento deportivo, los magnetómetros pueden resultar valiosos, ya que los datos obtenidos de estos sensores pueden combinarse con los registros de acelerómetros y giroscopios, permitiendo una evaluación más precisa del movimiento, la orientación y la dirección de los jugadores durante el entrenamiento y la competición⁷³.

1.2.2 Validez y fiabilidad del sistema de seguimiento electrónico de rendimiento “real track wimu pro”

El Departamento de Innovación Tecnológica del Fútbol de la FIFA ha dedicado varios años a la estandarización de los sistemas electrónicos de seguimiento del rendimiento (EPTS), lo que ha permitido establecer normativas específicas para su uso en competiciones oficiales⁵⁹. Para que estos dispositivos sean aptos para su implementación en eventos oficiales, deben cumplir con el estándar *International Match Standard* (IMS), como parte del Programa de Calidad de la FIFA para dispositivos portátiles de monitoreo del rendimiento de los jugadores⁵⁹. Con el fin de obtener la certificación IMS, todos los dispositivos deben pasar una serie de pruebas que se realizan en un laboratorio independiente⁵⁹. Es importante señalar que estas evaluaciones se limitan exclusivamente a los dispositivos EPTS portátiles. A continuación, se detallan los sistemas que han obtenido la certificación IMS (Figura 9).

Compañía	País
Advanced Sport Instruments SA	Suiza
Catapult	Australia
Exelio Srl	Italia
Fitogether Inc.	Corea del Sur
STATSports Group LTD	Irlanda del Norte
REALTRACK SYSTEMS S.L.	España
STATS Sports Data and Technology Ireland Limited	Irlanda
Visuallex Sport International Ltd	Nueva Zelanda
Polar Electro Oy	Finlandia

Figura 9. Empresas que han obtenido el certificado IMS otorgado por FIFA. Tomado de Federación Internacional Fútbol Asociación s.f. [Internet] Disponible en <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-qualityperformance-reports-for-epts/>.

Con el objetivo de apoyar a los organizadores de ligas y competiciones en la aprobación del uso de dispositivos EPTS, la FIFA ha introducido, junto con las normativas previas, un estándar adicional aprobado por la *International Football Association Board* (IFAB)⁷⁴. Este nuevo estándar establece los requisitos de fiabilidad y precisión de los datos

generados por los dispositivos EPTS⁷⁴. En la Figura 10 se presentan los sistemas que han obtenido la certificación FIFA *Quality*.

Compañía	Dispositivo	GNSS	LPS	VT
Catapult	S5	✓		
Catapult	Vector	✓	✓	
ChyronHego	TRACAB Gen5			✓
Realtrack	WIMU PRO	✓	✓	
STATSports	Apex	✓		
Track160	Coach 160			✓

Figura 10. Sistemas certificados con sello FIFA Quality Tomado de Inside FIFA [Internet]
 Disponible en: <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-qualityprogramme-for-epts/>.

Aughey⁵³ destaca que el sistema WIMU-GPS se considera una herramienta práctica y confiable para la medición de la distancia total recorrida durante los movimientos en deportes de equipo, así como en *sprints* rectos. En un estudio posterior, Muñoz et al.⁷⁵ evaluaron el modelo WIMU con frecuencia de muestreo de 5 Hz en comparación con el modelo de 10 Hz., los resultados de su análisis indicaron que ambos modelos proporcionaban una precisión suficiente para medir la distancia total durante las actividades deportivas de equipo.

A medida que la tecnología ha evolucionado, los dispositivos han incrementado su capacidad para ofrecer mayores frecuencias de muestreo. Los dispositivos con frecuencias de 10 Hz y 15 Hz han mostrado una validez y fiabilidad superiores en comparación con aquellos de 1 Hz o 5 Hz⁷⁶. En particular, los modelos de 10 Hz y 15 Hz han demostrado ser más confiables para evaluar los patrones de movimiento en deportes de equipo⁷⁶. Mientras que los dispositivos de 1 Hz y 5 Hz, aunque son válidos y fiables para medir variables como la distancia total recorrida, presentan limitaciones en la medición de velocidades

elevadas y aceleraciones. Por el contrario, los dispositivos de 10 Hz y 15 Hz se han mostrado más efectivos en la medición de acciones de alta intensidad, como los *sprints*, los cambios de dirección y los patrones de movimiento específicos del fútbol ⁷⁷.

Bastida et al.⁵⁰ realizaron un estudio para analizar la validez y fiabilidad del dispositivo inercial WIMU Pro en la monitorización del posicionamiento en el balonmano. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema de localización UWB del “WIMU Pro” proporciona datos de posición con una alta precisión y una buena fiabilidad ⁷⁸.

1.2.3 Variables de los sistemas de seguimiento electrónicos de rendimiento para el análisis de la readaptación deportiva

Los EPTS generan una cantidad considerable de datos, lo que hace indispensable aplicar un proceso de filtrado y selección antes de su análisis. Estos datos, a su vez, se pueden clasificar en cuatro grupos principales: variables fisiológicas, variables de análisis cinemático, análisis neuromuscular y análisis táctico ⁷⁹.

En el contexto de esta investigación, se hará especial énfasis en las variables relacionadas con la carga externa, específicamente aquellas que permiten evaluar el estrés mecánico y locomotor generado durante la actividad deportiva. Dichas variables de carga externa (eTL) se dividen en dos categorías principales: la carga cinemática y la carga neuromuscular ^{52,80}. La carga cinemática involucra la medición de los patrones de movimiento, tales como las distancias recorridas, ya sea en términos absolutos o relativos, a través de tecnologías de localización como los sistemas GNSS ⁵². Por su parte, el análisis neuromuscular se basa en el uso de sensores MEMS, como acelerómetros triaxiales, giroscopios y magnetómetros, los cuales proporcionan datos precisos sobre el esfuerzo neuromuscular involucrado en las actividades físicas ⁸¹.

La distancia total recorrida (DT) es una de las variables fundamentales en el análisis del rendimiento en el fútbol y ha sido ampliamente investigada en la literatura científica ⁵². Aunque la DT proporciona información valiosa sobre el esfuerzo físico, no es suficiente para evaluar de manera integral la intensidad del rendimiento ⁸². Para una

evaluación más precisa de la carga física, es indispensable analizar no solo la distancia total recorrida, sino también las distancias recorridas a diferentes velocidades⁸², dado que este aspecto refleja de manera más adecuada las variaciones en la exigencia física a lo largo del entrenamiento o partido.

Los estudios que analizan el movimiento de los jugadores de fútbol suelen clasificar las distancias recorridas en varias categorías de velocidad de carrera. No obstante, la definición precisa de los umbrales de velocidad para cada una de estas categorías presenta algunas inconsistencias entre los diferentes estudios⁸³. Por lo general, los investigadores consideran que cualquier movimiento que supere un umbral de velocidad predefinido, que varía entre los 18 y 30 km/h, debe ser clasificado como un esfuerzo de alta intensidad⁸⁴. En este sentido, Casamichana et al.⁸⁵ establecieron este umbral en 21 km/h. En contraste, Bradley et al.⁸⁶ propusieron una clasificación de las velocidades basada en rangos específicos, que incluye: reposo (0 – 0.6 km/h), caminata (0.7 – 7.1 km/h), trote (7.2 – 14.3 km/h), carrera moderada (14.4 – 19.7 km/h), alta velocidad de carrera (19.8 – 25.1 km/h) y *sprint* (superior a 25.1 km/h)⁸⁶.

Un aspecto ampliamente consensuado en la literatura es la importancia de las distancias recorridas a velocidades elevadas para el rendimiento en fútbol. La distancia recorrida a alta velocidad (*High Speed Running*, HSR) y la distancia cubierta a *sprint* se reconocen como variables clave en la evaluación del rendimiento de los jugadores durante los partidos⁸⁷. En relación con la definición del umbral a partir del cual se considera una velocidad como *sprint*, diversas investigaciones han propuesto valores como 21 km/h^{83,88}.

Aparte de la distancia recorrida y su clasificación en diferentes rangos de velocidad, otras variables también juegan un papel esencial en la evaluación del rendimiento físico de los futbolistas, tales como las aceleraciones y desaceleraciones. Las aceleraciones representan procesos metabólicos que requieren un alto consumo de energía, lo que resulta en un aumento significativo del gasto energético y una mayor fatiga

muscular, en comparación con el esfuerzo asociado a un desplazamiento a una velocidad constante ⁸⁹.

Los dispositivos EPTS proporcionan mediciones precisas del cambio de velocidad, expresado en m/s^2 ^{83,89,90}. Estas variables han sido estudiadas en relación con categorías de intensidad específicas, utilizando principalmente umbrales absolutos, aunque hoy en día también se emplean umbrales relativos que se basan en la capacidad máxima de aceleración y desaceleración individual de cada jugador ⁸³.

En la literatura especializada y en el ámbito del alto rendimiento deportivo, las aceleraciones y desaceleraciones se contabilizan en términos del número de eventos ocurridos, los umbrales más utilizados para clasificarlas son: $1-2 m/s^2$, $2-3 m/s^2$ y $> 3 m/s^2$ ^{89,91,92}. Estas variables son cruciales para evaluar la carga neuromuscular y el grado de fatiga en los jugadores ^{87,92}.

En particular, el número de aceleraciones por minuto (acc/min) se ha identificado como el indicador de carga externa más directamente relacionado con la percepción subjetiva de la intensidad del esfuerzo ⁹³. Finalmente, en la Tabla 1 se presentan las principales variables de rendimiento recopiladas por el WIMU PRO⁹⁴, las cuales se utilizaron para cuantificar la carga externa en el proceso de readaptación en campo en función del posicionamiento y desplazamiento del jugador en el terreno de juego.

Tabla 1. Principales variables para la cuantificación de la carga externa

Variable	UM	Descripción
Tiempo de trabajo (Dur)	Minutos (min)	Duración de la sesión
Distancia Total (Dt)	Metros (m)	Distancia total recorrida por el jugador
Carrera a alta velocidad (HSR)	Metros (m)	Distancia total recorrida a velocidades superiores de 21 km/h
Sprint Absolutos	Metros (m)	Distancia recorrida por encima del umbral de velocidad absoluto de sprint (por defecto (24 km/h)

HSR + Sprints	Contador	Número de veces en el que el jugador está por encima de 21 km/h, es decir, cada vez que el jugador entra en la zona de HSR.
Máxima velocidad (MaxSp)	Km/h	Velocidad máxima alcanzada por el jugador.
Aceleraciones (Acc +3)	Contador	Número de aceleraciones por encima de 3 m/s ² .
Desaceleraciones (Dcc +3)	Contador	Número de desaceleraciones por encima de -3m/s ² .

Nota: Elaboración propia

1.3 Rehabilitación deportiva en lesiones musculares

El inicio de cualquier proceso de rehabilitación deportiva debe basarse en una evaluación exhaustiva del paciente. Esta fase inicial implica una valoración detallada del tipo y la gravedad de la lesión, así como la recopilación del historial médico del deportista, lo cual es esencial para obtener una comprensión completa de su condición y diseñar un plan de tratamiento adecuado^{26,27}. Asimismo, es necesario realizar una evaluación funcional que examine parámetros clave como el rango de movimiento, la fuerza y la estabilidad de la región afectada. Esta valoración integral proporciona la información necesaria para elaborar un plan de rehabilitación individualizado, garantizando que el programa de tratamiento se ajuste de manera óptima a las necesidades específicas del atleta⁹⁵.

Los protocolos de rehabilitación para las HSI se desarrollan a través de fases secuenciales, cada una con objetivos específicos orientados a la recuperación funcional progresiva del atleta. Durante la fase aguda, que puede extenderse desde unos días hasta varias semanas, el objetivo principal es la gestión del dolor y la inflamación. En esta etapa, se implementan intervenciones como el reposo, la aplicación de hielo, la elevación y la compresión, con el fin de minimizar el daño adicional y preparar el tejido afectado para la regeneración⁹⁶.

A medida que la inflamación disminuye, se transita hacia la fase subaguda, en la que se incorporan ejercicios de movilidad y actividades de bajo impacto⁹⁷. El propósito en esta fase es mejorar la flexibilidad y restaurar gradualmente la funcionalidad del músculo sin generar dolor o incomodidad. Consecuentemente, en la fase de fortalecimiento, que puede durar desde varias semanas hasta meses, el enfoque se desplaza hacia el desarrollo de la fuerza y la resistencia muscular de los isquiotibiales⁹⁸. Posteriormente, en la fase de retorno a la actividad, se prepara al paciente para su reintegración plena en las actividades deportivas, mediante entrenamientos específicos y ejercicios que simulan las demandas físicas del deporte⁹⁵.

Un aspecto crítico de la rehabilitación es la prevención, para lo cual es esencial establecer programas de mantenimiento y proporcionar educación continua al paciente sobre la importancia de una técnica adecuada, lo que contribuye a reducir el riesgo de nuevas lesiones^{99,100}. Además, la educación y el autocontrol desempeñan un papel fundamental en el proceso rehabilitador. Incluir al paciente en la comprensión de su lesión, las estrategias de recuperación empleadas y las medidas preventivas para evitar recaídas no solo mejora la adherencia al tratamiento, sino que también fortalece su autonomía, promoviendo una mayor participación en su propio proceso de recuperación⁹⁸.

La rehabilitación debe concebirse como un proceso dinámico, que requiere la realización de evaluaciones periódicas para monitorear los avances y hacer los ajustes necesarios en el protocolo. Este enfoque flexible asegura que el tratamiento se adapte de manera continua a las necesidades cambiantes del atleta, promoviendo una recuperación tanto efectiva como sostenible a largo plazo¹⁰¹.

Finalmente, un enfoque multidisciplinario que involucra la colaboración de fisioterapeutas, médicos y entrenadores es crucial para optimizar el proceso de rehabilitación. Este modelo permite atender de manera integral las diversas necesidades del atleta, garantizando un tratamiento personalizado y ajustado a los requisitos específicos de su recuperación¹⁰².

1.4 Readaptación deportiva

La readaptación deportiva es un componente esencial dentro del fútbol, ya que tiene un impacto directo en la recuperación de lesiones y en la optimización del rendimiento individual de los jugadores. Este proceso no solo mejora la condición física del atleta, sino que también juega un papel clave en el éxito del equipo, ya que su efectividad contribuye significativamente a la recuperación global y al rendimiento colectivo en la competición ¹⁰³.

1.4.1 Conceptualización

Los primeros esfuerzos por conceptualizar el entrenamiento diseñado para adaptar al deportista a los esfuerzos físicos previos, durante y después de una lesión se atribuyen al profesor Seirul-lo, quien introdujo el término "entrenamiento coadyuvante" ¹⁰⁴. Este enfoque agrupa las modalidades de entrenamiento que complementan la rehabilitación, ayudando no solo en la prevención de lesiones, sino también en la mejora de la eficacia de la terapia post-lesional ¹⁰⁴. Desde entonces, diversos autores han continuado desarrollando y refinando este concepto. Según Lloret ¹⁰⁵ sugiere que la readaptación deportiva puede entenderse como un componente de la rehabilitación que emplea el movimiento generado por la actividad muscular con fines terapéuticos.

Para Caparrós et al. ¹⁰³ la readaptación deportiva se entiende como un proceso integral y sistematizado cuyo propósito fundamental es la restitución de la funcionalidad física del deportista tras la ocurrencia de una lesión. Este proceso es multidisciplinario, que requiere la intervención de profesionales especializados como médicos, fisioterapeutas, preparadores físicos, psicólogos y directores técnicos. La colaboración interdisciplinaria en este contexto es esencial para optimizar los tiempos de recuperación y asegurar el retorno seguro y eficiente del deportista a su nivel de rendimiento previo a la lesión ^{103,106}.

En su tesis doctoral, Lesma L. ¹⁰⁷ resume, con base a los conceptos de autores anteriores, el proceso de readaptación como el método de trabajo diseñado para planificar el

retorno a la competición de un deportista que ha experimentado una lesión. Este proceso es concebido como la continuación del tratamiento rehabilitador, con el objetivo de evitar una transición abrupta entre la rehabilitación y el entrenamiento deportivo ¹⁰⁷.

En el campo de la readaptación deportiva, se han establecido diversas fases consecutivas que permiten al atleta recuperar su capacidad de desempeño. Cada una de estas fases tiene un enfoque y objetivo específicos, y todas están intrínsecamente relacionadas, siendo esenciales para una reincorporación efectiva al deporte tras una lesión.

El proceso inicia con el concepto de regreso a la participación en el deporte (*Return to Participation*), que se refiere a la etapa en la cual el deportista reanuda algunas actividades físicas, pero aún no está en condiciones de tolerar las demandas fisiológicas y físicas requeridas para el entrenamiento intenso o la competencia ¹⁰⁸⁻¹¹¹. Este primer paso establece las bases para un retorno gradual a la actividad, asegurando que el atleta no se someta a una sobrecarga prematura ¹⁰³.

El siguiente paso es el regreso al entrenamiento (*Return to Training*), donde el atleta empieza a participar activamente en las sesiones de entrenamiento bajo la supervisión de un equipo multidisciplinario. En esta fase, se monitorean cuidadosamente las cargas de trabajo para garantizar un aumento progresivo de la intensidad, tanto en términos de carga aguda como crónica ¹¹²⁻¹¹⁴. Este proceso permite al deportista adaptarse a las exigencias de los entrenamientos de forma segura, reduciendo el riesgo de recaídas o nuevas lesiones. Cuando el atleta alcanza un nivel adecuado de preparación física y técnica, se considera que ha llegado al regreso al deporte (*Return to Sport*), lo que implica su plena reintegración a las actividades competitivas, con la autorización del cuerpo técnico para participar sin restricciones ¹¹⁴⁻¹¹⁶. Este concepto es equivalente al conocido *Return to Play* ^{2,103,117}, especialmente en disciplinas de equipo, y marca el fin de la fase de readaptación formal ¹⁰³.

Finalmente, el proceso culmina con el regreso al rendimiento (*Return to Performance*), que se refiere a la fase en la que el deportista ha alcanzado un nivel de rendimiento óptimo, entrenando de manera regular y con un rendimiento comparable al que

tenía antes de la lesión^{109,110,118}. Esta fase marca la plena recuperación, donde el atleta ya no solo se ha reincorporado al entrenamiento, sino que también ha demostrado estar en condiciones de competir al más alto nivel¹⁰³.

Para garantizar una transición segura entre las distintas fases de la readaptación deportiva, es fundamental distinguir los dos tipos de altas que un deportista puede recibir: el alta médica y el alta deportiva. Ambas decisiones recaen bajo la supervisión y competencia del equipo médico^{108,119}. El alta médica es otorgada cuando el deportista ha alcanzado una recuperación completa de la lesión, demostrando una funcionalidad plena en la zona afectada¹⁰⁸. Esta alta señala que, en términos de salud, el jugador ya no presenta limitaciones físicas derivadas de la lesión¹⁰³. Posteriormente, el alta deportiva se concede cuando el futbolista ha recuperado no solo su capacidad funcional, sino también su preparación física y técnica para competir de manera efectiva, sin riesgos para su rendimiento o su bienestar¹⁰⁸.

1.4.2 Papel del readaptador deportivo

La readaptación deportiva se define como un proceso estructurado cuyo objetivo es devolver al deportista a su nivel óptimo de funcionalidad tras una lesión^{103,106}. Este proceso, debe ser realizado bajo la supervisión de un equipo de multidisciplinario de profesionales que involucre a el equipo médico, fisioterapeutas, entrenadores y al readaptador deportivo, quien desempeña un papel crucial en esta fase, actuando como un puente entre el fisioterapeuta y el preparador físico¹²⁰.

El readaptador deportivo es un profesional titulado que posee un conocimiento profundo de la anatomía, la fisiología, la rehabilitación, el entrenamiento y la prescripción de ejercicio. Además, este especialista debe tener habilidades para la interacción social con los pacientes, asegurando una relación efectiva durante el proceso de recuperación¹⁰³. Su responsabilidad principal radica en diseñar y dirigir las sesiones de trabajo para el deportista lesionado, lo cual requiere una planificación rigurosa y una monitorización constante.

El proceso de readaptación debe estar basado en objetivos bien definidos a corto, medio y largo plazo, que apunten a la recuperación de las habilidades específicas del deporte. Estos incluyen movimientos funcionales que integren elementos clave como el control neuromuscular, tanto estático como dinámico, así como la capacidad de realizar movimientos imprevistos, explosivos y direccionales ^{106,121-123}, todo dentro de un contexto que favorezca la individualización del trabajo¹²¹.

En todo momento, es fundamental recordar que, más allá de la contribución de los profesionales, el verdadero protagonista del proceso es el propio futbolista, cuya dedicación y compromiso son esenciales para la eficacia de la readaptación¹⁰³.

1.4.3 Vía para el retorno al rendimiento en el futbol profesional

En este sentido, Mitchell ¹²⁴ explica que el retorno al rendimiento de los futbolistas debe basarse en un enfoque claro y respaldado por evidencia, ya que esto constituye una guía fundamental para los profesionales de alto rendimiento, al asistir a los jugadores desde el momento inicial de la lesión hasta su reintegración al rendimiento competitivo y mitigar el riesgo de recurrencia de lesiones.

El enfoque propuesto por Mitchell ¹²⁴ para el retorno al rendimiento se estructura en once fases distintas, asegurando que los deportistas no solo se recuperen completamente de la lesión, sino que también estén plenamente preparados para rendir al más alto nivel una vez más. La primera fase, implica un diagnóstico preciso y una planificación detallada de la recuperación, con objetivos claros y la gestión adecuada de las expectativas del jugador desde el principio¹⁰³. La implicación del atleta, proporcionándole total transparencia sobre las etapas del proceso, refuerza su confianza en el plan de recuperación ¹²⁵.

En la fase aguda, la atención se concentra en el control del dolor y la protección de la zona lesionada, al mismo tiempo que se mantiene el acondicionamiento general. Durante esta fase, se pueden iniciar ejercicios de bajo nivel para restaurar la amplitud de movimiento, evitar la atrofia muscular y recuperar el control neuromuscular¹²⁶.

De acuerdo con Mitchell ¹²⁴, superando estos dos primeros períodos, el proceso de readaptación pasa a abordarse en unas siguientes tres fases dentro del gimnasio, con el objetivo de restaurar el movimiento, reconstruir la fuerza y preparar al jugador para la transición a la actividad deportiva, con un acondicionamiento específico según las necesidades del deporte practicado.

La primera fase se enfoca en la movilización activa precoz, promoviendo beneficios tanto mecánicos como circulatorios¹²⁷, siempre que se mantenga la ausencia de síntomas ¹⁰³. Esta etapa se caracteriza por la ejecución de ejercicios en cadena cinética cerrada (CCC), así como por el uso de acciones musculares isométricas o dinámicas, limitadas a rangos de movimiento internos o moderados. Su objetivo principal es mejorar las capacidades físicas generales y las funciones cognitivas fundamentales para el desempeño deportivo¹⁰³. En la segunda y tercera de gimnasio, el enfoque se orienta hacia el aumento progresivo de la funcionalidad, la intensidad y la carga en los ejercicios¹⁰³.

Durante estas etapas, se introduce la cadena cinética abierta (CCA) y se amplían los rangos de movimiento, lo que permite trabajar movimientos musculares concéntricos¹²⁸. Este enfoque tiene como propósito adaptar el entrenamiento a los movimientos específicos requeridos por la modalidad deportiva, asegurando así una readaptación más personalizada y eficaz ^{103,124}.

Una vez completadas las tres fases en el gimnasio, Mitchell ¹²⁴ propone continuar con un enfoque progresivo de readaptación sobre césped, dividido en seis fases adicionales. En estas etapas, los jugadores se reintegran al campo de manera gradual, con el objetivo de adaptarse a las intensidades y cargas competitivas, aunque estas se implementan dentro de un contexto controlado de entrenamiento.

La progresión de los ejercicios en estas fases se orienta a replicar la máxima carga y complejidad táctica de la modalidad deportiva, asegurando una transición adecuada hacia el nivel de rendimiento requerido en la competición. La reincorporación del atleta a los entrenamientos con el equipo se realiza de manera paulatina, con un enfoque tanto

cualitativo (intensidad) como cuantitativo (volumen)¹²⁹. En su mayoría, los ejercicios en estas fases se realizan en cadena cinética abierta (CCA), mientras que el desarrollo de la fuerza se centra en movimientos excéntricos¹⁰³.

Estos ejercicios controlados aumentan progresivamente en intensidad, garantizando la recuperación de capacidades clave como la velocidad, la agilidad y la confianza, todo en condiciones que simulan el entorno competitivo. Cada una de estas once fases cuenta con criterios precisos que los deportistas deben cumplir para progresar, utilizando pruebas fiables¹³⁰, no invasivas¹³¹, específicas¹³² e individuales^{133,134}. Esta metodología está diseñada para minimizar el riesgo de nuevas lesiones, garantizando un retorno seguro y efectivo al nivel competitivo ¹²⁴.

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño

Se presenta un estudio longitudinal con diseño de casos, enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, llevado a cabo durante un periodo de cuatro meses en jugadores activos de fútbol profesional registrados en la categoría Sub-23 del Club Tigres ante la Liga MX, quienes presentaron una lesión muscular en los isquiotibiales, diagnosticada por el área médica correspondiente. Este estudio se desarrolló durante la temporada Apertura 24-25 del torneo oficial de la Liga MX. En el marco del estudio, se realizaron mediciones tanto al inicio de la temporada como al término de la implementación del protocolo de readaptación.

2.2 Población de estudio

La población de estudio se presenta de manera detallada en la Figura 11, mediante un flujograma que describe el proceso de selección y clasificación de los participantes.

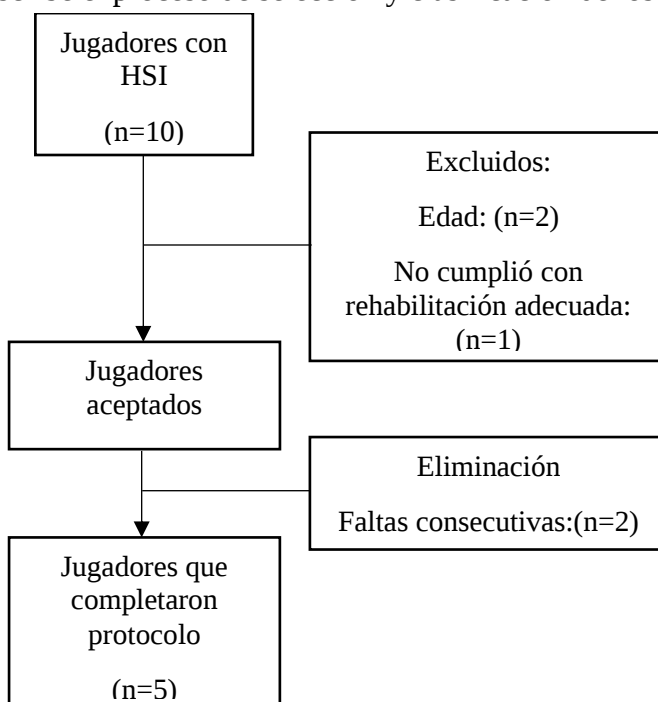


Figura 11. Flujograma de participación en el estudio

2.3 Muestreo y muestra

El tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico por conveniencia. La muestra de estudio estuvo conformada por cinco jugadores de un equipo de fútbol de la categoría sub-23 del Club Tigres de la 1ª División de la Liga Mx, con edades comprendidas entre los 18 y 23 años, durante la temporada apertura (2024/2025).

2.4 Criterios de inclusión

- Jugadores que presenten lesión por distensión en los isquiotibiales diagnosticada por el médico deportivo.
- Edades entre los 18 y 23 años.

2.5 Criterios de exclusión

- Jugadores con lesión en isquiotibiales de grado 3.
- No hayan cumplido el protocolo de rehabilitación física adecuado al grado de lesión.
- No hubiesen cumplido con el tiempo biológico de curación del tejido muscular de acuerdo con el grado de lesión avalado por el médico responsable.

2.6 Criterios de eliminación

- Jugadores que registren dos faltas consecutivas al protocolo de readaptación.

2.7 Instrumentos

A continuación, se describen los instrumentos utilizados para evaluar el protocolo de readaptación deportiva del área médica del Club Tigres.

2.7.1 Escala visual análoga dolor

La Escala Visual Análoga (EVA) es un instrumento empleado para evaluar de forma subjetiva la intensidad del dolor percibido por el paciente en un momento determinado ¹³⁵. (Figura 12). Esta escala se presenta como una línea recta de 10 cm de longitud, en la que un extremo indica la ausencia total de dolor ("sin dolor") y el otro extremo representa el dolor más intenso que una persona pueda imaginar ("el peor dolor

imaginable"). Los pacientes señalan en la línea el punto que considera más representativo de la intensidad del dolor que experimenta¹³⁶. Su simplicidad y facilidad de uso son factores clave que contribuyen a su efectividad en ambientes clínicos¹³⁵.

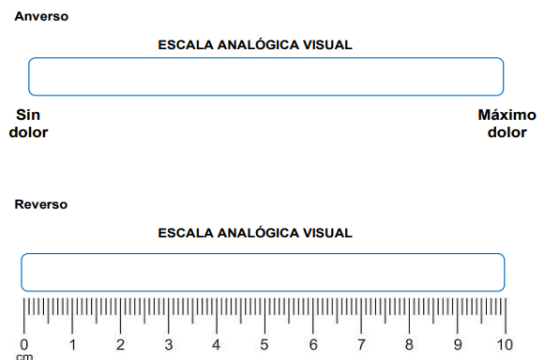


Figura 12. Escala Visual Analógica

Esta escala se utiliza en una amplia variedad de contextos clínicos, abarcando desde situaciones postoperatorias hasta enfermedades crónicas, y es adecuada para pacientes de diversas edades y con diferentes capacidades de comprensión¹³⁵.

La medición con la Escala Visual Análoga (EVA) se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos¹³⁶:

1. Presentación de la escala: Se presenta la línea al paciente, explicándole que debe identificar y señalar el punto que mejor refleje la intensidad de su dolor en ese momento.
2. Marcar el dolor: El paciente coloca una marca en la línea, señalando el nivel de dolor que experimenta en ese instante
3. Registro de datos: Se mide la distancia desde el inicio de la línea hasta el punto marcado por el paciente. Esta distancia se traduce en una puntuación que varía entre 0 y 10, donde un valor más alto indica una mayor intensidad del dolor experimentado.

2.7.2 Wimu pro

Para el presente estudio, se utilizó el dispositivo "WIMU PRO™" (Figura 13) fabricado por la empresa RealTrack Systems (Almería, España), el cual está diseñado para el monitoreo y análisis del rendimiento deportivo.

Este sistema cuenta con un microprocesador de 1 GHz, una memoria flash de 8 GB y una interfaz USB de alta velocidad, permitiendo la grabación, almacenamiento y transmisión de los datos obtenidos. El dispositivo es alimentado por una batería interna con una autonomía de 4 horas, tiene un peso de 70 gramos y sus dimensiones son de 81 x 45 x 16 milímetros. El "WIMU PRO™" integra múltiples sensores para el seguimiento del rendimiento, incluyendo cuatro acelerómetros, un giroscopio, un magnetómetro, un chip GNSS y otro chip UWB, entre otros. El chip UWB está integrado directamente en la unidad de medida inercial¹³⁷.

Este dispositivo es capaz de medir diversas variables relacionadas con el rendimiento físico y el estado del deportista^{49,58}. Las variables de interés para la presente investigación se detallan en la Tabla 1. Para la medición de las variables, el dispositivo WIMU PRO emplea sus sensores integrados, como el sistema GNSS, que permite calcular la distancia total recorrida y las velocidades alcanzadas durante las actividades en el campo⁵². Además, para identificar variaciones en la aceleración y la orientación, el dispositivo utiliza acelerómetros y giroscopios, lo que facilita el análisis detallado de movimientos específicos⁸¹.

Los datos recopilados por el dispositivo son enviados al software S PRO™ (versión 2.3.0), donde se procesan y se presentan visualmente en una Tablet Microsoft Surface GO (128 GB, Intel 4415Y, 8 GB RAM), para su posterior interpretación por los especialistas encargados del análisis¹³⁷.

A continuación, se detallan los pasos esenciales para el uso adecuado del dispositivo. En primer lugar, es fundamental cargar completamente el WIMU PRO antes de su utilización. Una vez cargado, se debe colocar el dispositivo en una funda ajustada,

diseñada específicamente para este propósito, que se lleva en la parte superior de la espalda, debajo de la camiseta, asegurando así una medición precisa sin interferencias. Es crucial que el dispositivo esté correctamente ajustado para evitar movimientos excesivos que puedan comprometer la precisión de los datos. Antes de comenzar la sesión, se activa el dispositivo para iniciar el registro de los datos¹³⁷.

Durante la actividad, el dispositivo recopila información en tiempo real, como la distancia recorrida, la velocidad, las aceleraciones, entre otras variables. Al finalizar la sesión, se retira el chaleco y el dispositivo se apaga para posteriormente descargar los datos registrados, los cuales se transfieren a una plataforma de análisis, generalmente a través de conexión Wi-Fi o Bluetooth¹³⁷.

El dispositivo WIMU PRO ha sido utilizado en múltiples investigaciones enfocadas en la medición del rendimiento deportivo^{76,77,138}. Dichos resultados han respaldado la eficacia del sistema de localización UWB integrado en el dispositivo, siendo apto para monitorear los datos de posición con precisión.



Figura 13. Dispositivo portátil hudi WIMU PRO Tomado de Manuals+ [Internet]
Disponible en: <https://manuals.plus/es/hudi/wimu-pro-wearable-devices-manual>

2.8 Intervención

Se realizó en un lapso de cuatro meses durante la temporada apertura 24-25 del torneo oficial de la Liga MX donde se realizaron mediciones al inicio de temporada, durante el protocolo para realizar las progresiones de trabajo, y al término de la realización del protocolo de readaptación a jugadores de la categoría sub-23 que hayan sufrido alguna

lesión en los isquiotibiales. Se compararon los datos finales entre los valores de referencia para tener argumentos y bases sólidas para determinar el regreso al juego del futbolista.

En la Figura 14, se presentan las distintas etapas del protocolo que lleva a cabo el Club Tigres para la vuelta al rendimiento (RTP).



Figura 14. Etapas de la lesión hasta el regreso al rendimiento Tomado de: Departamento de rehabilitación y recuperación física del Club Tigres

A continuación, se presenta el protocolo de readaptación que se diseñó de manera conjunta con el área médica y el área de rehabilitación y recuperación física del Club Tigres. Este programa está diseñado específicamente para la recuperación de lesiones en los isquiotibiales; En la Tabla 2, se detalla el protocolo para el tratamiento de un edema muscular en esta zona, mientras que en la Tabla 3 y Tabla 4 se expone el protocolo para abordar lesiones musculares en los isquiotibiales de Grado 1 y Grado 2.

Tabla 2. Protocolo edema muscular en isquiotibiales

Protocolo edema muscular							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
Objetivo	Disminuir sintomatología			Mejorar fuerza/ Trabajo de campo		Acondicionamiento / RTP	
Modalidades Fisioterapia	Electroterapia + Termoterapia Corriente Interferencia / US			Electroterapia + Termoterapia Corriente Interferencia / US		Terapia Manual	
Progresión gimnasio	Tren Inf. Bilateral Empuje / tracción	Tren inf transicional (HK)	Tren inf unilateral sin /carga	Tren inf bilateral / unilateral c/carga	Tren inf. unilateral c/carga	Excéntricos Pliometría	Pre Activación
Progresión aeróbica	*Bicicleta intensidad 3 *FC meta: 110-125 lpm *3 bloques 5''	Bicicleta baja intensidad 3 *FC meta: 110-125 lpm *2 bloques 10''	*Bicicleta intensidad "4" 1 bloque 10'' *Elíptica intensidad "4" 1 bloques 10''	Trote en caminadora 3 bloques 5'' 8 / 9 /10 km/h	Bicicleta intermitente 30 seg de alta int x 1 min de baja- 6''	Intermitente en campo 200 / 100 / 50 M 1800 metros	
Progresión campo				Entrenamiento cognitivo con desplazamiento	*3 vueltas de trote continuo 1000 mts.	*Cambios de dirección *Conducción	Neuromuscular con balón al 80 %
Evaluación				*Dolor EVA	Métricas GPS Duración del Trabajo/ Distancia Total	GPS Dur. Trabajo / MasxSp Distancia Total/ HSR/ Acc/Dec	
Requisitos para progresión	Asintomático en la ejecución de estos ejercicios			Asintomático en gimnasio y campo			

Nota Basado de: área médica y departamento de rehabilitación física del "Club Tigres".

Tabla 3. Protocolo desgarro muscular en isquiotibiales, etapa 1 y 2.

Protocolo / desgarro en isquiotibiales grado 1 - grado2							
	Etapa 1 (Dia 1 al Día 7)				Etapa 2 (Dia 8 al Día 14)		
Objetivo	Proteger área lesionada Mejorar movilidad / Comenzar a activar				Mejorar fuerza / Flexibilidad		
Modalidades Fisioterapia	Electroterapia + Termoterapia + Terapia Manual Corriente Interferencia / US				Electroterapia + Termoterapia + Terapia manual Corriente Interferencia / US		
Progresión gimnasio	Tren sup Empuje/ tracción C/ liga	Tren inf Bilateral Empuje / tracción	Tren inf transicional (HK)	Tren inf unilateral S/carga	Tren inf bilateral c/ carga	Tren inf transicional c/ carga	Tren inf unilateral c/ carga
Progresión aeróbica	Cardio con cuerdas	Bicicleta baja intensidad / 3 bloques 5 min	Remadora 3 bloques de 2 min	Elíptica 3 bloques de 5 min	Bicicleta intermitente 1 min de baja x 30 seg de alta intensidad - 6 min	Elíptica intermitente 1 min de baja intensidad x 30 seg de alta - 6 min	Trote en caminadora 8 km x 5 min
Evaluación	↓ Dolor elongación EVA						
Requisitos para progresión	Asintomático en la ejecución de ejercicios en gimnasio				Asintomático en contraresistencia	Asintomático en ejercicios de gimnasio	

Nota: Basado de: área médica y departamento de rehabilitación física del “Club Tigres”.

Tabla 4. Protocolo desgarro muscular en isquiotibiales, etapa 3 y 4.

Protocolo / desgarro en isquiotibiales grado 1 - grado2							
	Etapa 3 (Día 14 al Día 17)				Etapa 4 (Día 18 al Día 20)		
Objetivo	Trabajo de campo				Return to performance		
Modalidades Fisioterapia	Termoterapia + Terapia Manual				Terapia manual		
Progresión gimnasio	Excéntricos	Pliometría	Control motor	Pre activación	Pre activación	Entrenam. de fuerza c/ equipo	Entrenam. fuerza c/equipo
Progresión campo	Trote continuo 3 vueltas	*Trote continuo. 10 min Variantes (Cambio de dirección + cambio de ritmo) *Golpeo de balón corto	*Trote continuo 15 min * Intermitente en campo 200 / 100 / 50m *Golpeo de balón corto	*Trote continuo 15 min *Golpeo de balón corto y largo. *Acc y Dcc Saltos Balón	Neuromuscular c/ Balón al 80 %	Específicos c/ balón al 80 %	Se incorpora al trabajo con equipo
Evaluación Métricas GPS	Distancia total 1000 m	Distancia total 2,500 m 50% de su velocidad max.	Distancia total 3.000 m 60 / 70 % VM (HSR 20 km/h)	Neuromuscular a mediana intensidad 20 a 40 (2m/s) Acc / Dcc	Neuromuscular a alta intensidad 25 a 40 (3m/s) Acc / Dcc	Distancia total > 4.000 HSR (300m)	Número de sprint 6 a 10 rep. Máxima Dcc, 2 a 3 rep
Requisitos para progresión	Asintomático en campo				Métricas GPS ✓ cumplidas		

Nota Basado de: área médica y departamento de rehabilitación física del “Club Tigres”.

2.8.1 Consideraciones éticas

La presente investigación, se apegó a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki ¹³⁹. Para garantizar el principio de consentimiento informado, se proporcionó a los participantes información clara y detallada sobre el objetivo del estudio, los procedimientos involucrados, los posibles riesgos y beneficios, así como su derecho a retirarse en cualquier momento sin que ello afectara su participación en el proyecto. En relación con el principio del bienestar del participante, se priorizó en todo momento la salud y seguridad de los involucrados. Se adoptaron las medidas necesarias para prevenir cualquier tipo de lesión y para asegurar que el protocolo de readaptación fuera adecuado y personalizado según las condiciones individuales de cada participante¹³⁹.

La evaluación de los riesgos y beneficios representó otro principio esencial en la planificación del estudio. Antes de la implementación de cualquier procedimiento, se realizó una exhaustiva valoración de los riesgos potenciales en relación con los beneficios esperados, garantizando que estos últimos prevalecieran sobre los riesgos inherentes al proceso investigativo. Finalmente, para dar cumplimiento estrictamente con el principio de confidencialidad, protegiendo los datos personales y la información de los participantes, todos los datos fueron gestionados con el máximo nivel de seguridad, respetando en todo momento la privacidad de los deportistas¹³⁹.

2.9 Análisis de datos

Para el análisis del efecto de la intervención de los 5 sujetos, se utilizó la magnitud del efecto mediante el tamaño del efecto. Se utilizó el tamaño del efecto estandarizado (TE) mediante la *d* de Cohen donde los umbrales de cambio fueron de 0.2 para un cambio pequeño, 0.5 para un moderado, 0.8 para un grande, 1.2 para un efecto muy grande y 2.0 para un cambio enorme ^{140,141}.

Los intervalos de confianza se fijaron al 90% (IC90%) mediante un bootstrap acelerado y corregido¹⁴². La interpretación cualitativa de la magnitud de cambio se realizó de acuerdo con la propuesta realizada para el TE y el IC 90%¹⁴³. Para los cambios individuales, se utilizó la magnitud basada en la inferencia mediante el mínimo cambio apreciable del análisis de simple cambio en las medidas individuales¹⁴⁴.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados conforme al orden de los objetivos específicos, junto con los hallazgos derivados del análisis de las variables de carga externa antes y después del protocolo de readaptación deportiva en futbolistas con lesión en isquiotibiales. Se consideran los valores obtenidos al inicio de la temporada (pre-lesión), así como aquellos registrados al comienzo y al final del proceso de readaptación, lo que permitió calcular los cambios porcentuales individuales.

3.1 Datos descriptivos de las características sociodemográficas de la muestra

Se atendieron un total de 10 jugadores; sin embargo, tras revisar los criterios de selección, se tomaron en cuenta los datos de cinco. Todos los participantes residían en el municipio de San Nicolas de los Garza, Nuevo León. La edad media fue 20.20 años ($DE = 1.3$), peso corporal de 74.8 kg ($DE = 11.23$), talla de 181 cm ($DE = 0.05$), índice de masa corporal de 22.82 kg/m² ($DE = 2.83$). El 80% de los pacientes se desempeñaba en la posición de defensa (con base a la posición táctica definida por el cuerpo técnico); mientras que, el 20 % restante, en la posición de mediocampista. En la Tabla 5 se detalla la distribución de la edad, las características corporales de cada paciente y su grado de lesión.

Tabla 5. Características descriptivas de la muestra

Paciente	Edad	Peso (kg)	Estatura (m)	Posición táctica	Grado de lesión
1	22	81	1.80	Medio	Grado 1
2	20	89	1.83	Defesa	Grado 1
3	21	59	1.72	Defensa	Grado 2
4	19	74	1.85	Defensa	Grado 2
5	19	71	1.84	Defensa	Grado 1

Nota: Elaboración propia.

3.2 Comparación de las variables preprotocolo y post protocolo

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a cada una de las variables estudiadas.

3.2.1 Variable distancia total

En la Tabla 6 se incluyen los valores obtenidos en la primera medición al inicio de la temporada, antes de la lesión muscular, así como los valores registrados al inicio y al final del protocolo de readaptación deportiva. Además, se especifica el porcentaje de cambio experimentado por cada uno de los participantes en el presente estudio.

Tabla 6. Variable distancia total (m)

Paciente	Pre-lesión	Inicio protocolo	Término protocolo	Cambio porcentual	d/tc/a	Inferencia
1	8336.6	4747	5581	17.57%	0/0/100	Muy probable
2	6898.12	4926	9895	100.84%	0/0/100	Muy probable
3	7311.88	3296	6432	95.13%	0/0/100	Muy probable
4	6769.77	4329	4407	1.81%	16/40/44	No claro
5	6705.41	4150	10049	142.17%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable de distancia total, se observaron cambios positivos de todos los pacientes, enfatizando los casos de los pacientes 1 (17.57%) y 4 (1.81%), los cuales resultaron tener cambios porcentuales mínimos como se observa en la Figura 15

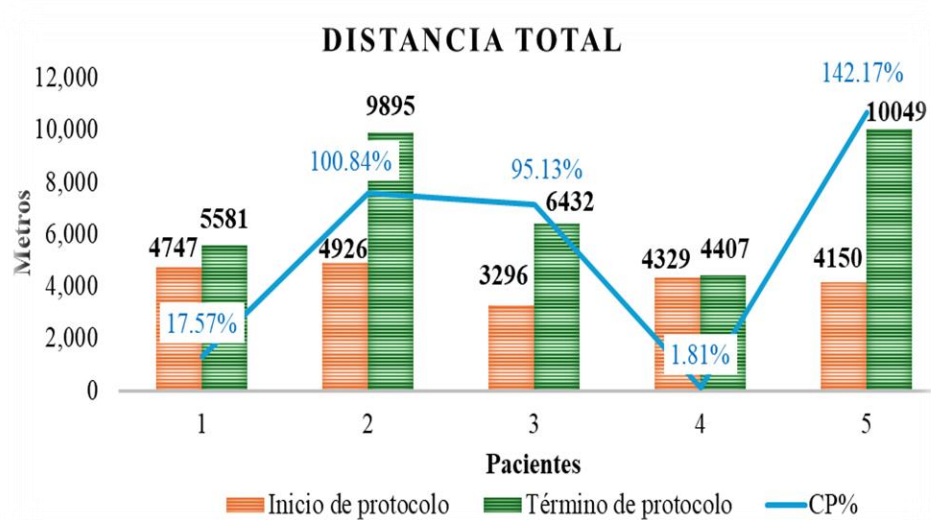


Figura 15. Comparación de la variable distancia total, al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual.

En la Figura 16 se presenta el gráfico de estimación de Gardner Altman para la variable distancia total, en el cual la *d* de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se ilustra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se señala con un punto, mientras que el intervalo de confianza (IC) del 90 % se indica a través de los extremos de la barra de error vertical.

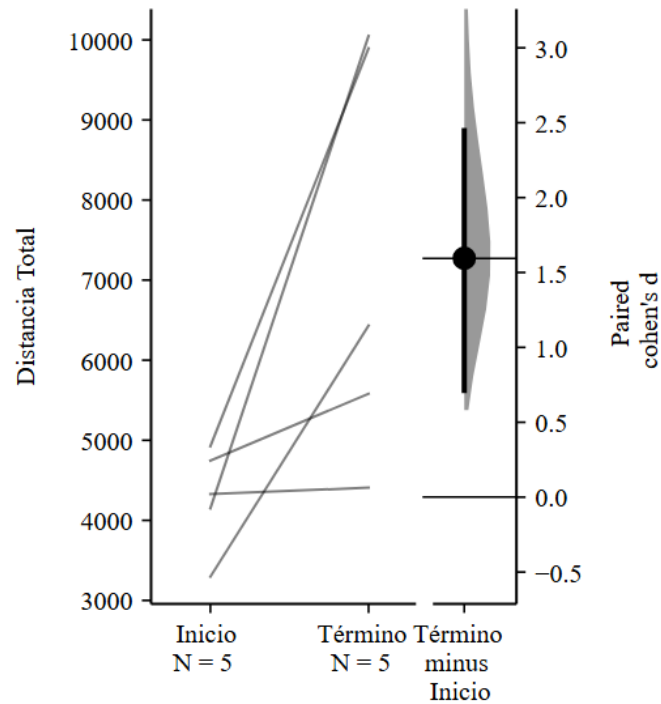


Figura 16. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable distancia total, la d de Cohen pareada entre Inicio y Término

La d de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es de 1.59 (IC del 90 %: [0.713 – 2.45]), lo que sugiere un efecto de gran magnitud. Adicionalmente, el valor p obtenido mediante la prueba t de permutación bilateral es 0.0, calculado exclusivamente con fines de comparación con métodos previos.

3.2.2 Variable carrera a alta velocidad

En la Tabla 7 se presentan los valores registrados al inicio de la temporada, antes de la lesión muscular, y durante el protocolo de readaptación deportiva, tanto al comienzo como al final de este. Conjuntamente, se indica el porcentaje de cambio experimentado por cada participante a lo largo del estudio.

Tabla 7. Variable carrera a alta velocidad (HSR)

Paciente	Pre-lesión	Inicio protocolo	Término protocolo	Cambio porcentual	d/tc/a	Inferencia
1	350.68	230	339	47.24%	0/0/100	Muy probable
2	269.45	213	424	99.15%	0/0/100	Muy probable
3	586.23	245	379	54.43%	0/0/100	Muy probable
4	375.17	54	341	531.44%	0/0/100	Muy probable
5	272.89	143	441	208.53%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable HSR, se observaron cambios positivos en todos los pacientes, destacando especialmente los casos de los pacientes 4 (531.44%) y 5 (208.53%), quienes presentaron aumentos porcentuales superiores al 100%, como se ilustra en la Figura 17.

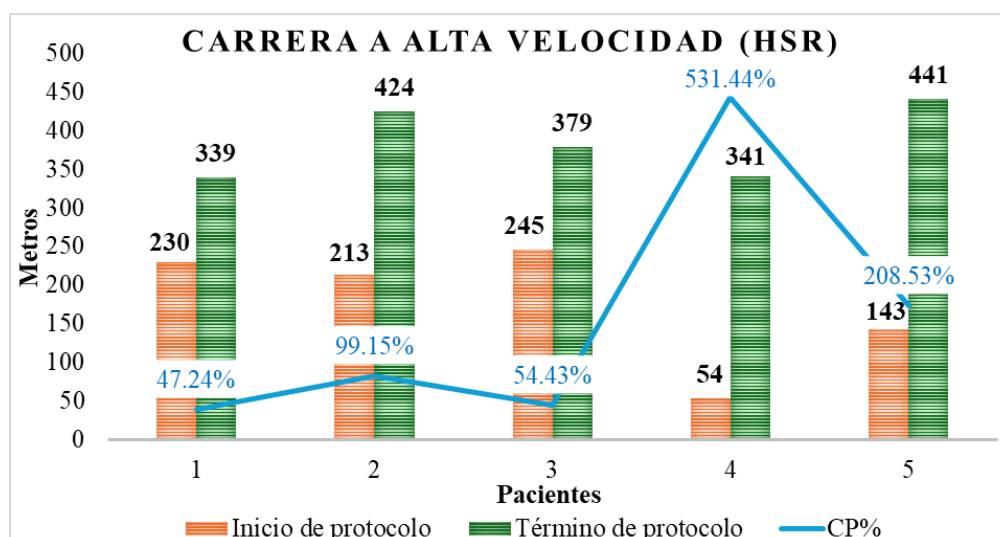


Figura 17. Comparación de la variable carrera a alta velocidad, al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual.

En la Figura 18 se presenta el gráfico de estimación de Gardner-Altman para la variable HSR, en el cual la d de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se ilustra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se indica con un punto, mientras que el IC del 90 % se representa a través de los extremos de la barra de error vertical.

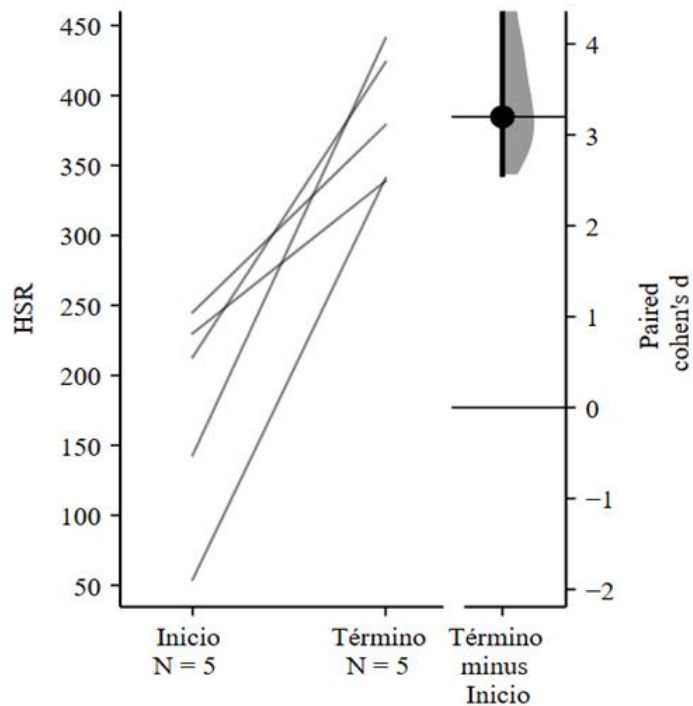


Figura 18. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable HSR, la *d* de Cohen pareada entre Inicio y Término

La *d* de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es 3.2 (IC del 90 %: [2.56 – 4.38]), lo que indica un efecto de gran magnitud. Adicionalmente, el valor *p* obtenido mediante la prueba *t* de permutación bilateral es 0.0, calculado únicamente con fines de comparación con métodos previos.

3.2.3 Variable sprints absolutos

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la primera evaluación realizada al principio de la temporada, previo a la lesión muscular, junto con los datos obtenidos al comienzo y al término del protocolo de readaptación deportiva. Asimismo, se indica el porcentaje de variación experimentado por cada uno de los participantes en este estudio.

Tabla 8. Variable sprints absolutos

Paciente	Pre-lesión	Inicio protocolo	Término protocolo	Cambio porcentual	d/tc/a	Inferencia
1	5	3	5	67%	0/0/100	Muy probable
2	4	1	8.5	750%	0/0/100	Muy probable
3	10	1	9	800%	0/0/100	Muy probable
4	5	2	2	0%	28/44/28	No claro
5	3	1	6	500%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable de sprints absolutos, se observaron cambios porcentuales positivos en todos los pacientes, con la excepción del paciente 4 (0%), quien no evidenció alteraciones en sus resultados, tal como se presenta en la Figura 19.

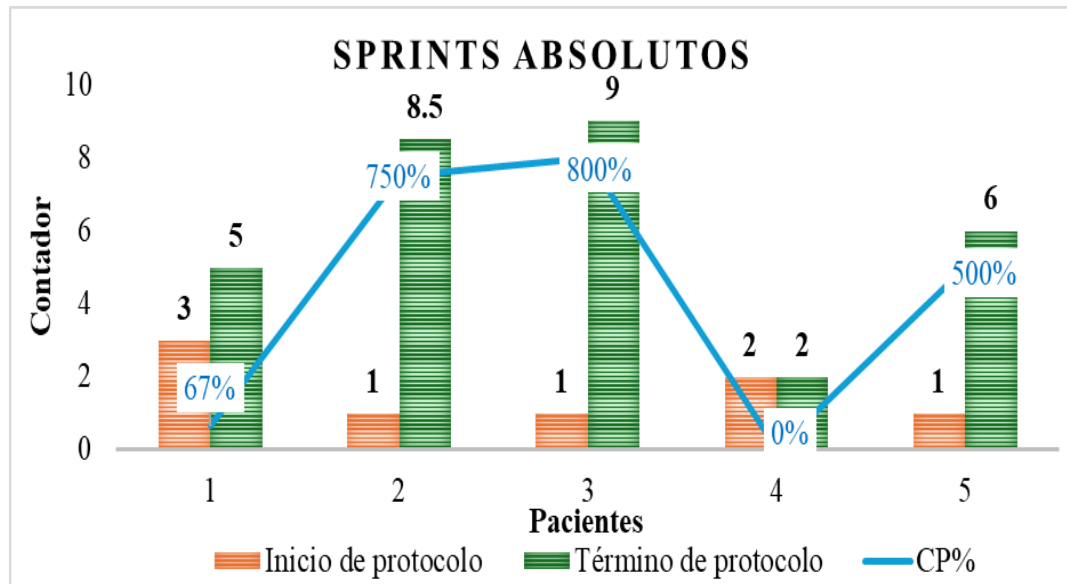


Figura 19. Comparación de la variable sprints absolutos, al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual.

En la Figura 20 se presenta el gráfico de estimación de Gardner-Altman para la variable sprints absolutos, en el cual la *d* de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se muestra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se señala con un punto, mientras que el IC del 90 % se representa a través de los extremos de la barra de error vertical.

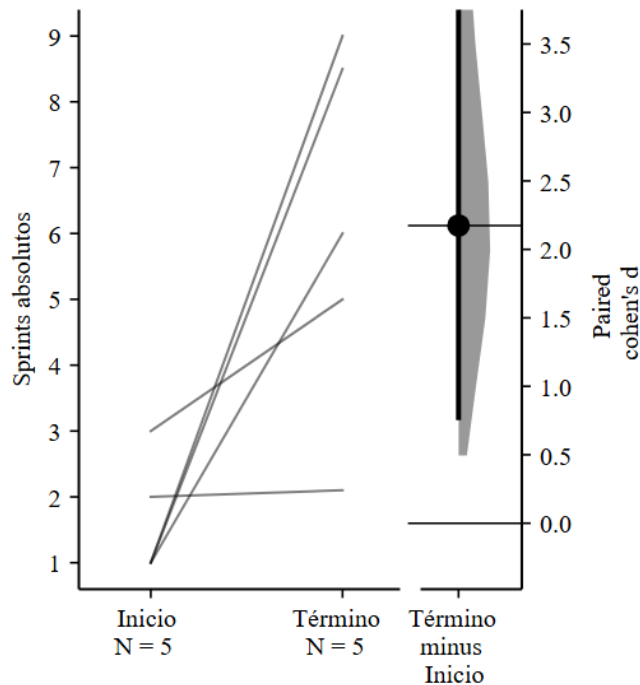


Figura 20. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable sprints absolutos, la d de Cohen pareada entre Inicio y Término

La d de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es 2.17 (IC del 90 %: [0.771 – 4.16]), lo que sugiere un efecto de magnitud considerable. Adicionalmente, el valor p obtenido mediante la prueba t de permutación bilateral es 0.0, calculado exclusivamente con fines de comparación con métodos previos.

3.2.4 Variable hsr + sprints absolutos

La Tabla 9 presenta los resultados de la primera medición realizada al principio de la temporada, antes de que ocurriera la lesión muscular. También incluye los valores registrados al inicio y al final del protocolo de readaptación deportiva, junto con el porcentaje de cambio experimentado por cada participante en el estudio.

Tabla 9. Variable HSR + Sprints absolutos

Paciente	Pre-lesión	Inicio protocolo	Término protocolo	Cambio porcentual	d/tc/a	Inferencia
1	27	13	21	62%	0/0/100	Muy probable
2	20	9	29	222%	0/0/100	Muy probable
3	42	21	33	57%	0/0/100	Muy probable
4	29	2	10	400%	0/0/100	Muy probable
5	21	10	31.5	215%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable HSR + Sprint, se registraron cambios porcentuales positivos en todos los pacientes (Figura 21), destacando el paciente 4 (400%), quien presentó el mayor incremento porcentual en esta variable. Sin embargo, a pesar de dicho aumento, no logró superar los valores previos a la lesión.

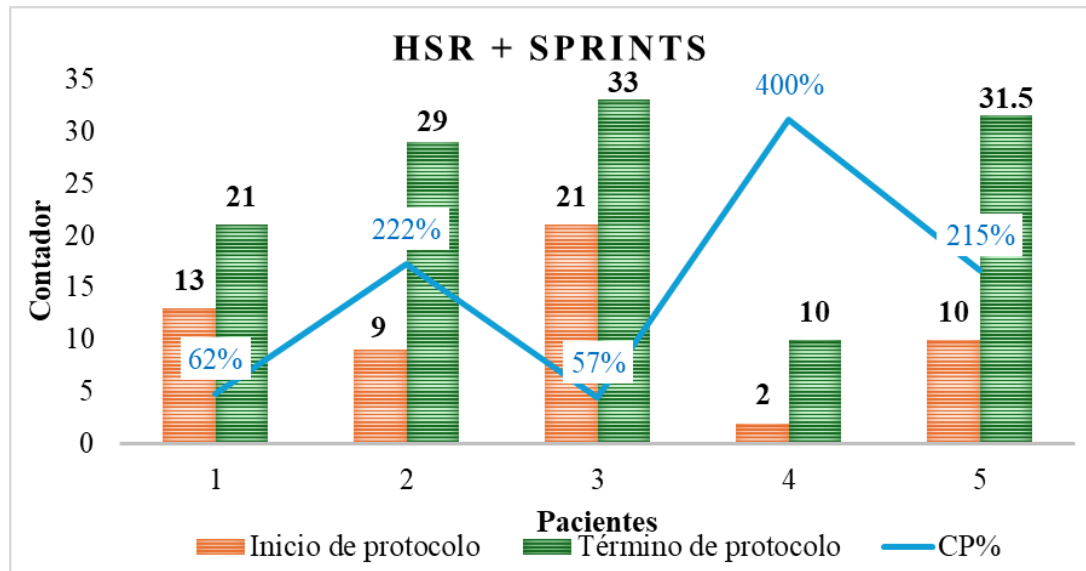


Figura 21. Comparación de la variable HSR + Sprints, al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual.

En la Figura 22 se presenta el gráfico de estimación de Gardner-Altman para la variable HSR + Sprints, en el cual la d de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se muestra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se señala con un punto, mientras que el IC del 90 % se representa a través de los extremos de la barra de error vertical.

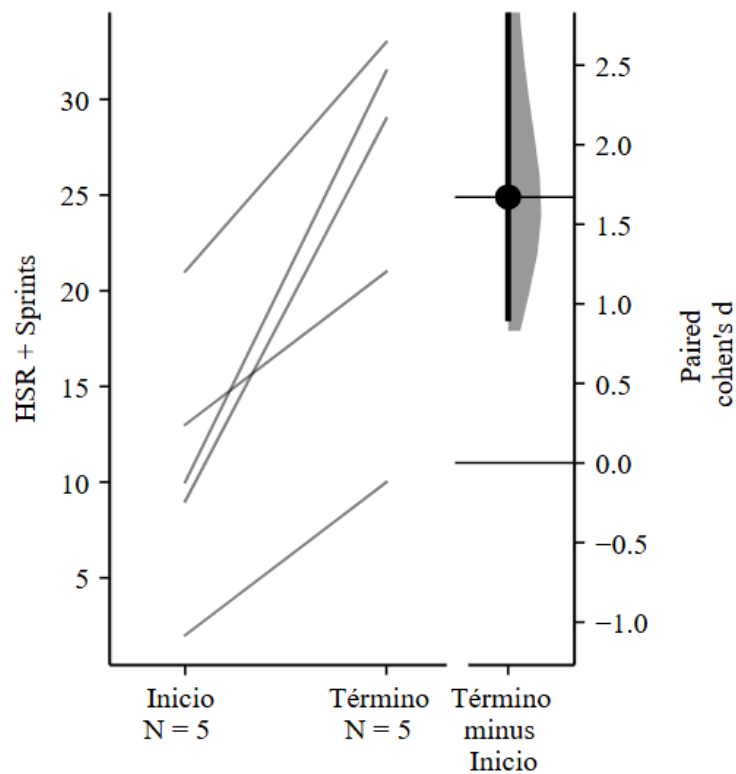


Figura 22 Gráfico de estimación de Gardner-Altman, de la variable HSR + Spritns la d de Cohen pareada entre Inicio y Término

La d de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es 1.67 (IC del 90 %: [0.909 – 3.35]). El valor p obtenido mediante la prueba t de permutación bilateral es 0.0, calculado exclusivamente con fines de comparación con métodos previos.

3.2.5 Variable máxima velocidad

En la Tabla 10 se muestran los valores correspondientes a la primera medición de la variable (Max Sp) al inicio de la temporada y los resultados obtenidos al principio y al final del protocolo de readaptación deportiva. Igualmente, se especifica el porcentaje de cambio experimentado por cada participante durante el estudio.

Tabla 10. Variable máxima velocidad (Max Sp)

Paciente	Pre-lesión	Inicio de protocolo	Término de protocolo	Cambio porcentual	d/tc/a	Inferencia
1	27.34	24.41	30.64	26%	0/0/100	Muy probable
2	28.05	22.11	32.24	46%	0/0/100	Muy probable
3	33.32	28.9	30.98	7%	2/13/85	Aceptable
4	30.38	23.17	27.1	17%	0/0/100	Muy probable
5	26.04	18.75	30.65	63%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable Max Sp., se observaron cambios porcentuales positivos en todos los pacientes (Figura 23). Los pacientes 2 (46%) y 5 (63%) destacaron por presentar los mayores incrementos, mientras que los pacientes 3 (7%) y 4 (17%) evidenciaron los menores cambios porcentuales en esta variable, ya que no lograron alcanzar la velocidad máxima registrada antes de la lesión.

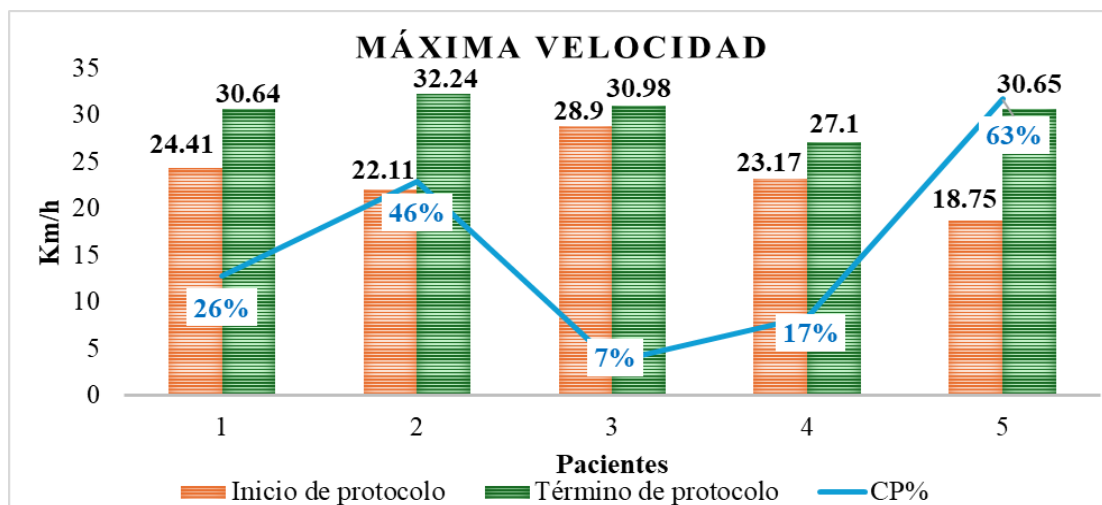


Figura 23 Comparación de la variable Max Sp., al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual

En la Figura 24 se presenta el gráfico de estimación de Gardner-Altman para la variable máxima velocidad, en el cual la *d* de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se muestra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se señala con un punto, mientras que el IC del 90 % se representa a través de los extremos de la barra de error vertical.

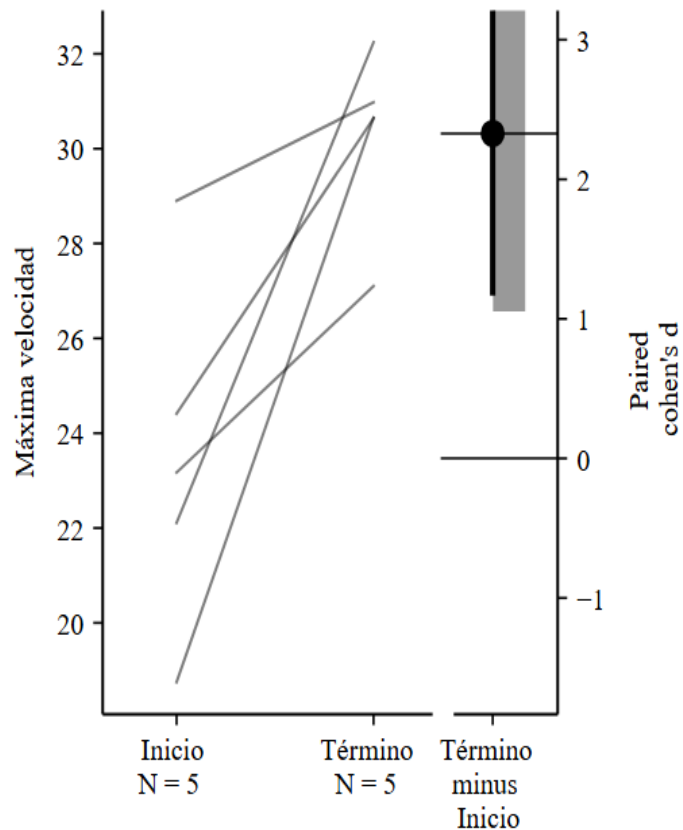


Figura 24. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable Max. Sp, la d de Cohen pareada entre Inicio y Término

La d de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es 2.33 (IC del 90 %: [1.39 – 3.89]). Adicionalmente, el valor p obtenido mediante la prueba t de permutación bilateral es 0.0, calculado exclusivamente con fines heredados.

3.2.6 Variable aceleraciones

En la Tabla 11 se observan los datos obtenidos en la medición inicial al inicio de la temporada, y los valores registrados tanto al principio como al final del protocolo de readaptación deportiva. A la par, se especifica el porcentaje de variación experimentado por cada uno de los participantes en este estudio.

Tabla 11. Variable aceleraciones (Acc + 3)

Paciente	Pre-lesión	Inicio protocolo	Término protocolo	CP%	d/tc/a	Inferencia
1	64	14	54	286%	0/0/100	Muy probable
2	37	19	45	137%	0/0/100	Muy probable
3	45	35	56	60%	0/0/100	Muy probable
4	35	24	46	92%	0/0/100	Muy probable
5	24	11	54	391%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable de aceleraciones, se registraron cambios porcentuales positivos en todos los pacientes (Figura 25). Cabe destacar el caso del paciente 1, quien, a pesar de experimentar un incremento porcentual considerable, no logró alcanzar los valores registrados antes de su lesión. En contraste, los demás pacientes presentaron cambios positivos que les permitieron superar sus niveles previos a la lesión.

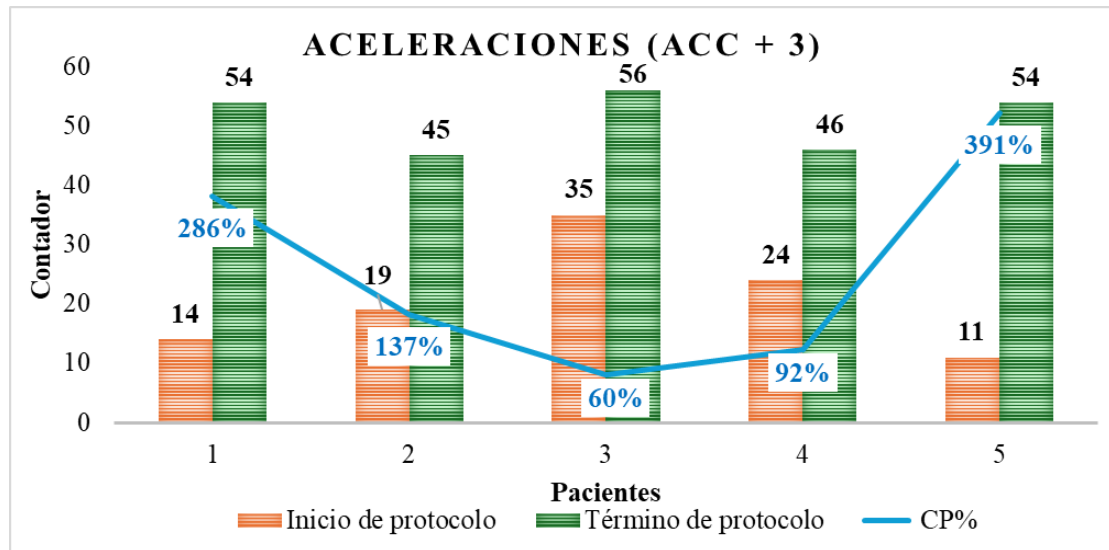


Figura 25. Comparación de la variable aceleraciones, al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual.

En la Figura 26 se presenta el gráfico de estimación de Gardner-Altman para la variable aceleraciones, en el cual la d de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se muestra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se señala con un punto, mientras que el IC del 90 % se representa a través de los extremos de la barra de error vertical.

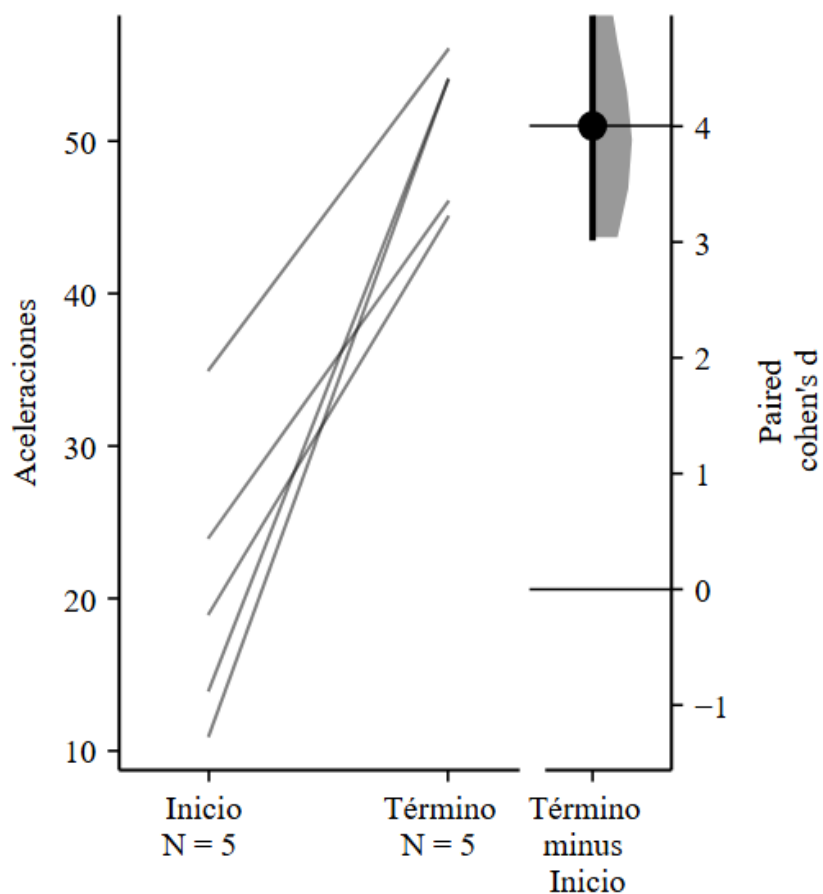


Figura 26. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable aceleraciones, la d de Cohen pareada entre Inicio y Término

La d de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es 4.0 (IC del 90 %: [3.04 – 6.73]). Adicionalmente, el valor p obtenido mediante la prueba t de permutación bilateral es 0.0, calculado exclusivamente con fines heredados.

3.2.7 Variable desaceleraciones

En la Tabla 12 se presentan los valores de pre-lesión registrados al inicio de temporada, así como los valores obtenidos al inicio y al final del protocolo de readaptación deportiva en el apartado de desaceleraciones. Al mismo tiempo, se observa el porcentaje de cambio experimentado por cada uno de los participantes.

Tabla 12. Variable desaceleraciones (Dcc + 3)

Paciente	Pre-lesión	Inicio protocolo	Término protocolo	CP%	d/tc/a	Inferencia
1	40	16	42	163%	0/0/100	Muy probable
2	34	21	58	176%	0/0/100	Muy probable
3	46	49	54	10%	1/5/95	Muy probable
4	32	12	48	300%	0/0/100	Muy probable
5	24	12	53	342%	0/0/100	Muy probable

Nota: Elaboración propia

d: disminución tc: cambio trivial a: aumento

En la variable de desaceleraciones, se observaron cambios porcentuales positivos en todos los pacientes (Figura 27). A diferencia de las variables analizadas previamente, en esta todos los pacientes lograron superar los valores registrados antes de la lesión, evidenciando una mejora generalizada en su capacidad de desaceleración.

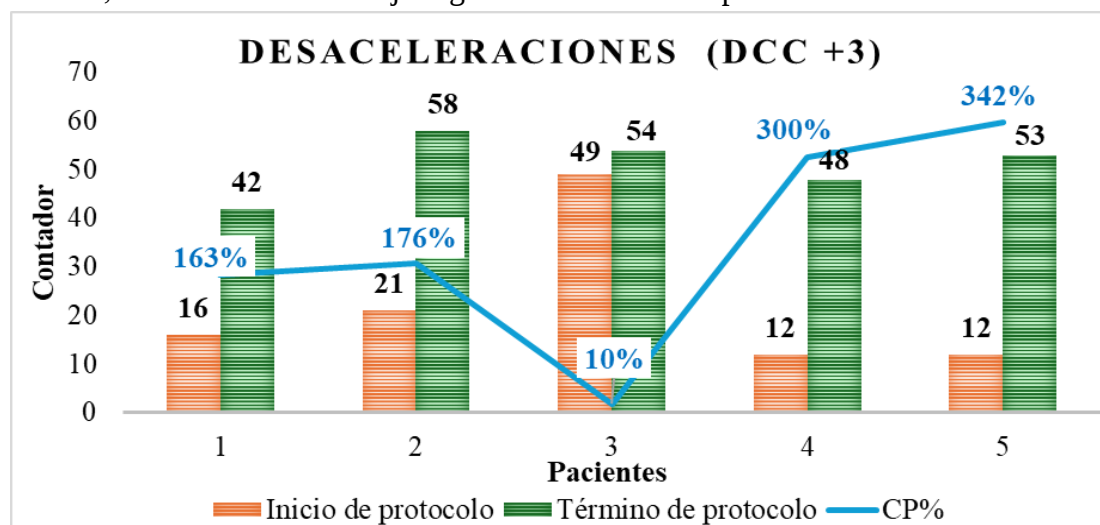


Figura 27 Comparación de la variable desaceleración, al inicio y término del protocolo de readaptación.

*CP%, Cambio porcentual.

En la Figura 28 se presenta el gráfico de estimación de Gardner-Altman, en el cual la *d* de Cohen pareada entre el inicio y el término del protocolo se visualiza mediante un gráfico de pendiente en el eje izquierdo. En este, cada conjunto de observaciones emparejadas está conectado por una línea, lo que permite identificar los cambios individuales entre ambas mediciones. La diferencia de medias pareada se representa en un eje flotante a la derecha, donde se muestra su distribución de muestreo obtenida mediante el método *bootstrap*. La media de la diferencia se señala con un punto, mientras que el IC del 90 % se representa a través de los extremos de la barra de error vertical.

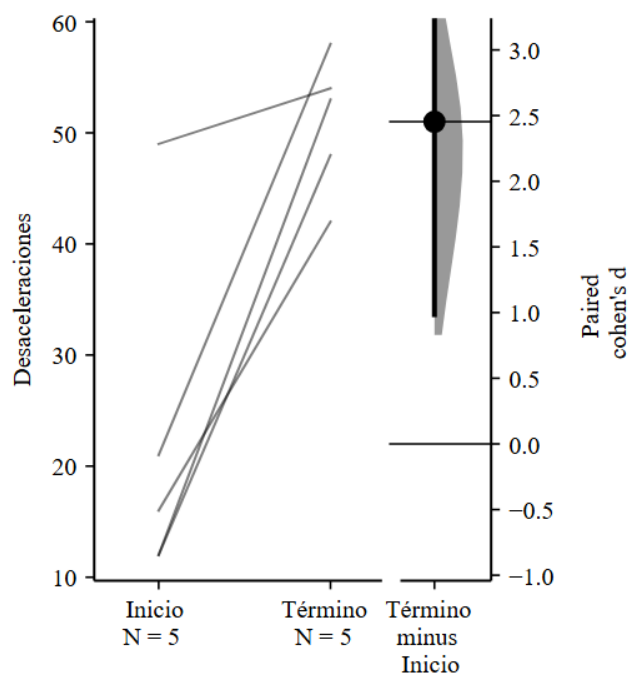


Figura 28. Gráfico de estimación de Gardner-Altman de la variable desaceleraciones, la *d* de Cohen pareada entre Inicio y Término

La *d* de Cohen pareada para medidas repetidas con respecto a la línea base entre el inicio y el término del protocolo es 2.45 [IC del 90,0 % 0.985, 7.07]. El valor *p* obtenido mediante la prueba *t* de permutación bilateral es 0.0, calculado exclusivamente con fines heredados.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN

En este apartado se discuten los objetivos específicos planteados para la presente investigación. En relación con el primer objetivo específico, orientado a describir las características sociodemográficas de los futbolistas profesionales participantes, se observó que la muestra analizada presentó una notable homogeneidad en variables como edad, peso y estatura.

La edad promedio registrada fue de 20.2 años, lo que coincide con un perfil típico de jugadores jóvenes en etapas iniciales de su carrera profesional. Estudios recientes han señalado que los futbolistas pertenecientes a academias, particularmente aquellos que han alcanzado un mayor grado de maduración biológica, presentan una mayor prevalencia de lesiones¹⁴⁵. Una posible explicación para esta tendencia es el incremento en los volúmenes de entrenamiento y la frecuencia de los partidos que experimentan los jugadores a medida que maduran¹⁴⁶, lo que se asocia con estilos de juego más rápidos y exigentes¹⁴⁵.

Asimismo, se ha destacado que el riesgo de lesiones tiende a ser mayor durante la competencia oficial¹⁴⁷. Esto podría atribuirse a una mayor exposición a actividades de alta intensidad, como carreras rápidas y cambios de dirección abruptos, que son inherentes al desarrollo del juego competitivo¹⁴⁵. Por tanto, el aumento en la proporción de tiempo destinado a partidos frente a entrenamientos podría contribuir significativamente a la incidencia de lesiones en este grupo poblacional.

Tal como se anticipaba, los resultados obtenidos en relación con las variables de peso y estatura revelaron que los jugadores biológicamente maduros presentaron un índice de masa corporal (IMC) promedio de 22.82 kg/m² (DE = 2.83). Este valor podría explicarse por los efectos fisiológicos asociados a la maduración, particularmente el incremento en la masa magra que ocurre como resultado del aumento en los niveles de testosterona durante esta etapa¹⁴⁸. Dichos cambios hormonales desempeñan un papel fundamental en la composición corporal de los atletas, promoviendo un desarrollo

muscular más pronunciado y mejorando el rendimiento físico, lo que resulta relevante en el contexto del fútbol profesional^{145,148}.

En cuanto a la distribución de posiciones tácticas de los jugadores, presentes en este estudio, que sufrieron lesiones por distensión en los isquiotibiales, se observó que el 80% de los casos correspondieron a futbolistas que desempeñaban la posición de defensa, mientras que el 20% restante se desempeñaba como mediocampista. Estos resultados son congruentes con estudios previos que han evidenciado una relación directa entre la posición de juego y la tasa de incidencia de lesiones en el fútbol profesional¹⁴⁹. En particular, se ha identificado a defensas y mediocampistas como los grupos más propensos a experimentar lesiones musculares, atribuido a las altas exigencias físicas propias de sus roles en el campo¹⁵⁰.

Los defensores suelen ejecutar *sprints* para interceptar el balón, mientras que los mediocampistas realizan desplazamientos intensos para cubrir espacios, presionar a los oponentes y, en la fase ofensiva del juego, conducir el balón¹⁵¹. Estas demandas físicas, junto con la exposición continua a actividades de alta velocidad, constituyen factores clave que favorecen la aparición de fatiga y micro lesiones musculares¹⁵².

Por otro lado, un estudio realizado con 41 futbolistas juveniles (sub-18 y sub-20), que utilizó métricas de distancia e intensidad de entrenamiento obtenidas a través de tecnología GPS (StatSports, Viper Pod, NI), reportó una mayor incidencia de lesiones en mediocampistas y defensores en comparación con jugadores de otras posiciones¹⁵³, cuyos resultados se asemejan a los obtenidos en la presente investigación.

En relación con el segundo objetivo específico de este estudio, se llevó a cabo un análisis comparativo del porcentaje de cambio en las variables de rendimiento al inicio y al término del protocolo de readaptación deportiva.

La comprensión precisa de las demandas físicas impuestas durante la competición es esencial para estructurar de manera óptima la planificación de la carga de entrenamiento¹⁵⁴.

Estudios previos en futbolistas profesionales de nivel sub-élite han evidenciado que la relación entre la distancia total recorrida en sesiones de entrenamiento y la registrada en partidos oficiales puede fluctuar entre una y cuatro unidades arbitrarias. Esto implica que, a lo largo de una semana de preparación, los jugadores pueden someterse a una carga de trabajo equivalente a entre una y cuatro veces la experimentada en un partido^{155,156}. Sin embargo, los valores reportados en estudios previos suelen ser más elevados que los obtenidos en esta investigación, lo que puede explicarse por el proceso de rehabilitación al que fueron sometidos los futbolistas evaluados. Como resultado, la distancia total recorrida a lo largo del protocolo de readaptación es inferior a la observada en jugadores que se encuentran en condiciones físicas óptimas.

El análisis de las variables relacionadas con la carrera a alta velocidad (HSR), el número absoluto de sprints, la suma de HSR + Sprints y la máxima velocidad se ha abordado de manera conjunta, debido a la ausencia de un consenso en la literatura futbolística sobre los umbrales estandarizados que delimitan las distintas zonas de intensidad de carrera¹⁵⁷.

Investigaciones que han caracterizado la carga externa semanal en equipos profesionales han evidenciado que los valores de HSR y el número de sprints registrados durante los entrenamientos son significativamente inferiores a los observados en competición. Esto sugiere que la exposición a estas demandas específicas puede ser insuficiente en las sesiones de preparación, lo que podría influir en la adaptación y el rendimiento de los futbolistas^{155,156}.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son congruentes con la tendencia observada en investigaciones previas puesto que, al finalizar el protocolo de readaptación deportiva, los futbolistas alcanzaron un promedio de 385 metros en carrera a alta velocidad (HSR), 6.1 sprints y lograron un total de 24.9 en la variable combinada HSR + Sprints. En cuanto a la máxima velocidad, todos los jugadores superaron los 25 km/h. La variabilidad en estos valores entre los participantes es consistente con

hallazgos previos y está influenciada por el rol posicional en el campo, se ha reportado que mediocampistas centrales y defensores presentan una mayor variabilidad en estas métricas ^{158,159}, lo cual puede atribuirse a la modulación de la carga de entrenamiento a lo largo de la semana y a la imprevisibilidad inherente a los ejercicios tácticos y basados en el juego.

Para optimizar la gestión de la carga de entrenamiento, es fundamental monitorear individualmente la distancia y la frecuencia acumulada de HSR y sprints, permitiendo así la implementación de estrategias de entrenamiento adecuadas¹⁵⁴. Asimismo, en el diseño de ejercicios específicos de sprint, es crucial considerar la posición del jugador en el campo¹⁶⁰.

Un estudio previo ha identificado que los futbolistas de élite realizan sprints con una duración de entre 5 y 9 segundos, recorriendo distancias de entre 30 y 55 metros. En este contexto, se recomienda la incorporación de ejercicios de carrera que incluyan sprints tanto lineales como no lineales como complemento a los entrenamientos en espacios reducidos. ¹⁶⁰. Para garantizar una exposición suficiente a HSR, una estrategia eficaz consiste en combinar sprints lineales con ejercicios en espacios reducidos, permitiendo una mayor adaptación a las demandas del juego^{161,162}.

En relación con las variables de aceleraciones y desaceleraciones, al concluir el protocolo de readaptación se registraron 265 y 255 eventos, respectivamente. En comparación, estudios en futbolistas de élite noruegos han reportado valores considerablemente menores 76 aceleraciones y 54 desaceleraciones¹⁶³, lo que puede atribuirse a las diferencias en los umbrales utilizados para definir estos eventos.

Desde una perspectiva de cambio porcentual, el protocolo implementado en este estudio mostró mejoras significativas en ambas variables, con incrementos promedio del 193 % en aceleraciones y del 198 % en desaceleraciones. Estos hallazgos son consistentes con la investigación de Vigh-Larsen et al., quienes señalaron que los jugadores más jóvenes presentan una mayor frecuencia de actividades de alta intensidad

por minuto y un número superior de aceleraciones y desaceleraciones en comparación con los jugadores de mayor edad¹⁶⁴.

En cuanto al tamaño del efecto, todas las variables presentan valores superiores a ($d > 0.8$) en la d de Cohen pareada¹⁶⁵, lo que indica mejoras sustanciales en el rendimiento de los futbolistas tras la aplicación del protocolo de readaptación. La variable que mostró el mayor tamaño del efecto fue aceleraciones ($d=4.0$), seguida de carrera a alta velocidad (HSR) ($d=3.2$) y desaceleraciones ($d=2.45$). Estos resultados sugieren que las adaptaciones más marcadas ocurrieron en la capacidad de aceleración y desaceleración, habilidades fundamentales en el contexto del fútbol, ya que influyen directamente en la ejecución de cambios de ritmo y desplazamientos explosivos durante la competencia.

Las mejoras observadas en las variables de aceleración y desaceleración pueden atribuirse, en gran medida, a los ejercicios implementados en el presente estudio. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas, las cuales han demostrado que la incorporación de entrenamientos en espacios reducidos favorece un incremento en la frecuencia de aceleraciones y desaceleraciones^{166,167}.

Respecto a los intervalos de confianza (IC) del 90 %, en todas las variables evaluadas los límites inferiores se encuentran por encima de 0, lo que respalda la solidez de los efectos observados y reduce la posibilidad de que estos cambios sean producto del azar. No obstante, la amplitud del IC varía entre variables, lo que indica diferencias en la precisión de la estimación del tamaño del efecto, siendo más estrecho en aquellas con menor variabilidad y más amplio en aquellas con mayor dispersión de los datos.

Al comparar las diferentes variables, se observa que distancia total ($d=1.59$) y HSR + Sprints ($d=1.67$) reflejan mejoras significativas, aunque con una magnitud menor en comparación con aceleraciones y desaceleraciones. Por su parte, máxima velocidad alcanzada ($d=2.33$) y sprints absolutos ($d=2.17$) también exhiben cambios relevantes, lo que sugiere un incremento en la capacidad de esprintar y alcanzar mayores velocidades,

factores determinantes en el rendimiento deportivo. En particular, la mejora en HSR ($d=3.2$) resalta la optimización de la capacidad de desplazamiento a alta velocidad, una de las cualidades más críticas en el proceso de readaptación deportiva.

Finalmente, aunque el análisis de significación estadística no constituye el eje central de la interpretación, el valor $p = 0.0$ obtenido en todas las variables refuerza la existencia de diferencias significativas entre las mediciones pre y post intervención. Sin embargo, es fundamental priorizar el análisis basado en la magnitud del efecto y la estimación por intervalos de confianza, dado que ofrecen una perspectiva más informativa y relevante en la evaluación del impacto del protocolo de readaptación.

En lo que respecta a la toma de decisiones para el retorno al rendimiento (RTP), en el presente estudio se utilizó la Escala Visual Analógica (EVA) del dolor como criterio de evaluación. La ausencia total de dolor se estableció como el principal indicador de recuperación, dado que su presencia puede ser un signo de una cicatrización incompleta de la lesión¹⁶⁸.

En cuanto a los criterios de RTP en campo, estudios de caso han utilizado la exposición progresiva a la carga como un indicador clave para un retorno seguro a la competición^{169,170}. Dichos estudios han adoptado el modelo de rehabilitación “continuum control-caos”, en el cual la transición entre fases depende de la capacidad del jugador para tolerar cargas crecientes, avanzando desde sesiones altamente estructuradas hasta actividades más exigentes e impredecibles¹⁷¹.

En esta línea, Van der Horst et al. destacaron que los expertos en readaptación deportiva enfatizan la importancia de las pruebas de rendimiento para la toma de decisiones en RTP, logrando consenso en la relevancia de la evaluación de la capacidad de sprint repetido, las pruebas de desaceleración y el monitoreo de la carga física específica según la posición de juego mediante tecnología GPS¹⁷².

El análisis de las variables de rendimiento post-lesión resulta fundamental para la optimización de las estrategias de readaptación deportiva, garantizando una adecuada preparación física antes del RTP. La combinación de métodos de entrenamiento específicos y el monitoreo individualizado de la carga representan elementos clave para maximizar la recuperación y reducir el riesgo de recaídas en futbolistas con antecedentes de lesión en los isquiotibiales.

Se identificaron algunas limitaciones en el estudio, entre ellas el tamaño reducido de la muestra, dado que esta estuvo conformada por un grupo específico de futbolistas con características particulares en cuanto a edad, nivel competitivo y sexo. Asimismo, la aplicación completa del protocolo de readaptación estuvo condicionada por las necesidades del cuerpo técnico del equipo, incluyendo el momento de la temporada en que ocurrió la lesión. Otra limitación fue la ausencia de un seguimiento a largo plazo de los futbolistas tras su reincorporación a la competición. No obstante, a pesar de estas restricciones, los hallazgos del estudio aportan evidencia relevante para los profesionales del ámbito deportivo, en especial dentro del fútbol, facilitando el diseño de programas de readaptación más efectivos.

Para futuras líneas de investigación, se sugiere profundizar en el impacto de los EPTS en diferentes tipos de lesiones y en distintos niveles de competencia deportiva. Además, resulta pertinente explorar la integración de información adicional, como la creación de perfiles condicionales individualizados para los jugadores, lo cual permitiría establecer valores de referencia que faciliten una readaptación deportiva más precisa y efectiva. Asimismo, se recomienda desarrollar y aplicar criterios específicos que aseguren un RTP seguro, reduciendo el riesgo de nuevas lesiones y optimizando la funcionalidad de los futbolistas. Por otro lado, resulta fundamental investigar el componente psicológico asociado al retorno al deporte tras una lesión, con el objetivo de abordar el proceso de readaptación desde un enfoque integral que contemple tanto los aspectos físicos como los emocionales.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

En la presente investigación se analizó la efectividad de un protocolo de readaptación deportiva para futbolistas profesionales con lesión en los isquiotibiales (HSI), empleando sistemas electrónicos de seguimiento del rendimiento (EPTS). Los resultados obtenidos sugieren que la implementación de estos sistemas permite una monitorización más precisa de las variables de carga externa, aspecto fundamental para personalizar los planes de readaptación deportiva en campo y optimizar el rendimiento tras la lesión.

Con base en los hallazgos del estudio, se concluye que el protocolo de readaptación utilizado tuvo un impacto positivo en la recuperación de los futbolistas tras una HSI. En particular, los resultados indican que su aplicación contribuyó a la mejora de variables clave como la velocidad máxima, la aceleración y la desaceleración. La mayoría de los jugadores alcanzaron, e incluso superaron, sus niveles pre-lesión, lo que refleja la eficacia del protocolo en la readaptación funcional.

No obstante, la variabilidad observada en las respuestas individuales sugiere que la efectividad del protocolo está influenciada por diversos factores, tales como la gravedad de la lesión, la condición física previa, el tiempo de recuperación y otros aspectos no controlados. Estos factores pueden desempeñar un papel determinante en el proceso de readaptación.

En este sentido, los resultados resaltan la importancia de abordar cada caso de manera individualizada y ajustar las intervenciones en función de las necesidades específicas de cada futbolista. Dado que la recuperación tras una HSI no es un proceso uniforme, algunos jugadores pueden experimentar una readaptación más completa que otros. Por ello, es fundamental la personalización de los programas de readaptación para optimizar la reincorporación deportiva y reducir el riesgo de recaídas.

Referencias

1. López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, De Ste Croix M, Myer GD, et al. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2020 Jun;54(12):711–8.
2. Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). *Am J Sports Med*. 2011 Jun 18;39(6):1226–32.
3. Hallén A, Ekstrand J. Return to play following muscle injuries in professional footballers. *J Sports Sci*. 2014 Aug 9;32(13):1229–36.
4. Kerin F, O’Flanagan S, Coyle J, Farrell G, Curley D, McCarthy Persson U, et al. Intramuscular Tendon Injuries of the Hamstring Muscles: A More Severe Variant? A Narrative Review. *Sports Med Open*. 2023 Aug 14;9(1):75.
5. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. Preventive Effect of Eccentric Training on Acute Hamstring Injuries in Men’s Soccer. *Am J Sports Med*. 2011 Nov 8;39(11):2296–303.
6. Rico-González M, Rojas-Valverde D, Los Arcos A. Electronic Performance & Tracking Systems (EPTS): Practical applications in team sports [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/337769097>
7. Gray Henry; Vandyke Carter Henry. *Gray’s Anatomy, The Anatomical Basis of Clinical Practice*. 41st ed. Elsevier, editor. 2016.
8. Netter Frank Henry. *Atlas of Human Anatomy*. 6th ed. Philadelphia, PA; 2014.
9. Bramah C, Mendiguchia J, Dos’Santos T, Morin JB. Exploring the Role of Sprint Biomechanics in Hamstring Strain Injuries: A Current Opinion on Existing Concepts and Evidence. *Sports Medicine*. 2024 Apr 19;54(4):783–93.

10. Kalkhoven JT, Watsford M. Mechanical Contributions to Muscle Injury: Implications for Athletic Injury Risk Mitigation. 2020.
11. Gronwald T, Klein C, Hoenig T, Pietzonka M, Bloch H, Edouard P, et al. Hamstring injury patterns in professional male football (soccer): a systematic video analysis of 52 cases. *Br J Sports Med*. 2022 Feb;56(3):165–71.
12. Pandy MG, Lai AKM, Schache AG, Lin Y. How muscles maximize performance in accelerated sprinting. *Scand J Med Sci Sports*. 2021 Oct 27;31(10):1882–96.
13. Kenneally-Dabrowski CJB, Brown NAT, Lai AKM, Perriman D, Spratford W, Serpell BG. Late swing or early stance? A narrative review of hamstring injury mechanisms during high-speed running. *Scand J Med Sci Sports*. 2019 Aug 22;29(8):1083–91.
14. SUN Y, WEI S, ZHONG Y, FU W, LI L, LIU Y. How Joint Torques Affect Hamstring Injury Risk in Sprinting Swing–Stance Transition. *Med Sci Sports Exerc*. 2015 Feb;47(2):373–80.
15. Chumanov ES, Heiderscheit BC, Thelen DG. The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *J Biomech*. 2007 Jan;40(16):3555–62.
16. CHUMANOV ES, HEIDERSCHEIT BC, THELEN DG. Hamstring Musculotendon Dynamics during Stance and Swing Phases of High-Speed Running. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Mar;43(3):525–32.
17. Higashihara A, Nagano Y, Ono T, Fukubayashi T. Relationship between the peak time of hamstring stretch and activation during sprinting. *Eur J Sport Sci*. 2016 Feb 31;16(1):36–41.

18. Schuermans J, Van Tiggelen D, Danneels L, Witvrouw E. Biceps femoris and semitendinosus—teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *Br J Sports Med.* 2014 Dec;48(22):1599–606.
19. Schuermans J, Van Tiggelen D, Danneels L, Witvrouw E. Susceptibility to Hamstring Injuries in Soccer. *Am J Sports Med.* 2016 May 24;44(5):1276–85.
20. Camic CL, Kovacs AJ, Enquist EA, McLain TA, Hill EC. Muscle activation of the quadriceps and hamstrings during incremental running. *Muscle Nerve.* 2015 Dec 23;52(6):1023–9.
21. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Proximal Hamstring Strains of Stretching Type in Different Sports. *Am J Sports Med.* 2008 Sep 30;36(9):1799–804.
22. Mueller-Wohlfahrt HW, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *Br J Sports Med.* 2013 Apr;47(6):342–50.
23. Pollock N, James SLJ, Lee JC, Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: a new grading system. *Br J Sports Med.* 2014 Sep;48(18):1347–51.
24. Ekstrand J, Healy JC, Waldén M, Lee JC, English B, Häggglund M. Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br J Sports Med.* 2012 Feb;46(2):112–7.
25. Connell DA, Schneider-Kolsky ME, Hoving JL, Malara F, Buchbinder R, Koulouris G, et al. Longitudinal Study Comparing Sonographic and MRI Assessments of Acute and Healing Hamstring Injuries. *American Journal of Roentgenology.* 2004 Oct;183(4):975–84.

26. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute First-Time Hamstring Strains during High-Speed Running. *Am J Sports Med.* 2007 Feb 1;35(2):197–206.
27. Järvinen TAH, Järvinen TLN, Kääriäinen M, Kalimo H, Järvinen M. Muscle Injuries. *Am J Sports Med.* 2005 May 1;33(5):745–64.
28. Peetrons P. Ultrasound of muscles. *Eur Radiol.* 2002 Jan 19;12(1):35–43.
29. Hamilton B, Whiteley R, Almusa E, Roger B, Geertsema C, Tol JL. Excellent reliability for MRI grading and prognostic parameters in acute hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 2014 Sep;48(18):1385–7.
30. Reurink G, Goudswaard GJ, Tol JL, Almusa E, Moen MH, Weir A, et al. MRI observations at return to play of clinically recovered hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 2014 Sep;48(18):1370–6.
31. Cos F, Cos MÁ, Buenaventura L, Pruna R, Ekstrand J. Modelos de análisis para la prevención de lesiones en el deporte. Estudio epidemiológico de lesiones: el modelo Union of European Football Associations en el fútbol. *Apunts Medicina de l'Esport.* 2010 Apr;45(166):95–102.
32. Dvorak J, Junge A, Chomiak J, Graf-Baumann T, Peterson L, Rosch D, et al. Risk Factor Analysis for Injuries in Football Players. *Am J Sports Med.* 2000 Sep 1;28(5_suppl):69–74.
33. Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med.* 2016 Jun;50(12):731–7.

34. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Injury recurrence is lower at the highest professional football level than at national and amateur levels: does sports medicine and sports physiotherapy deliver? *Br J Sports Med.* 2016 Jun;50(12):751–8.
35. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *Br J Sports Med.* 2006 Sep;40(9):767–72.
36. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring Strain Injuries. *Sports Medicine.* 2012 Mar;42(3):209–26.
37. Arnason A, Tenga A, Engebretsen L, Bahr R. A Prospective Video-Based Analysis of Injury Situations in Elite Male Football. *Am J Sports Med.* 2004 Sep 1;32(6):1459–65.
38. Small K, McNaughton L, Greig M, Lovell R. Effect of Timing of Eccentric Hamstring Strengthening Exercises During Soccer Training: Implications for Muscle Fatigability. *J Strength Cond Res.* 2009 Jul;23(4):1077–83.
39. Gabbett TJ, Ullah S. Relationship Between Running Loads and Soft-Tissue Injury in Elite Team Sport Athletes. *J Strength Cond Res.* 2012 Apr;26(4):953–60.
40. Schuermans J, Van Tiggelen D, Danneels L, Witvrouw E. Biceps femoris and semitendinosus—teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *Br J Sports Med.* 2014 Dec;48(22):1599–606.
41. Foreman TK, Addy T, Baker S, Burns J, Hill N, Madden T. Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: A systematic review. *Physical Therapy in Sport.* 2006 May;7(2):101–9.

42. Prior M, Guerin M, Grimmer K. An Evidence-Based Approach to Hamstring Strain Injury: A Systematic Review of the Literature. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*. 2009 Jan 16;1(2):154–64.
43. van Beijsterveldt AMC, van de Port IGL, Vereijken AJ, Backx FJG. Risk Factors for Hamstring Injuries in Male Soccer Players: A Systematic Review of Prospective Studies. *Scand J Med Sci Sports*. 2013 Jun 21;23(3):253–62.
44. Ciacci S, Di Michele R, Fantozzi S, Merni F. Assessment of Kinematic Asymmetry for Reduction of Hamstring Injury Risk. *International Journal of Athletic Therapy and Training*. 2013 Nov;18(6):18–23.
45. Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players. *Am J Sports Med*. 2008 Aug 30;36(8):1469–75.
46. Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2013 Apr;47(6):351–8.
47. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D’Have T, Cambier D. Muscle Flexibility as a Risk Factor for Developing Muscle Injuries in Male Professional Soccer Players. *Am J Sports Med*. 2003 Jan 1;31(1):41–6.
48. Sherry MA, Best TM. A Comparison of 2 Rehabilitation Programs in the Treatment of Acute Hamstring Strains. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2004 Mar;34(3):116–25.
49. Reche Soto Pedro José. FÚTBOL Y TECNOLOGÍA. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO EN ENTRENAMIENTO Y COMPETICIÓN EN FÚTBOL SEMIPROFESIONAL. 2021.

50. Bastida Castillo A, Gómez Carmona CD, De la cruz sánchez E, Pino Ortega J. Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time–motion analyses in soccer. *Eur J Sport Sci*. 2018 May 31;18(4):450–7.
51. Castellano J, Alvarez-Pastor D, Bradley PS. Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco® and Prozone®) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review. *Sports Medicine*. 2014 May 8;44(5):701–12.
52. Cummins C, Orr R, O'Connor H, West C. Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*. 2013 Oct 28;43(10):1025–42.
53. Aughey RJ. Applications of GPS Technologies to Field Sports. *Int J Sports Physiol Perform*. 2011 Sep;6(3):295–310.
54. Frencken WGP, Lemmink KAPM, Delleman NJ. Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *J Sci Med Sport*. 2010 Nov;13(6):641–5.
55. Stevens TGA, de Ruiter CJ, van Niel C, van de Rhee R, Beek PJ, Savelsbergh GJP. Measuring Acceleration and Deceleration in Soccer-Specific Movements Using a Local Position Measurement (LPM) System. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014 May;9(3):446–56.
56. Alarifi A, Al-Salman A, Alsaleh M, Alnafessah A, Al-Hadhrami S, Al-Ammar M, et al. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*. 2016 May 16;16(5):707.

57. Leser R, Baca A, Ogris G. Local Positioning Systems in (Game) Sports. *Sensors*. 2011 Oct 19;11(10):9778–97.
58. Nicolella DP, Torres-Ronda L, Saylor KJ, Schelling X. Validity and reliability of an accelerometer-based player tracking device. *PLoS One*. 2018 Feb 8;13(2):e0191823.
59. Football Research & Standards Learnings from a Decade of Assessing Electronic Performance & Tracking Systems in Football. 2024.
60. Beato M, Devereux G, Stiff A. Validity and Reliability of Global Positioning System Units (STATSports Viper) for Measuring Distance and Peak Speed in Sports. *J Strength Cond Res*. 2018 Oct;32(10):2831–7.
61. Scott MTU, Scott TJ, Kelly VG. The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport. *J Strength Cond Res*. 2016 May;30(5):1470–90.
62. Rico-González M, Los Arcos A, Nakamura FY, Moura FA, Pino-Ortega J. The use of technology and sampling frequency to measure variables of tactical positioning in team sports: a systematic review. *Research in Sports Medicine*. 2020 Apr 2;28(2):279–92.
63. Akenhead R, Nassis GP. Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016 Jul;11(5):587–93.
64. Akenhead R, Harley JA, Twedde SP. Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *J Strength Cond Res*. 2016 Sep;30(9):2424–32.

65. Reenalda J, Maartens E, Homan L, Buurke JH (Jaap). Continuous three dimensional analysis of running mechanics during a marathon by means of inertial magnetic measurement units to objectify changes in running mechanics. *J Biomech.* 2016 Oct;49(14):3362–7.
66. Ahmad N, Ghazilla RAR, Khairi NM, Kasi V. Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications. *International Journal of Signal Processing Systems.* 2013;256–62.
67. Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Ekelund U, Delisle Nyström C, Mora-Gonzalez J, Löf M, et al. Accelerometer Data Collection and Processing Criteria to Assess Physical Activity and Other Outcomes: A Systematic Review and Practical Considerations. *Sports Medicine.* 2017 Sep 16;47(9):1821–45.
68. Culhane KM, O'Connor M, Lyons D, Lyons GM. Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Age Ageing.* 2005 Nov 1;34(6):556–60.
69. Krasnoff JB, Kohn MA, Choy FKK, Doyle J, Johansen K, Painter PL. Interunit and Intraunit Reliability of the RT3 Triaxial Accelerometer. *J Phys Act Health.* 2008 Jul;5(4):527–38.
70. Chambers R, Gabbett TJ, Cole MH, Beard A. The Use of Wearable Microsensors to Quantify Sport-Specific Movements. *Sports Medicine.* 2015 Jul 3;45(7):1065–81.
71. Reynolds BB, Patrie J, Henry EJ, Goodkin HP, Broshek DK, Wintermark M, et al. Practice type effects on head impact in collegiate football. *J Neurosurg.* 2016 Feb;124(2):501–10.
72. Esfandyari J, DNR, & XG. Introduction to mems gyroscopes. *Solid State Technology.* 2010;

73. KOZEY SL, LYDEN K, HOWE CA, STAUDENMAYER JW, FREEDSON PS. Accelerometer Output and MET Values of Common Physical Activities. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Sep;42(9):1776–84.
74. FIFA Quality Programme for Electronic Performance & Tracking Systems (EPTS) How to obtain certification for EPTS Applicable for: 1. Wearable Tracking Systems (to FIFA Basic & FIFA Quality level) 2. Optical Tracking Systems (to FIFA Quality level) FIFA Quality Programme for Electronic Performance & Tracking Systems [Internet]. 2023. Available from: www.fifa.com/technical/football-technology/resource-hub
75. Muñoz-López A, Granero-Gil P, Pino-Ortega J, De Hoyo M. The validity and reliability of a 5-hz GPS device for quantifying athletes' sprints and movement demands specific to team sports. *Journal of Human Sport and Exercise.* 2017;12(1).
76. Johnston RJ, Watsford ML, Pine MJ, Spurrs RW, Sporri D. Assessment of 5 Hz and 10 Hz GPS units for measuring athlete movement demands. *Int J Perform Anal Sport.* 2013 Apr 3;13(1):262–74.
77. Scott MTU, Scott TJ, Kelly VG. The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport. *J Strength Cond Res.* 2016 May;30(5):1470–90.
78. Gómez Carmona CD. Validity and Reliability of an Inertial Device (WIMU PRO TM) to Tracking Analysis in Handball. Vol. 14. 2018.
79. Caparrós T, Casals M, Solana Á, Peña J. External Workloads Are Related to Higher Injury Risk in Professional Male Basketball Games [Internet]. Vol. 17, ©Journal of Sports Science and Medicine. 2018. Available from: <http://www.jssm.org>

80. Hernández D, Casamichana D, Sánchez J. La cuantificación de la carga de entrenamiento como estrategia básica de prevención de lesiones [Internet]. 2017. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/320677274>
81. Hausler J, Halaki M, Orr R. Application of Global Positioning System and Microsensor Technology in Competitive Rugby League Match-Play: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*. 2016 Apr 29;46(4):559–88.
82. Miñano-Espin J, Casáis L, Lago-Peñas C, Gómez-Ruano MÁ. High Speed Running and Sprinting Profiles of Elite Soccer Players. *J Hum Kinet*. 2017 Aug 1;58(1):169–76.
83. TECNOLOGÍA ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO EN ENTRENAMIENTO Y COMPETICIÓN EN FÚTBOL SEMIPROFESIONAL Pedro José Reche Soto FY. UNIVERSIDAD DE MURCIA DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE. 2021.
84. Haugen T, Buchheit M. Sprint Running Performance Monitoring: Methodological and Practical Considerations. *Sports Medicine*. 2016 May 14;46(5):641–56.
85. Casamichana D, Castellano J, Castagna C. Comparing the Physical Demands of Friendly Matches and Small-Sided Games in Semiprofessional Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2012 Mar;26(3):837–43.
86. Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krstrup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci*. 2009 Jan;27(2):159–68.

87. Bradley PS, Di Mascio M, Peart D, Olsen P, Sheldon B. High-Intensity Activity Profiles of Elite Soccer Players at Different Performance Levels. *J Strength Cond Res.* 2010 Sep;24(9):2343–51.
88. Suarez-Arrones L, Arenas C, López G, Requena B, Terrill O, Mendez-Villanueva A. Positional Differences in Match Running Performance and Physical Collisions in Men Rugby Sevens. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 Mar;9(2):316–23.
89. OSGNACH C, POSER S, BERNARDINI R, RINALDO R, DI PRAMPERO PE. Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Jan;42(1):170–8.
90. LITTLE T, WILLIAMS AG. MEASURES OF EXERCISE INTENSITY DURING SOCCER TRAINING DRILLS WITH PROFESSIONAL SOCCER PLAYERS. *J Strength Cond Res.* 2007 May;21(2):367–71.
91. Ade JD, Harley JA, Bradley PS. Physiological Response, Time–Motion Characteristics, and Reproducibility of Various Speed-Endurance Drills in Elite Youth Soccer Players: Small-Sided Games Versus Generic Running. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 May;9(3):471–9.
92. Akenhead R, Hayes PR, Thompson KG, French D. Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *J Sci Med Sport.* 2013 Nov;16(6):556–61.
93. Gaudino P, Iaia FM, Strudwick AJ, Hawkins RD, Alberti G, Atkinson G, et al. Factors Influencing Perception of Effort (Session Rating of Perceived Exertion) During Elite Soccer Training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015 Oct;10(7):860–4.
94. ANEXO 1: VARIABLES DAILY REPORT.

95. Calero Saa Pedro Antonio, Camargo Puerto Camilo Alberto, Crespo Tavera Luis Carlos, Palma Pulido Luis Hebert, Martínez Cardona María del Carmen, Muñoz Cuartas Leopoldo, et al. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva tomo II. 1st ed. Cali, Colombia; 2018.
96. Chang JS, Kayani B, Plastow R, Singh S, Magan A, Haddad FS. Management of hamstring injuries: current concepts review. *Bone Joint J.* 2020 Oct 1;102-B(10):1281–8.
97. Askling C, Saartok T, Thorstensson A. Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *Br J Sports Med.* 2006 Jan;40(1):40–4.
98. Reiman Michael P., Lorenz Daniel S. Integration of strength and conditioning principles into a rehabilitation program. *The International Journal of Sports Physical Therapy.* 2011;
99. De Hoyo M., Naranjo-Orellana J., Carrasco L. Review on the hamstring muscle injury in sport: risk factors and prevention strategies. 2013;
100. Prior M, Guerin M, Grimmer K. An Evidence-Based Approach to Hamstring Strain Injury: A Systematic Review of the Literature. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach.* 2009 Jan 16;1(2):154–64.
101. Maffulli N, Ajis A. Management of Chronic Ruptures of the Achilles Tendon. *J Bone Joint Surg.* 2008 Jun;90(6):1348–60.
102. Vernacchia R, Henschen K, Lidor R. The road to the Olympic Games-sport psychology services for the 2000 USA Olympic Track and Field Team.

103. Caparrós T, Pujol M, Salas C. General guidelines in the rehabilitation process for return to training after a sports injury. *Apunts Medicina de l'Esport*. 2017 Oct;52(196):167–72.
104. Seirul-Lo V F. Entrenamiento coadyuvante. 1986.
105. Lloret M. Criterios básicos de readaptación deportiva. 1989.
106. Pruna R. Return to play: ¿Hacia dónde vamos? Esto no es un juego de adivinanzas [Internet]. Vol. 51, *Apunts Med Esport*. 2016. Available from: www.apunts.org
107. Lesma López Luis José. Cuantificación del proceso de readaptación de lesiones musculares a través de GPS en fútbol profesional. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE MEDICINA; 2017.
108. Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *Br J Sports Med*. 2016 Jul;50(14):853–64.
109. D'Onofrio R, Padasala M, Manzi V, Bjelica B, Aksović N. The final stage (late) of sport rehabilitation: Critical analysis of quality of movement and injury risk factors during return to sport. 2021 Nov;8:13 –30.
110. Morrison S, Ward P, duManoir GR. ENERGY SYSTEM DEVELOPMENT AND LOAD MANAGEMENT THROUGH THE REHABILITATION AND RETURN TO PLAY PROCESS. Vol. 12, *The International Journal of Sports Physical Therapy* |. 2017.
111. Rebelo-Marques A, Andrade R, Pereira R, Espregueira-Mendes J. Return to Play (RTP). In: *The Sports Medicine Physician*. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 149–69.

112. Bisciotti GN, Volpi P, Alberti G, Aprato A, Artina M, Auci A, et al. Italian consensus statement (2020) on return to play after lower limb muscle injury in football (soccer). *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019 Oct;5(1):e000505.
113. Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *Br J Sports Med*. 2016 Apr;50(8):471–5.
114. Doege J, Ayres JM, Mackay MJ, Tarakemeh A, Brown SM, Vopat BG, et al. Defining Return to Sport: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. 2021 Jul 1;9(7).
115. Gabbett TJ. How Much? How Fast? How Soon? Three Simple Concepts for Progressing Training Loads to Minimize Injury Risk and Enhance Performance. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2020 Oct;50(10):570–3.
116. Wilk KE, Arrigo CA. Rehabilitation Principles of the Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knee. *Clin Sports Med*. 2017 Jan;36(1):189–232.
117. Hägglund M, Waldén M, Bahr R, Ekstrand J. Methods for epidemiological study of injuries to professional football players: developing the UEFA model. *Br J Sports Med*. 2005 Jun;39(6):340–6.
118. MENDIGUCHIA J, MARTINEZ-RUIZ E, EDOUARD P, MORIN JB, MARTINEZ-MARTINEZ F, IDOATE F, et al. A Multifactorial, Criteria-based Progressive Algorithm for Hamstring Injury Treatment. *Med Sci Sports Exerc*. 2017 Jul;49(7):1482–92.
119. Roi GS, Creta D, Nanni G, Marcacci M, Zaffagnini S, Snyder-Mackler L. Return to Official Italian First Division Soccer Games Within 90 Days After Anterior

- Cruciate Ligament Reconstruction: A Case Report. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2005 Feb;35(2):52–66.
120. Paredes Hernández Victor. MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN EN LA READAPTACIÓN DE LESIONES EN FÚTBOL [Internet]. [Madrid]: Universidad Autónoma de Madrid; 2009. Available from: www.rayovallecano.es,
 121. Lalín C. La readaptación lesional (I parte): fundamentación y contextualización. *Red Rev Entren Deport*. 2008 Nov;22:27–35.
 122. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. Enhancing Change-of-Direction Speed in Soccer Players by Functional Inertial Eccentric Overload and Vibration Training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016 Jan;11(1):66–73.
 123. Gonzalo-Skok O, Tous-Fajardo J, Valero-Campo C, Berzosa C, Bataller AV, Arjol-Serrano JL, et al. Eccentric-Overload Training in Team-Sport Functional Performance: Constant Bilateral Vertical Versus Variable Unilateral Multidirectional Movements. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017 Aug;12(7):951–8.
 124. Mitchell A, Gimpel M. A Return-to-Performance Pathway for Professional Soccer: A Criteria-based Approach to Return Injured Professional Players Back to Performance. *JOSPT Open* [Internet]. 2024 Jul;2(3):166–78. Available from: <https://www.jospt.org/doi/10.2519/josptopen.2024.1240>
 125. King J, Roberts C, Hard S, Ardern CL. Want to improve return to sport outcomes following injury? Empower, engage, provide feedback and be transparent: 4 habits! *Br J Sports Med*. 2019 May;53(9):526–7.
 126. Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. Hamstring Strain Injuries: Recommendations for Diagnosis, Rehabilitation, and Injury

- Prevention. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2010 Feb;40(2):67–81.
127. Orchard J, Best TM, Verrall GM. Return to Play Following Muscle Strains. Clinical Journal of Sport Medicine. 2005 Nov;15(6):436–41.
 128. Ekstrom RA, Osborn RW, Goehner HM, Moen AC, Ommen BM, Mefferd MJ, et al. Electromyographic Normalization Procedures for Determining Exercise Intensity of Closed Chain Exercises for Strengthening the Quadriceps Femoris Muscles. J Strength Cond Res. 2012 Mar;26(3):766–71.
 129. Gabbett TJ. The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter *and* harder? Br J Sports Med. 2016 Mar;50(5):273–80.
 130. Bangsbo J, Mohr M, Poulsen A, Perez-Gomez J, Krstrup P. Training and testing the elite athlete. J Exerc Sci Fit. 2006 Nov;4.
 131. Rebelo A, Brito J, Seabra A, Oliveira J, Drust B, Krstrup P. A New Tool to Measure Training Load in Soccer Training and Match Play. Int J Sports Med. 2012 Apr 30;33(04):297–304.
 132. Drinkwater EJ, Moore NR, Bird SP. Effects of Changing from Full Range of Motion to Partial Range of Motion on Squat Kinetics. J Strength Cond Res. 2012 Apr;26(4):890–6.
 133. Ziv G, Lidor R. Vertical jump in female and male basketball players—A review of observational and experimental studies. J Sci Med Sport. 2010 May;13(3):332–9.
 134. Gray AJ, Jenkins DG. Match Analysis and the Physiological Demands of Australian Football. Sports Medicine. 2010 Apr;40(4):347–60.

135. González-Estavillo AC, Jiménez-Ramos A, Rojas-Zarco EM, Velasco Sordo L, Chávez-Ramírez MA, Coronado-Ávila SA. Correlación entre las escalas unidimensionales utilizadas en la medición de dolor postoperatorio. *Revista Mexicana de Anestesiología*. 2018 Nov;41:7–14.
136. Vicente Herrero MT, Delgado Bueno S, Bandrés Moyá F, Ramírez Iñiguez de la Torre MV, Capdevila García L. Valoración del dolor. Revisión Comparativa de Escalas y Cuestionarios. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*. 2018;
137. hudi WIMU PRO Wearable Devices User Manual. 2023.
138. Gómez Carmona CD. Validity and Reliability of an Inertial Device (WIMU PRO TM) to Tracking Analysis in Handball. Vol. 14. 2018.
139. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human participants. *JAMA*. 2024 Oct 19;
140. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* Second Edition. New York; 1988.
141. Sawilowsky SS. New effect size rules of thumb [Internet]. Vol. 8, *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. 2009. Available from: http://digitalcommons.wayne.edu/coe_tbf/4
142. Efron B. Better Bootstrap Confidence Intervals. *J Am Stat Assoc*. 1987 Mar;82(397):171–85.
143. Yatani K. Effect Sizes and Power Analysis in HCI. In 2016. p. 87–110.
144. HOPKINS WG, MARSHALL SW, BATTERHAM AM, HANIN J. *Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science*. Med Sci Sports Exerc. 2009 Jan;41(1):3–12.

145. Hall ECR, Larruskain J, Gil SM, Lekue JA, Baumert P, Rienzi E, et al. Injury risk is greater in physically mature versus biologically younger male soccer players from academies in different countries. *Physical Therapy in Sport*. 2022 May;55:111–8.
146. Read PJ, Oliver JL, De Ste Croix MBA, Myer GD, Lloyd RS. An audit of injuries in six english professional soccer academies. *J Sports Sci*. 2018 Jul 3;36(13):1542–8.
147. Bult HJ, Barendrecht M, Tak IJR. Injury Risk and Injury Burden Are Related to Age Group and Peak Height Velocity Among Talented Male Youth Soccer Players. *Orthop J Sports Med*. 2018 Dec 1;6(12).
148. Albin AK, Norjavaara E. Pubertal Growth and Serum Testosterone and Estradiol Levels in Boys. *Horm Res Paediatr*. 2013;80(2):100–10.
149. Leventer L, Eek F, Hofstetter S, Lames M. Injury Patterns among Elite Football Players: A Media-based Analysis over 6 Seasons with Emphasis on Playing Position. *Int J Sports Med*. 2016 Jul 28;37(11):898–908.
150. Hall ECR, Larruskain J, Gil SM, Lekue JA, Baumert P, Rienzi E, et al. Playing Position and the Injury Incidence Rate in Male Academy Soccer Players. *J Athl Train*. 2022 Jul 1;57(7):696–703.
151. Oliva-Lozano JM, Fortes V, López-Del Campo R, Resta R, Muyor JM. When and how do professional soccer players experience maximal intensity sprints in LaLiga? *Science and Medicine in Football*. 2023 Jul 3;7(3):288–96.
152. Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. The Influence of Soccer Playing Actions on the Recovery Kinetics After a Soccer Match. *J Strength Cond Res*. 2014 Jun;28(6):1517–23.

153. Bacon CS, Mauger AR. Prediction of Overuse Injuries in Professional U18-U21 Footballers Using Metrics of Training Distance and Intensity. *J Strength Cond Res.* 2017 Nov;31(11):3067–76.
154. Gualtieri A, Rampinini E, Dello Iacono A, Beato M. High-speed running and sprinting in professional adult soccer: Current thresholds definition, match demands and training strategies. A systematic review. *Front Sports Act Living.* 2023 Feb 13;5.
155. Clemente FM, Owen A, Serra-Olivares J, Nikolaidis PT, van der Linden CMI, Mendes B. Characterization of the Weekly External Load Profile of Professional Soccer Teams From Portugal and the Netherlands. *J Hum Kinet.* 2019 Mar 27;66(1):155–64.
156. Martín-García A, Gómez Díaz A, Bradley PS, Morera F, Casamichana D. Quantification of a Professional Football Team's External Load Using a Microcycle Structure. *J Strength Cond Res.* 2018 Dec;32(12):3511–8.
157. Sweeting AJ, Cormack SJ, Morgan S, Aughey RJ. When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Front Physiol.* 2017 Jun 20;8.
158. Altmann S, Forcher L, Ruf L, Beavan A, Groß T, Lussi P, et al. Match-related physical performance in professional soccer: Position or player specific? *PLoS One.* 2021 Sep 10;16(9):e0256695.
159. Carling C, Bradley P, McCall A, Dupont G. Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *J Sports Sci.* 2016 Dec 16;34(24):2215–23.

160. Oliva-Lozano JM, Fortes V, López-Del Campo R, Resta R, Muyor JM. When and how do professional soccer players experience maximal intensity sprints in LaLiga? *Science and Medicine in Football*. 2023 Jul 3;7(3):288–96.
161. Ade JD, Harley JA, Bradley PS. Physiological Response, Time–Motion Characteristics, and Reproducibility of Various Speed-Endurance Drills in Elite Youth Soccer Players: Small-Sided Games Versus Generic Running. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014 May;9(3):471–9.
162. Köklü Y, Cihan H, Alemdaroğlu U, Dellal A, Wong D. Acute effects of small-sided games combined with running drills on internal and external loads in young soccer players. *Biol Sport*. 2020;37(4):375–81.
163. Dalen T, Jørgen I, Gertjan E, Geir Havard H, Ulrik W. Player Load, Acceleration, and Deceleration During Forty-Five Competitive Matches of Elite Soccer. *J Strength Cond Res*. 2016 Feb;30(2):351–9.
164. Vigh-Larsen JF, Dalgas U, Andersen TB. Position-Specific Acceleration and Deceleration Profiles in Elite Youth and Senior Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2018 Apr;32(4):1114–22.
165. Yatani K. Effect Sizes and Power Analysis in HCI. In Tokyo, Japan; 2016. p. 87–110.
166. Dalen T, Sandmæl S, Stevens TGA, Hjelde GH, Kjøsnes TN, Wisløff U. Differences in Acceleration and High-Intensity Activities Between Small-Sided Games and Peak Periods of Official Matches in Elite Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2021 Jul;35(7):2018–24.
167. Dello Iacono A, McLaren SJ, Macpherson TW, Beato M, Weston M, Unnithan VB, et al. Quantifying Exposure and Intra-Individual Reliability of High-Speed

- and Sprint Running During Sided-Games Training in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*. 2023 Feb 4;53(2):371–413.
168. Perna P, Kerin F, Greig N, Beato M. Return-to-play criteria following a hamstring injury in professional football: a scoping review. *Research in Sports Medicine*. 2024 Dec 12;1–20.
 169. Taberner M, O’keefe J, Dunn A, Cohen DD. Return to sport and beyond following intramuscular tendon hamstring injury: A case report of an English Premier League football player. *Physical Therapy in Sport*. 2022 Jul;56:38–47.
 170. Taberner M, Haddad FS, Dunn A, Newall A, Parker L, Betancur E, et al. Managing the return to sport of the elite footballer following semimembranosus reconstruction. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2020 Oct;6(1):e000898.
 171. Taberner M, Allen T, Cohen DD. Progressing rehabilitation after injury: consider the ‘control-chaos continuum.’ *Br J Sports Med*. 2019 Sep;53(18):1132–6.
 172. van der Horst N, Backx F, Goedhart EA, Huisstede BM. Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br J Sports Med*. 2017 Nov;51(22):1583–91.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

LIC. MARCOS ORTIZ HERNÁNDEZ

Candidato para obtener el Grado de Maestría en Terapia Física y Readaptación
Deportiva

Reporte de Tesis: RETORNO AL DEPORTE POST-LESIÓN DE ISQUIOTIBIALES
EN FUTBOLISTAS UTILIZANDO SISTEMAS DE SEGUIMIENTO
ELECTRÓNICOS DE RENDIMIENTO

Campo temático: Terapia física y Readaptación Deportiva

Lugar y fecha de nacimiento: Nacido en la Ciudad de Tlaxcala, Tlaxcala, el 01 de mayo de 1996. Hijo del Sr. Fausto Ortiz Rojano y de la Sra. María Patricia Hernández Lima

Lugar de residencia: San Nicolás de los Garza, Nuevo León

Procedencia académica: Licenciado en Cultura Física, egresado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Experiencia Propedéutica y/o Profesional: Experiencia como docente en el módulo “Asiste a deportistas con lesiones durante la preparación física” (Bachillerato Tecnológico de Educación y Promoción Deportiva); Experiencia como terapeuta físico y readaptador deportivo en instituciones tanto públicas como instituciones deportivas privadas. Participación en congresos nacionales como ponente y tallerista.

E-mail: marcos12oh@gmail.com, marcos.ortizh@uanl.edu.mx