

## **Grado en Fisioterapia**

### **Trabajo Fin de Grado**

**Título:**

***Inclusión de la terapia acuática en el  
tratamiento convencional en jugadoras de  
fútbol con rotura de LCA***

Alumno: Diego Montero Vázquez

Tutor: Raúl Coto Martín

**Madrid, 22 de abril de 2025.**

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>TABLA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA .....</b>	<b>11</b>
Epidemiología .....	11
Mecanismos de lesión .....	13
Factores de riesgo .....	16
Tipos de injerto .....	22
Intervención y comparación.....	24
<b>2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA.....</b>	<b>34</b>
Búsquedas con EBSCO .....	35
Búsquedas con PubMed.....	37
Flujograma .....	40
<b>3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>41</b>
Objetivo general .....	41
Objetivos específicos .....	41
<b>4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>42</b>
Hipótesis conceptual .....	42
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>43</b>
Diseño .....	43
Sujetos de Estudio .....	45
Variables.....	49
Hipótesis operativa .....	51

<b>Recogida, análisis de datos, y contraste de la hipótesis .....</b>	<b>53</b>
<b>Limitaciones del estudio .....</b>	<b>57</b>
<b>Equipo investigador .....</b>	<b>58</b>
<b>6. PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>59</b>
<b>Diseño de la intervención .....</b>	<b>59</b>
<b>Etapas de desarrollo .....</b>	<b>66</b>
<b>Distribución de las tareas de todo el equipo investigador .....</b>	<b>67</b>
<b>Lugar de realización del proyecto .....</b>	<b>68</b>
<b>7. LISTADO DE REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>74</b>
<b>Anexo I. Solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC) .....</b>	<b>74</b>
<b>Anexo II. Solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica (CEIm) .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexo III. Documento explicativo del estudio para participantes .....</b>	<b>76</b>
<b>Anexo IV: Hoja de revocación .....</b>	<b>78</b>
<b>Anexo V: Consentimiento informado. ....</b>	<b>79</b>
<b>Anexo VI: Hoja de datos personales. ....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo VII. Hoja de datos del estudio. ....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo VIII. Autorización para Repositorio. ....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo IX. Ejercicios del tratamiento convencional. ....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo X. Ejercicios del tratamiento experimental. ....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de abreviaturas. Fuente: Elaboración propia .....	8
Tabla 2: Clasificación de factores de riesgo. Fuente: Elaboración propia.....	16
Tabla 3. Términos MeSH, términos DeCS y términos libres utilizados para la estrategia de búsqueda. Fuente: Elaboración propia .....	35
Tabla 4. Búsqueda en la base de datos EBSCO. Fuente: Elaboración propia .....	35
Tabla 5. Estrategia de búsqueda realizada en la base de datos EBSCO. Fuente: Elaboración propia .....	37
Tabla 6. Búsqueda en la base de datos PubMed. Fuente: Elaboración propia .....	38
Tabla 7. Estrategia de búsqueda en la base de datos PubMed. Fuente: Elaboración propia.	
.....	39
Tabla 8. Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Elaboración propia .....	45
Tabla 9. Nivel de significación y poder estadístico. Fuente: Elaboración propia.....	46
Tabla 10. Variables del estudio. Fuente: Elaboración propia .....	49
Tabla 11. Tratamiento del protocolo convencional durante las 12 primeras semanas. Fuente: van Grinsven et al (44). .....	61
Tabla 12. Calendario mes 1 del protocolo convencional común. Fuente: Elaboración propia	
.....	62
Tabla 13. Calendario mes 2 del protocolo convencional común. Fuente: Elaboración propia.	
.....	62
Tabla 14. Calendario mes 3 del protocolo convencional común. Fuente: Elaboración propia.	
.....	62
Tabla 15. Semana 13 tras la operación. Primera semana del protocolo convencional. Fuente: Elaboración propia .....	63
Tabla 16. Semanas 14-17 tras la operación. Primer mes del protocolo convencional. Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 17. Semanas 18-20 tras la operación. Segundo mes del protocolo convencional. Fuente: Elaboración propia .....	64
Tabla 18. Semana 13 tras la operación. Primera semana del tratamiento experimental. Fuente: Elaboración propia .....	64
Tabla 19. Semanas 14-17 tras la operación. Primer mes del tratamiento convencional. Fuente: Elaboración propia .....	65

Tabla 20. Semanas 18-20 tras la operación. Segundo mes del tratamiento experimental. Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 21. Etapas del estudio y fechas correspondientes. Fuente: Elaboración propia.....	66
Tabla 22. Tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 1 en fase 4. Fuente: Elaboración propia.....	92
Tabla 23. tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 1 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.....	93
Tabla 24. Tabla ejercicios de potencia del grupo 1 en la fase 4. Fuente: Elaboración propia.....	94
Tabla 25. Tabla de ejercicios de portencia del grupo 1 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.....	94
Tabla 26. Tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 2 en fase 4. Fuente: Elaboración propia.....	96
Tabla 27. Tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 2 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.....	98
Tabla 28. Tabla de ejercicios de potencia del grupo 1 en fase 4. Fuente: Elaboración propia.....	99
Tabla 29. Tabla de ejercicios de potencia del grupo 2 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.....	100

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama de flujo. Fuente: Elaboración propia.....40

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ejercicio sentadilla con barra. Fuente: Physitrack® Formatting...	85
Ilustración 2. Prensa de pierna. Fuente: Physitrack® .....	86
Ilustración 3. Ejercicio zancadas con peso. Fuente: Physitrack® .....	86
Ilustración 4. Ejercicio balanceo con kettlebell. Fuente: Physitrack® .....	87
Ilustración 5. Ejercicio curl de isquiotibiales. Fuente: Physitrack® .....	88
Ilustración 6. Ejercicio step-up con peso. Fuente: Physitrack® .....	89
Ilustración 7. Ejercicio hip thrust con barra. Fuente: Physitrack® .....	89
Ilustración 8. Ejercicio peso muerto con barra. Fuente: Physitrack®.....	90

## TABLA DE ABREVIATURAS

SIGLAS	SIGNIFICADO
ABD	Abducción
AG	Artificial grass / Hierba artificial
AIT	Ánálisis con intención de tratar
AVD	Actividades de la vida diaria
BTB	Bone-tendon-bone / Hueso-tendón-hueso
COD	Cambio de dirección
CoV	Coeficiente de variación
CV	Cardiovasculares
d	Precisión
FG	Firm ground / Terreno firme
FIVM	Fuerza isométrica voluntaria máxima
Fmax	Fuerza máxima
HT	Hamstrings tendon / Tendón de isquiotibiales
IMC	Índice de masa corporal
LCA	Ligamento cruzado anterior
MMII	Miembro inferior
ms	Milisegundos
NG	Natural Grass / Hierba natural
Nm/s	Newton metro / segundos
Nxm	Newton x metro
QT	Quadriceps tendon / Tendón cuadricipital
RFD	Rate of Force Development / Tasa de desarrollo de fuerza
RFFM	Real Federación de Fútbol de Madrid
ROM	Range of Movement / Rango de movimiento
RTP	Return to play / vuelta a la competición
SD	Desviación típica
SG	Soft Ground / Terreno blando
TPU	Poliuretano termoplástico
TTA	Traslación tibial anterior
V0 <sub>2</sub> MAX	Capacidad aeróbica máxima

Tabla 1. Tabla de abreviaturas. Fuente: Elaboración propia.

## RESUMEN

### Antecedentes

La rotura de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más frecuentes en el fútbol, especialmente en mujeres, cuya incidencia es de 2 a 8 veces mayor que en hombres. Factores anatómicos, hormonales, y neuromusculares, como un menor control motor, un patrón de activación muscular diferente, o desequilibrios musculares entre cuádriceps e isquiotibiales, son predisponentes a esta lesión.

La recuperación es un componente esencial tras el proceso de reconstrucción del LCA en el que las jugadoras quieren retomar la actividad deportiva tan pronto como sea posible. Debido a la necesidad de optimizar el proceso después de la reconstrucción del LCA, un área que está limitada en cuanto a investigación, y puede ser potencialmente beneficiosa para la optimización del proceso de recuperación de la lesión de LCA, es la terapia acuática.

### Objetivo principal

El objetivo de este estudio es evaluar la eficacia del tratamiento de terapia acuática junto al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento de terapia convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA.

### Metodología

Se realizará un estudio experimental con jugadoras de fútbol que hayan sido diagnosticadas de rotura de LCA, derivadas de la Real Federación de Fútbol de Madrid (RFFM). Se dividirán a las pacientes de manera aleatoria en 2 grupos, en el que cada grupo realizará tratamientos distintos. Se realizará una medición pre-tratamiento a las 12 semanas postcirugía, y una medición post-tratamiento a las 20 semanas postcirugía, de las variables fuerza isométrica voluntaria máxima de cuádriceps e isquiotibiales, Ratio H:Q, y RFD de cuádriceps e isquiotibiales a los 100 primeros milisegundos.

### Palabras clave

Ligamento cruzado anterior, fútbol, mujer, terapia acuática.

## ABSTRACT

### Background

Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is one of the most common injuries in football, especially in women, with an incidence 2 to 8 times higher than in men. Anatomical, hormonal, and neuromuscular factors, such as poorer motor control, a different muscle activation pattern, or muscle imbalances between the quadriceps and hamstrings, predispose to this injury.

Recovery is an essential component after ACL reconstruction, as players want to return to sport as soon as possible. Due to the need to optimise the process after ACL reconstruction, an area that is limited in terms of research and could potentially be beneficial for optimising the ACL injury recovery process is aquatic therapy.

### Main objective

The objective of this study is to evaluate the effectiveness of aquatic therapy treatment in conjunction with conventional therapy treatment compared to conventional therapy treatment alone in female football players who have suffered ACL tears.

### Methodology

An experimental study will be conducted with female football players who have been diagnosed with ACL tears, referred by the Royal Football Federation of Madrid (RFFM). The patients will be randomly divided into two groups, each of which will undergo different treatments. Pre-treatment measurements will be taken 12 weeks after surgery, and post-treatment measurements will be taken 20 weeks after surgery, of the variables maximum voluntary isometric strength of the quadriceps and hamstrings, H:Q ratio, and RFD of the quadriceps and hamstrings at the first 100 milliseconds.

### Keywords

Anterior cruciate ligament, football, women, aquatic therapy.

## 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

### Epidemiología

La lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) es una lesión frecuente en deportistas. Esta incidencia, es mayor en personas de entre 15 y 40 años, siendo los deportes más frecuentes fútbol, rugby, baloncesto, balonmano, y esquí alpino. En la población general, se ha estimado una prevalencia de 68,6 por cada 100.000 personas al año, tanto en profesionales, como en deportistas aficionados, representando del 20 al 50% de todas las lesiones de rodilla (1)

El LCA proporciona el 85% de estabilidad de la rodilla, evitando la traslación anteroposterior de la tibia con respecto al fémur, y actuando como una restricción secundaria de la rotación tibial, y de la rotación varo/valgo, por lo que, si este está dañado, movimientos como pivotar, saltar, aterrizar, pueden provocar lesiones meniscales o cartilaginosas, además de una osteoartritis precoz a largo plazo. Además de su función mecánica, proporcionando estabilidad a la rodilla, este también consta de mecanorreceptores, que tienen una influencia directa en el control neuromuscular de la rodilla (2)

La tasa lesional del LCA, varía en función del género, y del deporte. Ésta, es mayor en mujeres que en hombres, observándose una mayor incidencia en deportes como fútbol o baloncesto. La lesión del LCA es la segunda lesión deportiva que aparece con mayor frecuencia, después del esguince de tobillo. La relación de la incidencia de rotura de LCA (mujer: hombre), según el deporte, es: baloncesto (3,5:1), fútbol (2,67:1), hockey (1,18:1) (3)

Un deporte que, hoy en día, se encuentra en crecimiento, basándonos en la población femenina, es el fútbol. El número de mujeres que juegan al fútbol en los últimos años ha ido en aumento a nivel mundial, siendo uno de los deportes con mayor crecimiento, con más de 15 millones de licencias activas por todo el mundo (4). En España, el número de fichas federativas ha crecido de manera exponencial durante los últimos 10 años, teniendo, hoy en día, un total de más de 77.000 licencias federativas (5)

Pero, al igual que crece el número de jugadoras, también crece el número de lesiones. En el fútbol femenino, la lesión de LCA constituye entre el 2,7 y el 6,3 de las lesiones que se producen en el fútbol femenino. Esta lesión, tiene consecuencias tanto a corto, como a medio y largo plazo, además de causar un tiempo de baja mayor que cualquier otro tipo de lesión,

necesitando un tiempo aproximado de 6 a 8 meses, en el que se establezca tratamiento y recuperación. Además de esto, existe una fuerte relación entre la lesión del LCA, y la artrosis postraumática de la rodilla a una edad relativamente temprana, habiendo una mayor incidencia en mujeres que en hombres. Entre el 50% y el 100% de las mujeres que han sufrido una lesión de LCA, mostrarán dolor, limitación funcional, y evidencia mediante pruebas de imagen, de artrosis de rodilla, en un plazo de 12 a 20 años tras la lesión inicial (3,6)

Reyes *et al.* (7) realizaron un estudio en el que analizaron las lesiones de LCA de 71 jugadoras de fútbol de Primera y Segunda división femenina española, durante las últimas diez temporadas, siendo estas un total de 94 lesiones. Aporta datos sobre la incidencia lesional, afirmando que esta lesión constituye entre el 2,7 y el 6,3% de las lesiones que se producen en el fútbol, y asumiendo que en mujeres deportistas, llega a superar entre 2 a 8 veces a los hombres deportistas; además de datos más específicos este deporte, como las lesiones en pierna dominante (52,1%) o no dominante (47,9%), en entrenamiento (44,7%) o en partido (55,3%), o entre las diferentes posiciones que ocupan en el terreno de juego, entre otros. Además, especifica en cuanto a la posición donde aparecieron más lesiones de LCA, la cual fue la de centrocampista (26,7%). Esta posición, en el mundo del fútbol femenino, es la que más lesiones sufre, tanto de rodilla, como de tobillo, pudiendo deberse a la gran cantidad de acciones que se realizan en esta determinada posición, como es el caso de los giros, siendo este gesto uno de los que más lesiones produce.

Faude *et al.* (8) durante la temporada 2003-2004, en la liga nacional de fútbol femenino alemana, realizaron un estudio para analizar la incidencia y el tipo de lesiones en el fútbol femenino de élite. Hubo un total de 194 lesiones en miembros inferiores, siendo 14 de estas, roturas de LCA. Este suceso, corresponde a una tasa de incidencia de 2,2 roturas de LCA por cada 1000 horas de partido. Destaca también, que todas las roturas de LCA se produjeron durante los partidos.

Yanguas Leyes *et al.*(9) realizaron un estudio epidemiológico en el que analizaron, durante tres temporadas consecutivas, la incidencia de lesiones de LCA, en 166 futbolistas del FC Barcelona. De estas 166, hubo un total de 11 roturas de LCA (4 en la primera temporada, 3 en la segunda, y 4 en la tercera). La incidencia lesional (x1000 horas) de las 3 temporadas es de 0,33, 0,25, y 0,29 respectivamente, siendo mucho más elevada la incidencia (x1000 horas) entre partidos y entrenamientos de las 3 temporadas: 2,59 frente a 0 en la primera, 0,69 frente a 0,19 en la segunda, y 1,15 frente a 0,17, en la tercera. La incidencia lesional, en este estudio es calculada mediante la fórmula (nº de lesiones / horas de exposición) x 1000 horas.

## **Mecanismos de lesión**

Antes de explicar aspectos neuromusculares y biomecánicos que intervienen en el proceso lesional del LCA, es fundamental conocer la anatomía del ligamento, además de los músculos relevantes de alrededor de la rodilla, los cuales nos aportan mucha información sobre los movimientos en los tres planos que afectan al LCA, y sobre qué músculos actúan como agonistas o antagonistas en distintos movimientos y posiciones articulares (10).

La principal función del LCA, es aportar estabilidad a la rodilla en los tres planos. En el plano sagital, el LCA limita la traslación anterior de la tibia (TTA), y la fuerza de tracción anterior sobre el LCA va disminuyendo a medida que la rodilla se flexiona más. Debido al ángulo de inserción del tendón rotuliano en la tibia, la fuerza de cizallamiento anterior producida por la contracción del cuádriceps, es mayor en ángulos de rodilla más cercanos a la extensión (de 0 a 30º de flexión de rodilla). Los isquiotibiales realizan la función de sinergista del LCA, generando fuerzas de cizallamiento posteriores en la tibia, que contrarrestan las fuerzas de cizallamiento anterior generadas por la contracción del cuádriceps (10).

En el plano frontal, el LCA limita los movimientos de abducción y aducción de la rodilla. Cuando la rodilla se somete a cargas en movimientos de varo o valgo, combinados con fuerzas de cizallamiento anterior, se produce un aumento de tensión del LCA, y, por ende, un aumento del riesgo lesional (10).

En el plano transversal, la tensión del LCA aumenta, tanto en rotación interna de la tibia, como en rotación externa combinada con un movimiento de valgo de rodilla, contactando con la parte anteromedial del cóndilo lateral(10).

El plano sagital, en el que se produce la flexoextensión, es en el que más se mueve la rodilla. Sin embargo, esta puede presentar traslaciones y rotaciones en los 3 planos. Un exceso de movimiento que exceda los límites fisiológicos en cualquiera de los 3 planos puede producir lesión del LCA. Estas lesiones, son más frecuentes con mecanismos multiplanares que uniplanares (6).

En la lesión de LCA, se definen principalmente dos mecanismos de lesión: Con contacto, las cuales son causadas por un traumatismo directo en la rodilla; o sin contacto, las cuales son las más frecuentes, que suelen producirse tras el aterrizaje en un salto, o durante maniobras

de corte. El 70% de las lesiones de LCA, suelen ser sin contacto, mientras que el 30%, suelen ser con contacto, entendiendo el no contacto, como la ausencia de contacto “cuerpo a cuerpo” entre jugadoras, y el contacto, lo contrario (11,12).

Los hombres y las mujeres presentan diferentes patrones de movimiento y activación muscular. Las mujeres tienden a aterrizar de saltos y realizar movimientos de corte y de pivot con una menor flexión de cadera y rodilla, un mayor valgo de rodilla, mayor rotación interna de cadera junto con una mayor rotación externa de tibia, y mayor activación de la musculatura del cuádriceps. Estos patrones de movimiento incrementan la tensión en el LCA, contribuyendo así a la diferencia notoria entre hombres y mujeres, en cuanto a tasas de lesión (12).

A la hora de investigar las causas de la lesión del LCA, es preciso analizar los gestos deportivos específicos que ponen en riesgo la estructura, para observar los factores biomecánicos que pueden aumentar la tensión del LCA. También, el comprender las diferencias de género, ya sea a nivel biomecánico, o neuromuscular, nos va a ayudar a entender la diferencia existente entre la susceptibilidad lesional de las mujeres, y de los hombres. Entre las acciones de mayor riesgo, valorando diferentes deportes, encontramos aterrizajes tras un salto, deceleraciones bruscas, y cambios de ritmo (COD) laterales.

Los aterrizajes no solo ejercen una mayor tensión en el LCA en el plano sagital, sino que, estos, con la rodilla extendida, puede afectar la carga y la tensión en otros planos. Aterrizar con la rodilla en ángulos cercanos a la extensión, aumenta la fuerza de impacto vertical, y, por ende, la compresión de la rodilla. Esta, por la pendiente posterior de la meseta tibial, puede inducir una rotación interna tibial, aumentando así la tensión del LCA. Además, en el plano frontal, los aterrizajes con la rodilla cerca de la extensión, están relacionados con un aumento de momentos externos de abducción de rodilla, siendo este un movimiento que compromete al LCA, poniéndolo en tensión (10).

El mecanismo lesional del LCA, es distinto en mujeres que en hombres, especialmente en lo que respecta a la posición dinámica de la rodilla, ya que, las atletas femeninas, muestran un mayor colapso en valgo del miembro inferior principalmente en el plano coronal, aunque indican varios aspectos comunes, como la alta abducción (ABD) de rodilla, el desplazamiento lateral del tronco con el cuerpo sobre la pierna que padece la lesión, planta del pie de la pierna lesionada, apoyada completamente en el suelo, y alejada del tronco; y baja flexión de rodilla (6).

Las lesiones del LCA, suelen ocurrir entre los primeros 30 y 100ms tras el contacto inicial del pie con el suelo, en los movimientos deportivos (6). Sin embargo, otros estudios afirman que estas lesiones suelen ocurrir entre los 17 y los 50ms tras el contacto inicial del pie con el suelo (10,13). Por ello, es fundamental una buena coordinación y un buen entrenamiento de las fuerzas de aterrizaje, además de un control neuromuscular efectivo. Tras el proceso de la pubertad, las mujeres poseen mayores fuerzas de aterrizaje y carga, un menor ratio H:Q, y diferentes patrones de activación muscular, en comparación con los hombres. En cuanto a las diferencias en el control neuromuscular y biomecánico entre mujeres y hombres, estas presentan un mayor desplazamiento lateral del tronco, un ángulo de flexión de cadera y tronco alterado, rangos de movimiento mayores del tronco, una menor rigidez torsional, y un aumento de la laxitud articular. Estos factores, incrementan en las mujeres el riesgo de lesión del LCA. El control de tronco, y la propiocepción del miembro inferior, son factores modificables muy importantes a la hora de adaptar y preparar las perturbaciones durante la práctica de la actividad deportiva. Los atletas con una menor capacidad de control de tronco, en respuesta a una perturbación repentina instantánea, presentan un mayor riesgo de lesión del LCA, con un 90% de sensibilidad, y un 56% de especificidad(6).

Mecanismos biomecánicos, como la ABD de rodilla, la rotación externa de la cadera, y asimetrías entre miembros inferiores (MMII), son alarmantes a la hora de la lesión del LCA. Las atletas femeninas que han sufrido esta lesión, en comparación con las que no lo han sufrido, muestran 8º más de ABD de rodilla, y un momento 2,5 veces mayor de abducción durante el aterrizaje. Además, las atletas que sufren esta lesión presentan alrededor de un 20% más de fuerza de reacción durante el aterrizaje. También, un exceso de traslación anterior de la tibia ( $>1,3\text{mm}$ ), y una hiperextensión de rodilla, aumentan la posibilidad de lesión del LCA entre cuatro y cinco veces, respectivamente (6).

El control de tronco es un factor muy importante en las lesiones de rodilla en mujeres. El desequilibrio entre las demandas iniciales del tronco, y la capacidad de la deportista para controlarlas y coordinarlas, es uno de los déficits específicos que presentan las atletas femeninas, a diferencia de los masculinos. Las deportistas que presentan desplazamientos amplios de tronco en respuesta a una perturbación posterior conducen a desplazamientos excesivos del tronco en el plano frontal, altas fuerzas de reacción, y grandes cargas en ABD de rodilla, por lo que sufren, con una mayor probabilidad, una lesión de LCA. Esta probabilidad aumenta, cuando se combinan los desplazamientos amplios de tronco, con una propiocepción deficiente, y antecedentes de dolor lumbar (6).

## Factores de riesgo

El aumento de lesiones de LCA en la población femenina, ha impulsado un examen más exhaustivo, de los factores responsables de las diferencias entre géneros. Estos, se consideran multifactoriales, los cuales procedemos a dividir en factores extrínsecos e intrínsecos (11)

<b>FACTORES EXTRÍNSECOS</b>	Tipo de superficie  Tipo de bota  Condiciones climatológicas  Carga de partidos y viajes
<b>FACTORES INTRÍNSECOS</b>	Anatómicos  Hormonales  Neuromusculares

Tabla 2: Clasificación de factores de riesgo. Fuente: Elaboración propia

### Factores extrínsecos

El primer factor extrínseco que mencionamos es el tipo de superficie. Xiao *et al.*(14) realizaron un estudio cuyo objetivo comparar el riesgo de lesión de LCA en jugadoras femeninas, en dos superficies distintas, como son terreno artificial (AT), y terreno natural (NG), ya que, dada la existencia de un mayor riesgo de lesión de LCA en mujeres, destaca la importancia de conocer si la superficie puede influir, o no, en este tipo de lesión. Destacaron que la incidencia de lesiones de LCA en jugadoras de futbol en AT era 1,18 veces mayor a la de NG, concluyendo que las jugadoras tenían un riesgo mayor de lesión de LCA cuando jugaban partidos en AT, frente a NG, mientras que no se encontraron diferencias significativas en los jugadores. Reyes *et al.* (7) realizaron otro estudio, en el que se realiza la comparativa entre lesiones en terreno natural, y terreno artificial, produciéndose el 70,2% en AT, mientras que el 28,7% se produjeron en NG, siendo estas un total de 94 lesiones.

El segundo factor que mencionamos es el tipo de bota. Con el fin de obtener un buen agarre en el terreno de juego, la suela de las botas de fútbol está diseñada con una determinada cantidad de tacos. Estas, pueden clasificarse en cuatro tipos: Soft Ground (SG), Firm Ground (FG), Artificial Ground (AG), y Turf (TF). En cuanto al material, los tres primeros tipos de suela suelen ser de TPU (poliuretano termoplástico), nailon, una mezcla de ambos, o incluso en ocasiones, de metal, dándose esta opción únicamente en SG. Los tacos de la suela SG, se pueden sustituir por tacos metálicos de 7 a 15mm de longitud, adaptándose a los tacos de nailon o TPU, los cuales tienen una longitud de más de 1cm. Los tacos FG, al igual que los de SG, tienen una longitud de más de 1cm. Los tacos AG tienen una longitud aproximada de 1cm. El número de tacos que suelen llevar estos 3 tipos de suelas, suelen ser de 6 a 11, 14, o más, y estos, suelen ser cónicos, aunque hay algunos que tienen forma de cuchilla, o una forma de prisma triangular redondeado, dependiendo de la marca que los fabrique. Las suelas TF, suelen ser de goma, con varios tacos cortos y densos, de unos 3mm, y de goma blanda. La correlación entre la longitud, el número y la forma de los tacos, y las lesiones de LCA, se refleja en las fuerzas de tracción translacional que se generan durante el contacto con la superficie y las fuerzas de rotación en el plano horizontal. El tipo de taco que más lesiones registra es el taco largo FG, con un 36,2%, seguido del taco bajo redondo AG, con un 33%; y del taco largo AG, con un 26,6%. El taco que menos índice lesional registra, es el taco mixto, con un 3,1%, siendo estos los que combinan tacos de metal, junto a tacos de TPU(15).

Otro factor extrínseco a tener en cuenta, son las condiciones climatológicas. La tracción rotacional, mecanismo lesional influyente, mencionado anteriormente, es diferente en los terrenos de juego en diferentes periodos del año. La menor tracción rotacional se da en el mes de enero, es decir, en estaciones del año frías, mientras que la mayor tracción rotacional se da en mayo, es decir, en condiciones cálidas, debido a la baja humedad del suelo, y las altas temperaturas del aire. En cuanto a la tracción translacional, que, al igual que la rotacional, es un mecanismo influyente, también es menor en estaciones frías, invernales, debido a la variación de la dureza superficial del césped natural, y a una disminución de la cobertura de filamentos de césped natural. La variación de la dureza, y la cobertura de filamentos de césped, son factores influyentes, ya que, cuanto mayor es la cantidad de cobertura de filamentos de hierba, mayor es la fuerza de tracción, y cuanto más seca sea la condición climatológica, mayor dureza del suelo, y mayor fuerza de tracción translacional(15)

El último factor extrínseco que destacamos es la carga de partidos y viajes en el calendario de las jugadoras. Hollander *et al.*(16) realizaron un estudio, cuyo objetivo era observar si la carga de partidos y de viajes internacionales de futbolistas profesionales, estaba relacionado con la lesión de LCA. Este estudio se realizó durante dos temporadas, en cuatro ligas

europeas de fútbol femenino de primer nivel, las cuales fueron la liga francesa, italiana, alemana, y española. Se demostró que las jugadoras que sufrieron lesiones de LCA, tuvieron más intervenciones, un menor tiempo de descanso entre entrenamientos y partidos, y viajaron más, en comparación con el grupo control.

## Factores intrínsecos

### Anatómicos

Comenzando por los factores intrínsecos anatómicos, destacamos una diferencia en la anchura pélvica y el ángulo Q. Las atletas femeninas, tienen una pelvis más ancha, conduciendo esto a un ángulo Q mayor, que podría relacionarse con una mayor incidencia lesional (11).

Otra diferencia anatómica entre hombres y mujeres es la escotadura intercondílea, espacio donde se ubica el LCA. Las mujeres, tienen una escotadura intercondílea más estrecha, provocando que el ligamento sea más pequeño, y, por ende, más débil. Al estar ubicado el LCA en este espacio, y, al ser este más pequeño, se incrementan las posibilidades de atrapamiento o elongación del ligamento ante cargas más intensas. Las mujeres con una escotadura intercondílea inferior a 13mm, tienen 16,8 veces más riesgo de lesión que las que presentaban mayor amplitud en la escotadura. Otros estudios, a su vez, no confirman la relación entre el factor de amplitud de la escotadura intercondílea, y el riesgo de lesión (11).

También, otro factor anatómico que destacamos es la laxitud articular de manera general. Las atletas femeninas suelen tener una mayor laxitud articular en comparación con los atletas masculinos. Jugadoras con rotura de LCA, han mostrado un mayor recurvatum de rodilla a 10° y a 90° de flexión de cadera, además de presentar unos niveles de flexibilidad suficientes como para apoyar las manos en el suelo con facilidad. Las mujeres con laxitud articular generalizada, tienen 2,7 veces un mayor riesgo de rotura de LCA que el resto. Esto afecta, tanto al plano sagital, traduciéndose como hiperextensión; como al plano coronal, en movimientos de valgo de rodilla, pudiendo, así, forzar el LCA, y, por lo tanto, aumentar el riesgo de lesión (11).

Continuando con la flexibilidad, otro factor anatómico destacado en las atletas femeninas es la flexibilidad muscular. Esta varía entre hombres y mujeres durante el periodo de pubertad. En los chicos, disminuye según va avanzando la edad y el periodo de madurez, mientras que, en las chicas, va aumentando tras la pubertad. Destacamos esta diferencia, ya que contribuye

a una diferencia entre tasas de lesiones de hombres, y de mujeres. Una mayor laxitud, en la musculatura isquiotibial, puede retrasar la activación muscular, generando una menor co-contracción con el cuádriceps en el momento de apoyo del pie, por tanto, una flexibilidad excesiva de la musculatura isquiotibial puede ser un factor contribuyente a un mayor riesgo de lesión (11). Además, las atletas femeninas, en comparación con los masculinos, suelen adoptar ángulos de rodilla y cadera más extendidos durante aterrizajes verticales y horizontales, así como en COD laterales. Esta diferencia angular, se va acentuando a medida que va sucediendo la etapa madurativa puberal, debido a que las chicas post-puberales aterrizan con ángulos de rodilla más extendidos que las pre-puberales. Esta mayor extensión en el aterrizaje se asocia con un aumento de fuerza de cizallamiento anterior de la tibia, por lo que, una mayor extensión en movimientos como aterrizajes, o cambios de dirección, aumenta el riesgo de rotura de LCA. Por el contrario, mayores grados de flexión de rodilla en aterrizajes o COD, reducen la tensión del LCA, y facilita la actuación de los isquiotibiales como sinergistas(10).

El exceso de laxitud femenina, no solo se produce a nivel muscular, sino que también se da a nivel articular. En uno de los movimientos que destacamos la laxitud ligamentosa en las atletas femeninas, es en la translación anterior de la tibia. El LCA, limita la translación anterior de la tibia con respecto al fémur, por lo que es posible que la laxitud ligamentosa femenina, permita un desplazamiento anterior más pronunciado de la tibia antes de que los músculos ejecuten la acción de estabilizar la articulación. Este proceso, se ve intensificado en deportes con cambios bruscos de velocidad, como es el caso del fútbol (11).

Siguiendo con la laxitud ligamentosa, lo destacamos en el pie femenino. Esta laxitud en el pie de las atletas femeninas puede conducir a un descenso del hueso escafoides. Este descenso, colapsa el arco longitudinal del pie, pudiendo contribuir a un aumento de la rotación tibial, y a una mayor translación anterior de la tibia, tensionando el LCA. La caída navicular, es un importante factor postural predictivo de la translación anterior de la tibia, pudiendo estar relacionado este último movimiento mencionado, con la pronación del pie. Esta sobrepronación del pie se ha relacionado con roturas de LCA sin contacto (11).

Los efectos del índice de masa corporal (IMC), y la edad, es otro factor anatómico que destacar. El peso corporal y el IMC son indicadores importantes al tener en cuenta el riesgo de lesión del LCA. En reclutas militares femeninas, mujeres con un peso o un IMC por encima de la desviación estándar de la media, presentaban entre 3,2 y 3,5 veces un mayor riesgo de rotura de LCA, respectivamente (11).

## **Hormonales**

A la hora de hablar sobre los factores de riesgo hormonales, debemos de destacar, que la diferencia entre sexos se produce tras el inicio de la pubertad. Las fluctuaciones cílicas hormonales, durante, y tras el proceso puberal, especialmente en las fases folicular y ovulatoria del ciclo menstrual, pueden afectar a las propiedades mecánicas del LCA. El ciclo menstrual, puede estar asociado a un aumento de laxitud de la rodilla, y, por ende, a lesiones del LCA. La fase ovulatoria del ciclo menstrual se ha relacionado con un aumento de la laxitud de la rodilla, mientras que, la fase preovulatoria, es la fase en la que las mujeres tienen un mayor riesgo de sufrir una lesión de LCA. Sin embargo, a día de hoy, los efectos secundarios de las hormonas femeninas asociados al ciclo menstrual siguen sin estar claros (6).

## **Neuromusculares**

El primer factor neuromuscular que destacamos es la relación agonista-antagonista. La co-contracción de isquiotibiales y cuádriceps protege la rodilla tanto en deslizamientos anteriores excesivos, como de movimientos rotacionales dinámicos del miembro inferior, como es el caso del valgo de rodilla. Si los isquiotibiales se contraen con poca fuerza, o de manera tardía, el cuádriceps se activaría de manera excesiva, aumentando la carga sobre el LCA, a través de la tracción anterior del tendón rotuliano, provocada por esta activación. Este aumento de la carga del LCA, se produce cuando la contracción del cuádriceps se produce entre 15 y 30° de flexión de rodilla, y disminuyendo cuando la contracción se produce a ángulos de 60 - 70° de flexión. Los músculos isquiotibiales, son uno de los que mayor importancia tienen, ya que su objetivo, es actuar como estabilizadores dinámicos de la rodilla, resistiendo la traslación tibial anterior (TTA), y las fuerzas de tracción anterior sobre el ligamento. La contracción de la musculatura isquiotibial incrementa la tracción posterior tibial, elevando la rigidez en la articulación, y generando un cajón posterior, reduciendo el cajón anterior producido por la contracción del cuádriceps, y descargando al LCA de tensión (11,17)

A la hora de activación neuromuscular, existen diferencias de género en los patrones de activación. Las atletas femeninas, en comparación con los masculinos, presentan una mayor activación del cuádriceps durante aterrizajes, y cambios de dirección. Además, también existen patrones de activación muscular caracterizados por una mayor activación de cuádriceps sobre isquiotibiales, en el periodo de pretensión (antes del apoyo del pie en el suelo), en estas mismas acciones. Una mayor activación del cuádriceps está asociada a un mayor aumento de fuerzas de cizallamiento anterior de la tibia, por lo que aumenta así, la

tensión en el LCA. Este factor, es uno de los que podría explicar la diferencia entre hombres y mujeres, en cuanto a incidencia lesional del LCA (10).

Las diferencias entre sexos, en las relaciones de fuerza isquiotibiales-cuádriceps (Ratio H:Q), también es un factor neuromuscular que influye en el riesgo de rotura del LCA. Esta nos indica el equilibrio que se produce entre la contracción del cuádriceps y de los isquiotibiales, empleándose como una de las formas generales para detectar desequilibrios musculares, lo cual es un factor de riesgo de lesión del LCA (18,19).

Una relación de fuerza (ya sea isométrica o isocinética) baja ( $<0,60$ ), entre isquiotibiales y cuádriceps, es decir, que la fuerza del cuádriceps supere la de los isquiotibiales, aumenta el riesgo de TTA excesiva durante actividades dinámicas, como los aterrizajes, o los cambios de dirección, ejerciéndose mayores fuerzas de cizallamiento sobre el LCA, y produciéndose la rotura, en caso de que los isquiotibiales no sean capaces de contrarrestar esas fuerzas de desplazamiento. En mujeres, se han observado relaciones H:Q bajas, es decir, predominancia de cuádriceps sobre los isquiotibiales, en relación a fuerza, además de un incremento de valgo de rodilla, a la hora de frenar en un aterrizaje, con respecto a los hombres. Las diferencias de género en relación con la fuerza máxima de la musculatura de los miembros inferiores, comienza a remarcarse durante la maduración. La fuerza en la musculatura del cuádriceps aumenta más en hombres que en mujeres durante la etapa de maduración. Además, el desarrollo de fuerza en los isquiotibiales, en relación con el cuádriceps, es menos notorio en mujeres, disminuyendo así la ratio H:Q, en mujeres pospuberales. Estos cambios en las propiedades mecánicas musculares incrementan el riesgo de LCA en atletas femeninas (10-12,19)

Otro de los factores neuromusculares que destacamos, es el desequilibrio en los patrones de activación medial-lateral. Las mujeres, presentan una activación desproporcionada del bíceps femoral (porción lateral de la musculatura isquiotibial), en relación con los otros dos músculos, el semitendinoso y el semimembranoso, durante la fase de deceleración tras un salto. Esta activación, es 4 veces mayor en las atletas femeninas, en comparación con los masculinos. A su vez, también existe una menor relación de activación en la musculatura del cuádriceps medial con respecto a la musculatura del cuádriceps lateral. Este desequilibrio, puede contribuir al déficit en el control del valgo dinámico de rodilla, común en lesiones de LCA de deportistas femeninas. Las atletas femeninas, muestran un predominio de activación del vasto lateral, en comparación con el vasto medial, durante un COD lateral, incrementando así, el movimiento de abducción (ABD) de rodilla, factor de riesgo reconocido en la lesión de LCA. Por este motivo, la acción de los isquiotibiales, como sinergistas del ligamento, mediante la

coactivación o preactivación de los isquiotibiales mediales, puede ser esencial para la estabilización y protección de la rodilla en este tipo de movimientos (10,11).

El último factor que destacamos es el hecho de haber sufrido una lesión de LCA previa. Una lesión previa, aumenta significativamente las probabilidades de sufrir otra lesión de LCA. El retorno a niveles de actividad elevados, después de haber sufrido esta lesión, aumenta entre 15 y 25 veces las probabilidades de sufrir una segunda lesión de LCA, ya sea en la misma pierna, o en la contralateral. Las mujeres, a diferencia de los hombres, tienen cuatro veces más probabilidades de sufrir una segunda lesión en la misma pierna, y seis veces más probabilidades de sufrir una lesión de LCA en la pierna contralateral. Los déficits, tanto en el control postural, como en función neuromuscular de la rodilla y la cadera, predicen, en una gran medida, el riesgo de una segunda lesión de LCA al volver a practicar deporte tras una reconstrucción del LCA. Los pacientes con el ligamento reconstruido, autorizados para volver a realizar deporte, muestran frecuentemente patrones que favorecen a la extremidad contralateral, la no lesionada, y este déficit puede durar incluso 2 años tras la operación. La asimetría, de la carga de la extremidad, se ha identificado como un factor de riesgo en la lesión de LCA, por lo que esta carga asimétrica contralateral, puede poner a las atletas en un mayor riesgo de padecer una segunda lesión. Identificar la asimetría, es un factor muy importante para la integración segura de los atletas a sus actividades deportivas (6)

En caso de que la jugadora ya haya sufrido una lesión de LCA anteriormente, la reducción de la propiocepción es otro factor de riesgo neuromuscular, debido a que el LCA posee multitud de terminaciones nerviosas, actuando, así como sensor de elongación y de tensión, por lo que, después de sufrir la lesión, quedan con un mayor déficit propioceptivo (11).

## Tipos de injerto

En la práctica actual, se valoran varias opciones populares de injerto para la reconstrucción del LCA como las de autoinjerto (hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB), tendón de los isquiotibiales (HT), y tendón cuadripucital (QT)) y las de aloinjerto (tendón rotuliano, tendón de los isquiotibiales, tendón de Aquiles, y tendón tibial anterior). De estas opciones ninguna ha obtenido datos concluyentes que demuestren que ofrecen resultados superiores en mujeres, por lo que, a día de hoy, sigue siendo un tema de debate. Cada tipo de injerto tiene sus ventajas y desventajas. La resistencia media del LCA en pacientes jóvenes es de 2160 N ,

con una rigidez media de 242 N/mm. Los injertos BTB son los más utilizados para la reconstrucción del LCA, los cuales producen una resistencia media de 2977 N con una rigidez de 455 N/mm, y proporcionan ventajas como la fijación ósea, propiedades estructurales sólidas, y una alta tasa de éxito en la restauración de la estabilidad de la rodilla. Los injertos de tendón de isquiotibiales producen una resistencia media de 4590 N, con una rigidez de 807 N/mm, y causan menos complicaciones al extraerlo del donante, menos problemas a la hora de la recuperación del mecanismo extensor, y una menor sensación de dolor anterior de rodilla que el injerto BTB. Los injertos del tendón cuadricipital producen una resistencia media de 2353 N y una rigidez de 326 N/mm, y pueden obtenerse con un tapón óseo, o sin él. Estos brindan unos beneficios parecidos a la extracción del autoinjerto BTB, en cuanto a la facilidad de extracción, fijación, y un tamaño y resistencia del injerto fiables. Aunque estos, a diferencia del injerto BTB, carezcan de fijación ósea, se asocian con un menor dolor anterior de rodilla. La extracción de este injerto, es relativamente la más novedosa. En mujeres, no se han realizado estudios a alto nivel que examinen la influencia de este tipo de injerto (20-22).

El autoinjerto BTB, conduce a menos roturas de injerto que el autoinjerto del tendón de isquiotibiales. Las mujeres, a diferencia de los hombres, mostraron una mayor laxitud de rodilla al usar el autoinjerto del tendón de isquiotibiales después de la reconstrucción del LCA, además de una disminución del control rotacional (20,22).

El aloinjerto, tiene la ventaja de presentar menos dolor postquirúrgico que el autoinjerto, sin embargo, existe un riesgo teórico de transmisión de enfermedades, aunque su incidencia extremadamente rara. El uso de estos, ha caido en desuso, debido a las preocupaciones por una mayor tasa de fracaso en una población joven y activa (22)

La elección del tipo de injerto en deportistas suele elegirse en función del deporte que practiquen. Para deportes de contacto y que requieren mucha potencia y velocidad, se opta por el BTB. En deportes como fútbol, rugby, o levantamiento de pesas, comprometer a los isquiotibiales puede afectar a su rendimiento, registrándose una mayor incidencia de contracturas y desgarros en la zona isquiotibial después de haber extraído el injerto. Sin embargo, este se usa en deportes en el que el aparato extensor juega un rol importante, como es el caso del esquí, artes marciales, voleibol o baloncesto. Los aloinjertos se utilizan solo en lesiones multiligamentosas o en deportistas >35 años, debido a que la incorporación y resistencia del injerto requieren el doble del tiempo que los autoinjertos, y eso en el deporte de alto rendimiento es un factor muy a tener en cuenta (20).

Específicamente en el ámbito femenino, las jugadoras de fútbol tienen una tasa de incidencia de incidencia de re-rotura del LCA después de someterse a una reconstrucción del 28%, aumentándose si se vuelve a jugar al fútbol (34%). En cuanto al RTP, las jugadoras tienen una tasa entre el 46 y el 67% tras la reconstrucción (23).

## **Intervención y comparación**

La recuperación es un componente esencial tras el proceso de reconstrucción del LCA. El objetivo fundamental de este proceso, para el deportista, es retomar la actividad deportiva tan pronto como sea posible, con el mismo nivel de rendimiento que este tenía antes de su lesión, además de querer minimizar los riesgos de recaída. Aproximadamente, el 80% de los pacientes que han experimentado una reconstrucción del LCA, retoman la actividad deportiva, sin embargo, solo el 65% alcanza su nivel anterior a la lesión, y el 55%, en nivel de competición. Los resultados tras una reconstrucción del LCA no son perfectos, ya que entre el 35 y el 43% de los deportistas no vuelven a practicar deporte. De los que retoman sus actividades deportivas, el 15% sufre una segunda lesión del LCA, y el 30% de los atletas jóvenes experimenta una nueva lesión en los dos primeros años después de la reconstrucción. Además, en este proceso de recuperación, existen complicaciones tanto a corto plazo, como la rotura del injerto, o lesiones musculares; como a largo plazo, como lesiones meniscales o condrales, artrosis, o la aparición acelerada de osteoartritis de rodilla, entre otras...(24,25)

Para la recuperación de esta lesión, se suele realizar un protocolo de manera habitual, dividido en 5 fases, con sus respectivos tratamientos y objetivos, con la intención de recuperar el nivel funcional de la rodilla que se tenía antes de que ocurriese la lesión. La primera fase tras la operación es la postoperatoria, que tiene una duración de una semana, la cual es justo la primera semana después de la cirugía, y es la fase en la que se controla de manera exhaustiva el dolor, la inflamación, y el control neuromuscular. Después de la primera semana postcirugía, comienza la segunda fase, cuya duración es de 8 semanas (2<sup>a</sup>-9<sup>a</sup> semana), y es la fase donde se inicia la realización del patrón de marcha, se progresiva en cuanto a rango de movimiento tanto pasivo, como activo, y se inicia el entrenamiento de fuerza y de propiocepción, haciendo hincapié en la estabilidad estática. Estas dos fases, son las consideradas fase inicial y media, respectivamente. A partir de la 9<sup>a</sup> semana, se inicia la tercera fase, la cual destaca por la recuperación completa del ROM, el aumento de intensidad en los entrenamientos tanto de

fuerza y resistencia, como los entrenamientos neuromusculares, enfatizando en la estabilidad dinámica. Al llegar a la 16<sup>a</sup> semana, se inicia la última fase recuperatoria, en la que se intensifican los entrenamientos, y se adaptan a gestos, situaciones y movimientos propios del deporte que practique el paciente, además de enfatizar en las características físicas más demandadas en el deporte específico (26).

Se ha sugerido que existe la necesidad de optimizar el proceso después de la reconstrucción del LCA. Un área que está limitada en cuanto a investigación, y puede ser potencialmente beneficiosa para la optimización del proceso de recuperación de la lesión de LCA, es la terapia acuática. Esta consiste en la inclusión de toda la utilización de un ambiente basado en agua, con el fin de cumplir los propósitos terapéuticos durante el proceso de rehabilitación. El medio acuático, puede ser extremadamente beneficioso para la recuperación de los atletas tras una lesión deportiva, si se conocen y aprovechan al máximo las propiedades de este. Comprender los efectos y las propiedades físicas del agua, para posteriormente maximizarlas, puede ser un factor contribuyente a la hora de realizar un programa de recuperación funcional tras el proceso de reconstrucción del LCA (25)

Dada la variedad de limitaciones que se observan en los deportistas después de una reconstrucción de LCA, la terapia acuática cuenta con muchas ventajas que pueden contribuir, tanto a la reducción de ese tiempo de recuperación mencionado anteriormente, como a los resultados de los atletas (25). Kim *et al.* (27) realizaron un estudio con atletas de élite que sufrían una lesión ligamentosa aguda, en el que compararon un programa de rehabilitación funcional en medio acuático, frente a otro, en medio seco. En este estudio, concluyen con la afirmación de que el programa de rehabilitación funcional realizado en medio acuático ofrece una recuperación funcional más rápida, y con menos dolor, en fases iniciales de una lesión ligamentosa, recomendando así la inclusión de ejercicios en medio acuático en etapas tempranas de procesos de recuperación funcional en deportistas. Pipino *et al* (2). Compararon programas de rehabilitación en medio acuático, y medio seco, en pacientes con reconstrucción de LCA, afirmaron que, en el agua, se produjo una mejora significativa en cuanto a rango de movimiento (ROM), dolor, y escalas funcionales. Moritz *et al* (28). Combinaron fisioterapia acuática y fisioterapia convencional, en pacientes con afecciones neurológicas, destacando que la combinación de ambos medios dio como resultado diferencias significativas en cuanto al equilibrio, la marcha, la movilidad global, y las actividades de la vida diaria (AVD).

La terapia acuática, se utiliza de manera regular durante el proceso de recuperación tras la reconstrucción del LCA, sin embargo, hay una falta de investigación publicada que demuestre su aplicabilidad clínica (25).

Los usos y los beneficios más comunes de la terapia acuática suelen darse en las fases inicial y media. El primer beneficio que destacamos al utilizar la terapia acuática en estas fases es la reducción de dolor e inflamación, a la vez que se realiza el restablecimiento de la amplitud del movimiento articular. El uso de la terapia acuática puede ayudar a mejorar tanto la inflamación articular como la amplitud de movimiento tanto pasivo, como activo. Cuando una persona se sumerge en el agua, se somete a presión hidrostática, la cual es directamente proporcional a la densidad del líquido, como por ejemplo la gravedad y la profundidad a la que se somete el cuerpo. Esto significa que esta presión hidrostática a la que se somete el paciente no depende de la forma del cuerpo del individuo, ni de su peso, ni del tamaño o del volumen de la piscina, sino que depende de la profundidad de inmersión. Si un paciente se somete a una profundidad de 1,20m, está sometiéndose a una presión hidrostática de casi 90mmHg, lo cual es ligeramente superior a la presión arterial diastólica normal. Mencionamos este dato ya que, si la presión del agua es superior a la presión arterial diastólica, se producirán desplazamientos de líquido que obligarán al mismo a salir de la articulación, favoreciendo así un retorno venoso y un drenaje linfático correctos. Este factor puede ayudarnos a la hora de resolver el proceso inflamatorio, reducir la hinchazón, y, por ende, aumentar la amplitud de movimiento de la articulación. Es muy importante conseguir un movimiento articular óptimo, ya que la biomecánica de la marcha fisiológica no puede producirse si esto no se da, por lo que es un factor de gran importancia resolver las deficiencias lo antes posible, después de la intervención quirúrgica, con el objetivo de conseguir una restauración de la marcha lo más temprana posible (25).

Cuando un paciente se sumerge en el medio acuático, esto también nos ayuda a desensibilizar la zona afectada, ya que, debido a un umbral de dolor elevado, conseguido por estimulación de terminaciones nerviosas sensoriales, especialmente de la piel, disminuye la percepción dolorosa. Así, esto puede ayudarnos a conseguir una mayor amplitud articular posible que la que podemos conseguir en medio seco, facilitando tanto la amplitud de movimiento activa, como la pasiva (25)

Continuando con el factor de la recuperación de la marcha fisiológica, este será el segundo beneficio que destacamos de la terapia acuática en el proceso inicial de recuperación de reconstrucción del LCA. Después del proceso quirúrgico en el tratamiento convencional, el paciente no suele cargar todo el peso ni caminar sin ayudas externas durante un tiempo, siendo este de unas 2-4 semanas en función de cómo se tolere el dolor, habiendo un mayor

riesgo de aparición de patrones de marcha defectuosos por posibles compensaciones en el movimiento, con el fin de proteger la articulación dañada. Esta aparición de patrones compensatorios, están relacionados con debilidad articular, disminución del rendimiento funcional, sensaciones negativas del paciente con los resultados quirúrgicos, y complicaciones postoperatorias, siendo la más destacada la osteoartritis. El restablecimiento de un correcto patrón de marcha poco después del proceso quirúrgico es un factor clave en el proceso de recuperación funcional (25)

Para ello, aprovecharemos las propiedades del agua, en concreto la densidad y la flotabilidad. Estas pueden favorecer la normalización temprana de una marcha óptima, al reducir los efectos de la gravedad, y permitir la práctica del patrón de marcha con pesos corporales y cargas articulares menores. La densidad, es la relación entre la masa de una sustancia (kg), y el espacio que ocupa ( $m^3$  ). La densidad del agua, es de  $1000\text{kg}/m^3$ , mientras que la densidad media del cuerpo humano, es de  $950\text{kg}/m^3$ , aunque esta es variable en función de un individuo a otro, habiendo también diferencia entre hombres y mujeres, ya que la densidad media de los hombres suele ser mayor a la de las mujeres. La relación entre la densidad del individuo y la del agua, hace que el individuo pueda flotar en el agua, aunque, los deportistas con mayor masa muscular tienen a hundirse. La flotabilidad, segunda propiedad que usaremos en nuestro beneficio para la recuperación funcional tras la lesión del LCA, consiste en el empuje en dirección opuesta a la fuerza de gravedad. A medida que el cuerpo se va sumergiendo en el agua de manera progresiva, se el agua se desplaza creando la fuerza de flotación, descargando así, de manera gradual, las articulaciones sumergidas, por lo que, cuando mayor sea la parte del cuerpo sumergida en el agua, mayor será la descarga del peso corporal. Una persona, por lo general, si se sumerge hasta la síntesis pública, habría descargado el 40% de su peso corporal; cuando se sumerge a la altura del ombligo, un 50%, y cuando se sumerge hasta la xifoides, un 60%, dependiendo también, si los brazos permanecen dentro, o fuera del agua; la inmersión hasta la altura del cuello se asemeja a una descarga del 90% del peso corporal, dejando aproximadamente 7kg de peso. Con lo cual, la marcha durante las primeras fases del periodo de recuperación puede ser beneficioso realizarla en agua, con el objetivo de eliminar una parte del peso corporal para facilitar patrones de la marcha correctos. Además, podemos facilitar diferentes estímulos, jugando con la profundidad del agua, tanto para facilitar o dificultar este patrón, como para la implementación de ejercicios propioceptivos y cognitivos, entre otros... A su vez, al mismo tiempo que trabajamos la adquisición de este patrón, estaríamos favoreciendo el reentrenamiento de la estabilidad y el control dinámico del movimiento, en un entorno seguro (25)

Los principales usos de la terapia acuática y sus beneficios suelen destacar en las fases iniciales de la recuperación. Sin embargo, también podemos obtener beneficios de este medio en fases medias y finales de la recuperación del LCA. Uno de los déficits que presentan los futbolistas profesionales a los seis meses del proceso de recuperación, es la capacidad aeróbica. El agua crea una resistencia mayor que el movimiento que pueda realizarse en medio seco, no solo debido a la densidad del agua, sino también a su viscosidad dinámica. Entendemos esto como la magnitud de la fricción interna específica de un fluido durante el movimiento. Es decir, un individuo que se desplaza sobre el agua se ve sometido a efectos de resistencia del fluido, lo que denominamos fuerza de arrastre. La viscosidad, junto a la densidad y a la flotabilidad, son propiedades del agua que, en este caso, hacen que ejercicios en agua a una considerable profundidad (siempre y cuando las velocidades y las intensidades sean las correctas, y la profundidad adaptada al paciente y a la etapa de recuperación), permitan la realización de ejercicios cardiovasculares (CV), obteniendo resultados similares a los ejercicios CV en tierra. Sin embargo, el beneficio de la terapia acuática con respecto a la terapia convencional en cuanto a las capacidades CV, es que es posible el entrenamiento desde etapas tempranas, debido a la resistencia del agua mencionada anteriormente. La capacidad aeróbica máxima ( $VO_2$  max), realizando entrenamientos en el agua, mejora entre un 12 y un 40% en sujetos en baja forma, y, en atletas entrenados, como es el caso de nuestra población, contribuye al mantenimiento de los parámetros cardiovasculares. Para esta contribución, el entrenar a intensidades similares a las utilizadas en el entrenamiento en medio seco, es un factor fundamental para realizar un entrenamiento óptimo en agua. El entrenamiento de la capacidad aeróbica en medio acuático provoca un aumento en el gasto cardíaco de entre un 30 y un 35%, estando en reposo sumergido en el agua, relacionándose este aumento con un mayor volumen sistólico, provocado por un mayor volumen diastólico. Este volumen sistólico, realizando ejercicios en agua, a intensidad máxima o submáxima, aumenta en comparación con los valores obtenidos en medio seco, por lo que, el mantenimiento y/o desarrollo de la capacidad máxima cardiovascular, es otro de los beneficios que destacamos de la terapia en el agua, con respecto a la terapia convencional (25)

El reentrenamiento específico del movimiento es un factor importante después de sufrir una lesión, para corregir la biomecánica que puede haber estado relacionada con la lesión inicial, haberse producido de manera secundaria debido a cambios asociados al periodo de lesión, o ambas circunstancias. Una biomecánica alterada, o un control postural deficiente, están asociados a un mayor riesgo de recidiva tras volver a la actividad deportiva. Los procesos de recuperación convencionales parecen ser ineficaces a la hora de reentrenar el movimiento antes de la vuelta a la actividad, ya que están relacionados con una calidad, intensidad, o volumen de trabajo insuficientes del reentrenamiento basado en la recuperación del

movimiento, por lo que se requieren programas individualizados y específicos de reentrenamiento, dirigidos a los factores que intervienen en la disfunción del movimiento, siendo estos tanto neuromusculares, como biomecánicos, sensoriomotores, y neurocognitivos. También, debemos destacar que, para este tipo de procesos de recuperación funcional, ejercicios neuromusculares aislados para la ganancia de fuerza, como puede ser el caso de un ejercicio de extensión de rodilla, es insuficiente, ya que, además de la ganancia de fuerza de manera analítica, esta se debe de integrar en programas de reentrenamiento de coordinación, control motor, y patrones motores, creando un equilibrio entre fuerza, control, y coordinación, para la obtención de un movimiento de calidad. Este proceso de reentrenamiento del movimiento se suele dar en los procesos inicial y medio de la recuperación, y, si esto se realiza en los procesos de recuperación convencionales, es más tardío, debido a los problemas del paciente a la hora de cargar, y tolerar la carga de los ejercicios funcionales deportivos. Por eso, el factor de que el agua actúe como contrapeso de la gravedad, nos ayuda a la introducción más temprana del entrenamiento motor, y del entrenamiento simultáneo de la fuerza muscular y el control motriz, durante las fases inicial y media de la recuperación, de lo que podría ser posible en medio seco (En agua, se produce a partir de la semana 5, mientras que, de manera convencional, se introduce sobre la semana 9). Este avance en los tiempos del proceso de recuperación hace que se acelere todo lo que viene después, como la introducción de la carrera, saltos y aterrizajes, y ejercicios pliométricos. Esto nos ofrece la ventaja de poder trabajar de una forma más temprana con fuerzas de impacto y de peso reducidas, lo cual después iremos incrementando, de una forma más segura, y avanzada en cuanto a tiempos, en el proceso de recuperación que continuaremos en el medio seco (25).

La capacidad del sistema neuromuscular para desarrollar fuerza, después de sufrir la lesión de LCA, es muy importante, ya que necesitamos proporcionar estabilidad dinámica a la articulación, además de una propulsión óptima de fuerza. De manera general, al afrontar este proceso, se pone demasiado foco en la fuerza muscular máxima aislada de la musculatura principal que interviene en el mecanismo lesional, pasando más desapercibido la capacidad de desarrollar fuerza a la máxima velocidad posible (25). Este último factor, lo que denominamos como Rate Force Development (RFD). Este es un término que describe la capacidad de desarrollar rápidamente fuerza muscular, y es derivado de la pendiente de la curva fuerza-tiempo, en distintos intervalos de tiempo, para la supervisión de la recuperación de la función muscular, tras la reconstrucción del LCA. En condiciones isométricas, la RFD es un parámetro clave que nos proporciona información sobre el nivel de activación neuromuscular en acciones explosivas, las cuales implican un inicio muy rápido y una velocidad máxima. La capacidad de generar este tipo de fuerza en el deporte es muy

importante, para el rendimiento del deportista, además de para la prevención de lesiones. Factores fisiológicos, dividen la RFD en fase temprana (<100 milisegundos (ms)) y fase tardía (>100ms), relacionando la fase temprana, con mecanismos neuromusculares, y, la fase tardía, con propiedades puramente musculares (29-33).

Hoy en día, la variable RFD está adquiriendo cada vez más relevancia a la hora de consensuar sobre el RTP del deportista. Dado que la lesión de LCA se produce entre los primeros 50ms tras tocar el suelo, como mencionamos anteriormente, la capacidad de producir fuerza dentro de esos 50ms es muy importante para prevenir una futura lesión, ya sea la rotura primaria de LCA en sujetos sanos, como una recidiva en sujetos que ya experimentaron esta lesión (34).

La medición de los 50 primeros ms sería un dato muy relevante en cuanto a prevención y recuperación de lesiones. Sin embargo, su medición no es tan sencilla. Este periodo, es muy variable entre sesiones (16-19% de CoV), indicándose que la fiabilidad de las mediciones de la RFD mejora a medida que aumentaba el tiempo desde el inicio de la fuerza (34).

Por este motivo, nos centraremos en la medición del siguiente espacio de tiempo relevante en las lesiones de LCA, el cual será el de los primeros 100ms. Lisee *et al.* (35) relacionaron en su estudio los valores de la RFD del cuádriceps a los 100 primeros ms, con los ángulos de rodilla tras el aterrizaje de un salto, afirmando que los participantes del estudio con peor RFD<sub>100</sub> aterrizaron con un ángulo de flexión de rodilla más pequeño. Esta información coincide con la plasmada en el estudio de Ueno *et al.* (36) en el que se enuncia que la carga que sufre el LCA debido a la contracción del cuádriceps es diferente de manera estática, que de manera dinámica, produciéndose una disminución de la carga con una mayor tensión del cuádriceps en aterrizajes.

A su vez, este mismo estudio menciona que los isquiotibiales son los que compensan la mayor parte de la carga del LCA, afirmando que una buena activación de estos a los 100 primeros ms desplaza el pico de carga del LCA a inmediatamente después del contacto inicial (0-10ms) haciendo que el pico de carga soportado reduzca significativamente. El % de tensión máxima del LCA con una buena activación de los isquiotibiales a los primeros 100ms fue de un 2,6% (171,4 N), mientras que la no activación de los isquiotibiales en esos 100ms supuso un % de tensión del LCA del 7,2% (478,5 N). Además, esta no activación supuso que el pico máximo de carga que soporta el LCA se diera entre los 50 y 90 ms tras tocar el suelo, es decir, en su ventana lesional (36).

Hoy en día, no hay un consenso sobre los criterios que han de cumplirse en el proceso de recuperación para el retorno de forma segura del deportista a su nivel deportivo previo a la

lesión. Por lo general, uno de los criterios más comunes, a la hora de valorar el RTP, es la fuerza muscular isométrica voluntaria máxima (FIVM). Sin embargo, ésta no refleja la capacidad del músculo de ejercer fuerza en un tiempo específico en movimientos deportivos en los que se requiera rapidez. La FIVM se logra normalmente a los 3-5 segundos de una contracción isométrica máxima voluntaria, utilizándose esta de manera frecuente para evaluar y comprobar la recuperación de la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales tras una reconstrucción del LCA. Sin embargo, uno de los inconvenientes de la evaluación de la FIVM, es que el pico de fuerza se alcanza a los 300-600 ms tras el inicio de la contracción, mientras que, muchos de los movimientos deportivos frecuentes, como saltar, golpear, o esprintar, requieren tiempos de contracción más rápidos, de unos 50-250 ms. Por ello, es conveniente, además de tener en cuenta la fuerza máxima, obtener datos sobre la capacidad de desarrollar fuerza explosiva (29-33).

En muchos protocolos, se considera que, a los 6 meses de haber sufrido la lesión de LCA, es recomendado el regreso deportivo. Sin embargo, Angelozzi *et al.* (31) realizaron un estudio, en el que indicaron que, a los 6 meses, la RFD temprana del cuádriceps mostraba un déficit de un 30% con respecto a los valores de la pierna sana, mientras que la FIVM, se había recuperado un 97% en el mismo tiempo, destacando que se da excesiva importancia a que la fuerza máxima alcance valores prácticamente de normalización en comparación con la pierna sana, mientras que, la RFD no se recuperó hasta los 12 meses, realizando durante las últimas 20 semanas un programa de entrenamiento específico. Al haber diferencias en la RFD, pero no en la FIVM, a los 6 meses tras la lesión, hace que los datos de RFD nos puedan darnos información sobre el estado del sistema neuromuscular, y la protección que este puede dar a la estructura. Además, todo esto, nos indica que la recuperación de valores óptimos de la FIVM no nos garantiza un estado óptimo del deportista para la valoración del RTP, y, también, que la RFD es un factor a tener en cuenta a la hora de considerar el RTP, debido a que, si el deportista no alcanza valores óptimos de fuerza explosiva y de actividad muscular, no podrá proteger la estructura de manera adecuada, exponiéndose a una re-lesión.

La capacidad del paciente de generar una potencia máxima durante los movimientos complejos de la actividad deportiva es un factor fundamental, tanto para la prevención de una recidiva, como para la obtención del óptimo rendimiento deportivo. La potencia, es conocida como el ritmo de trabajo, y se halla mediante la multiplicación de la fuerza ejercida durante una acción, y la velocidad a la que se realiza dicha acción, por lo que, los dos componentes esenciales para la obtención de una potencia óptima en el proceso de recuperación de rotura de LCA, son los altos niveles de fuerza, y las altas velocidades de contracción. Por tanto, la

fuerza máxima (Fmax), y la RFD, son elementos muy importantes en la recuperación neuromuscular de deportistas, que deben de restablecerse tras un proceso lesional.

La FIVM (Fuerza isométrica voluntaria máxima), es una de las técnicas de evaluación más utilizadas en los procesos de recuperación de LCA en deportistas, debido a la relación que existe entre la debilidad del cuádriceps y el riesgo de una segunda lesión de LCA. La lesión y el proceso quirúrgico al que se ven sometidos los deportistas, provocan grandes déficits en la fuerza muscular máxima, por lo que, tras el proceso de reconstrucción de LCA, es una prioridad clave, tanto la recuperación de fuerza de los extensores de rodilla (cuádriceps), como de los flexores (isquiotibiales). Déficits de fuerza en el cuádriceps, se asocian con menor funcionalidad de rodilla, alteraciones en la marcha, menor estabilidad dinámica, dificultades en actividades que conlleven impactos, mayor riesgo de padecer artrosis de rodilla, y peores índices de RTP. Tras 4-6 semanas de la cirugía, se suele apreciar una pérdida del 40-60% de la FIVM, por lo que trabajar este aspecto es clave, ya que se estima que, al final de la etapa media, la fuerza del cuádriceps debería de estar en torno a un 20% de diferencia con respecto a la pierna contralateral, con el fin de tener una base muscular óptima para iniciar la fase final del proceso de recuperación. Un importante porcentaje de deportistas no logra recuperar la fuerza del cuádriceps de manera satisfactoria, presentando más de la mitad un déficit mayor al 10% con respecto a la pierna contralateral, en el RTP (35,37,38). Herrington *et al* (39). Realizaron un estudio en el que realizaron pruebas de FIVM, a jugadores profesionales de fútbol, todos ellos autorizados para el RTP, en las que más del 80% de estos mostró una diferencia de más del 10% con respecto a su pierna contralateral. Esto nos indica que, para un buen proceso de recuperación, trabajar la fuerza máxima en los extensores de rodilla es un factor fundamental.

Lo mismo pasa con la musculatura isquiotibial. A las 4 semanas tras la cirugía, se producen déficits de fuerza del 40-50%, manteniéndose déficits de hasta el 20% a la hora del RTP. La recuperación de la fuerza en los isquiotibiales es más complicada si se usan injertos de isquiotibiales a la hora de la reconstrucción del LCA, ya que el paciente puede perder entre un 10 y un 28% de volumen muscular, llegando a considerarse hasta una lesión grave de los isquiotibiales, sumado al proceso de recuperación del LCA (37,38).

Los ejercicios pliométricos de miembros inferiores (MMII), suelen ser los utilizados por los deportistas para desarrollar fuerza explosiva, fuerza máxima, y resistencia. Estos, se basan en una contracción muscular excéntrica, seguido rápidamente de una contracción concéntrica del mismo músculo, o músculos. El entrenamiento pliométrico, en métodos convencionales, se suele introducir cuando se ha alcanzado una fase tardía (semana 12), más enfocada a la adaptación para la vuelta a la actividad deportiva del paciente, una vez que se ha recuperado

la capacidad funcional necesaria para tolerar las fuerzas que estos ejercicios precisan. Sin embargo, en el agua, la flotabilidad controla el aterrizaje del cuerpo, lo que genera mayores fuerzas ascendentes (concéntricas) y menores fuerzas descendentes (excéntricas), habiendo una reducción del 45-60% de fuerzas de reacción máximas del suelo, frente a los realizados en medio seco. Se recomienda la realización de ejercicios pliométricos con el nivel del agua a la altura de la cintura, ya que un nivel superior puede afectar a la dificultad en el control y coordinación de los movimientos. Este beneficio, nos ofrece una alternativa a la pliometría convencional, pudiendo introducirse de una manera más precoz (semana 8) en el proceso de recuperación, siendo también un factor con un menor riesgo de lesión, tanto articular, como muscular. A su vez, nos sirve como introducción al trabajo pliométrico que se realizará más adelante en medio seco (25). Martel *et al.* (40) realizaron un estudio, con jugadoras de voleibol, en el que compararon un programa de ejercicios pliométricos en medio acuático, y en medio seco, para ver si existían cambios en el salto vertical. Tras la realización de este, concluyeron en que la mejora del salto vertical fue significativamente mayor en las jugadoras que realizaron ejercicios en medio acuático, que las que los realizaron en medio seco, afirmando así que el ejercicio pliométrico en el agua es positivo.

El último beneficio que destacamos sobre la terapia en el agua como factor ayudante en nuestro proceso de recuperación del LCA, es los resultados positivos en la recuperación, y la gestión óptima de cargas. En una investigación sobre los beneficios de correr en agua, se llegó a la conclusión de que este medio evita la reducción de la fuerza a medida que el entrenamiento va progresando, además de reducir la sensación dolorosa. A su vez, este medio nos permite realizar una carga progresiva adecuada, para recuperar la funcionalidad sin sobrecargar las estructuras. Por estos factores, podemos utilizar el medio acuático como complemento en días de recuperación en fases enfocadas a la vuelta de la actividad deportiva del paciente, en fases anteriores donde el paciente tenga sensaciones de sobrecarga o molestia (25).

## 2. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA

Se han utilizado los siguientes términos para la realización de la estrategia de búsqueda, y su posterior realización del trabajo. Se han utilizado descriptores de ciencias de la salud MeSH y DeCS, con el objetivo de precisar la búsqueda de información lo máximo posible, utilizándose así términos libres para aquellos términos que carecían de un descriptor específico asignado.

TÉRMINO EN ESPAÑOL	TÉRMINO EN INGLÉS	TÉRMINO MeSH	TÉRMINO DeCS	TÉRMINO LIBRE
Ligamento cruzado anterior	Anterior cruciate ligament	ACL / Anterior Cruciate Ligament Injuries	ACL / Anterior Cruciate Ligament Injuries	Anterior cruciate ligament
Fútbol	Soccer	Soccer	Soccer	Soccer
Mujeres	Women	Women	Women	Women
Terapia acuática	Aquatic therapy	Aquatic therapy	Aquatic therapy	Aquatic therapy
Fisioterapia	Physical therapy	Physical therapy specialty / modalities	Physical therapy specialty / modalities	Physiotherapy
Ratio H:Q	H:Q Ratio	/	/	H:Q Ratio
Fuerza isométrica	Isometric strength	Isometric contraction	/	Isometric strength
Tasa de desarrollo de fuerza	Rate of Force Development	/	/	Rate of Force Development
Epidemiología	Epidemiology	Epidemiology	Epidemiology	Epidemiology
Factores de riesgo	Risk factors	Risk factors	Risk factors	Risk factors

Tabla 3. Términos MeSH, términos DeCS y términos libres utilizados para la estrategia de búsqueda. Fuente: Elaboración propia

## Búsquedas con EBSCO

Se utilizan las siguientes bases de datos para la realización de la estrategia de búsqueda:

Academic Search Complete / E-Journals / CINAHL Complete / Medline Complete

La búsqueda se realiza en el día 31/10/24

Búsqueda	Estrategia	Artículos encontrados
1	ACL	78.867
2	Soccer	90.332
3	Women	5.075.202
4	Epidemiology	4.094.163
5	Risk Factors	3.408.624
6	Aquatic Therapy	5.368
7	Physiotherapy	229.350
8	Rate of Force Development	5.050
9	Isometric Contraction	41.302
10	H:Q Ratio	727

Tabla 4. Búsqueda en la base de datos EBSCO. Fuente: Elaboración propia

Al haber un elevado número de artículos, se procede a realizar una búsqueda más específica, realizando estrategias de términos en conjunto, y utilizando booleanos y limitadores de búsqueda, indicados en la siguiente tabla.

Búsqueda	Estrategia	Artículos encontrados
11	<b>1 AND 2 AND 3 AND 4</b>  Limitador: >2019  Limitador: Edad +18 años	<b>18 artículos</b>
12	<b>1 AND 2 AND 3 AND 5</b>  Limitador: >2019  Limitador: Edad +18 años	<b>25 artículos</b>
13	<b>1 AND 6</b>  Limitador: >2019  Limitador: Edad +18 años	<b>3 artículos</b>
14	<b>1 AND 6 AND 7</b>  Limitador: >2019  Limitador: Edad +18 años	<b>4 artículos</b>
15	<b>1 AND 8</b>  Limitador: >2019  Limitador: Edad +18 años	<b>11 artículos</b>

16	<b>6 AND 8</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>12 artículos</b>
17	<b>6 AND 9</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>3 artículos</b>
18	<b>1 AND 10</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>3 artículos</b>
19	<b>1 AND 2 AND 3 AND 7</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>3 artículos</b>

Tabla 5. Estrategia de búsqueda realizada en la base de datos EBSCO. Fuente: Elaboración propia

## Búsquedas con PubMed

Realizamos el mismo proceso, que con la base de datos EBSCO, con el fin de complementar nuestra búsqueda, y ampliar, mediante artículos, nuestra información sobre el proyecto.

Búsqueda	Estrategia	Artículos encontrados
1	<b>ACL</b>	<b>40.757</b>
2	<b>Soccer</b>	<b>17.308</b>
3	<b>Women</b>	<b>1.808.306</b>
4	<b>Epidemiology</b>	<b>3.306.902</b>
5	<b>Risk Factors</b>	<b>1.765.171</b>

6	<b>Aquatic Therapy</b>	<b>2.878</b>
7	<b>Physiotherapy</b>	<b>251.858</b>
8	<b>Rate of force development</b>	<b>14.976</b>
9	<b>Isometric Contraction</b>	<b>29.635</b>
10	<b>H:Q Ratio</b>	<b>388</b>

Tabla 6. Búsqueda en la base de datos PubMed. Fuente: Elaboración propia

Al igual que con la anterior base de datos, con el fin de especificar al máximo posible la búsqueda de la información que deseamos, precisamos nuestra búsqueda mediante booleanos, y limitadores.

Búsqueda	Estrategia	Artículos encontrados
11	<b>1 AND 2 AND 3 AND 4</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>12 artículos</b>
12	<b>1 AND 2 AND 3 AND 5</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>9 artículos</b>
13	<b>1 AND 6</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>3 artículos</b>
14	<b>1 AND 6 AND 7</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>2 artículos</b>

15	<b>1 AND 8</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>16 artículo</b>
16	<b>6 AND 8</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>1 artículo</b>
17	<b>6 AND 9</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>2 artículos</b>
18	<b>1 AND 2 AND 3 AND 7</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>4 artículos</b>
19	<b>1 AND 7</b>  <b>Limitador: Revisión sistemática</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>15 artículos</b>
20	<b>1 AND 10</b>  <b>Limitador: &gt;2019</b>  <b>Limitador: Edad +18 años</b>	<b>5 artículos</b>

Tabla 7. Estrategia de búsqueda en la base de datos PubMed. Fuente: Elaboración propia.

## Flujograma



Gráfico 1. Diagrama de flujo. Fuente: Elaboración propia

### **3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **Objetivo general**

- Evaluar la eficacia del tratamiento de terapia acuática junto al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento de terapia convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA

#### **Objetivos específicos**

- Observar los cambios que produce la inclusión del tratamiento de terapia acuática al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA, en relación con la RFD de isquiotibiales a los 100 milisegundos.
- Observar los cambios que produce la inclusión del tratamiento de terapia acuática al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA, en relación con la RFD de cuádriceps a los 100 milisegundos.
- Observar los cambios que produce la inclusión del tratamiento de terapia acuática al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA, en relación con la fuerza isométrica voluntaria máxima (FIVM) de los isquiotibiales.
- Observar los cambios que produce la inclusión del tratamiento de terapia acuática al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA, en relación con la fuerza isométrica máxima voluntaria (FIVM) del cuádriceps
- Observar los cambios que produce la inclusión del tratamiento de terapia acuática al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA, en relación con la ratio de fuerza isométrica voluntaria máxima H/Q.

## 4. HIPÓTESIS

### Hipótesis conceptual

- La inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional es más eficaz que el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA.

## 5. METODOLOGÍA

### Diseño

Se realizará un estudio analítico experimental, el cual estará compuesto por dos grupos. Estos, estarán compuestos por sujetos, los cuales serán seleccionados de manera aleatoria, y se asignarán en uno de los dos grupos, siendo el grupo 1 el grupo control, y el grupo 2, el grupo experimental. La diferencia entre estos es que el grupo 1 (control), se someterá al tratamiento convencional de fisioterapia, mientras que, el grupo 2 (experimental), combinará el tratamiento convencional, con terapia acuática, en el proceso de recuperación del LCA.

Elegimos este diseño, debido a la intención de realizar una comparación entre nuestra intervención, la cual consiste en la combinación de terapia acuática y terapia convencional; y nuestra comparación, que es la utilización únicamente de terapia convencional, en jugadoras de fútbol que han sufrido una rotura del LCA. Se realizarán dos mediciones de las variables dependientes, una antes del comienzo de la intervención (pre-tratamiento), y otra tras finalizarlo (post-tratamiento), con el fin de valorar los cambios que nuestra intervención genera en las variables a estudiar, por lo que hablamos de un estudio longitudinal prospectivo. En cuanto a la recogida y análisis de los datos, realizaremos un simple ciego, en el que el analista no conocerá a qué grupo pertenece cada sujeto, con el objetivo de evitar posibles sesgos durante nuestro estudio. Al paciente es imposible cegarle, ya que, en el documento de información del estudio, se informará sobre los distintos grupos, junto a los respectivos tratamientos que van a recibir.

Antes de iniciar este estudio, es necesaria la aprobación del Comité Ético de investigación Clínica de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan De Dios” de la Universidad Pontificia Comillas, por lo que se debemos solicitar a este Comité dicha aprobación (Anexo I).

A su vez, solicitaremos la aprobación al Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario Puerta de Hierro, solicitando que se permita realizar parte del estudio en sus instalaciones, requiriendo para ello la piscina terapéutica para parte del tratamiento del grupo experimental (Anexo II).

En este estudio, se respetarán, en todo momento, las normas y principios éticos para las investigaciones médicas, de la declaración de Helsinki de 1964, aprobada por la Asamblea Médica Mundial.

Los sujetos, antes de confirmar, o no, su participación en el estudio, serán informados mediante un documento que contiene datos relevantes sobre el diseño del estudio, como los grupos y la diferencia entre estos, la duración del estudio, los objetivos y beneficios previstos, la forma en la que se desarrollará el estudio, y los posibles riesgos que puedan surgir en este proceso (Anexo III). A su vez, estos serán informados, tanto de la libertad que presenta a la hora de participar, o no, en el estudio; como de la libertad a la hora de retirar su voluntad en la participación de este, y abandonarlo, en cualquier momento (Anexo IV). Por lo tanto, los sujetos deberán firmar un documento de consentimiento informado, en el que confirman su aprobación para la participación en el estudio, de manera voluntaria (Anexo V). Estos, además, rellenarán un documento en el que facilitarán sus datos personales (Anexo VI), el cual será guardado únicamente por el investigador principal, ya que, para garantizar el respeto a la intimidad de los pacientes, y el cumplimiento del derecho de confidencialidad de los datos que estos nos proporcionen, cumpliendo así con la Ley Orgánica 3/2018 del 5 de diciembre de Protección de los Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales, se proporcionará a cada sujeto que participe en el estudio, un código identificativo, que se encontrará en la base de datos del estudio, la cual solo podrá ser manipulada por el investigador principal del estudio.

## Sujetos de Estudio

Los sujetos que van a formar parte de este estudio serán futbolistas que hayan sido diagnosticados de rotura de LCA. Habrá una serie de criterios de inclusión y exclusión, con el objetivo de conseguir una muestra lo más homogénea posible. Todos los sujetos que cumplan las características necesarias para la inclusión en el estudio deberán firmar un consentimiento informado, comprometiéndose así, de manera voluntaria, a la participación en el mismo.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Sexo femenino	Haber recibido tratamiento previo fisioterapéutico
Diagnosticadas de rotura de LCA por un médico	Antecedentes de lesión o patología de LCA en la rodilla afectada, o en la contralateral.
Mayores de edad	Presencia de enfermedades o medicación que pueda influir en los valores de fuerza muscular
Comprensión del castellano, o, en su defecto, el inglés	Trastornos cognitivos que impidan una participación activa y comprensiva en el estudio.
Adscritas a la Federación De Fútbol de Madrid, estando en activo antes de sufrir la lesión.	Aversión al medio acuático
LCA reconstruido con autoinjerto Hueso-tendón rotuliano-hueso	Seguir con los entrenamientos en su equipo de fútbol

Tabla 8. Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Elaboración propia

Para calcular el número de sujetos necesarios para llevar a cabo nuestro estudio, se empleará la fórmula de comparación de medias, la cual es:

$$n = \frac{2k \times SD^2}{d^2}$$

En esta fórmula:

n = tamaño de la muestra.

k = constante, la cual se calcula a través del nivel de significación ( $\alpha$ ) y el poder estadístico ( $1-\beta$ ).

SD = desviación típica.

d = precisión.

De manera general, se asume un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ . Esto, significa que hay una posibilidad del 5% de cometer el error tipo I, consistiendo este en rechazar la hipótesis nula, cuando esta es cierta. A su vez, se establece un poder estadístico del 80% ( $1-\beta = 0,80$ ).

El valor de K se estima a través de la siguiente tabla:

Poder estadístico (1- $\beta$ )	Nivel de significación ( $\alpha$ )		
	5%	1%	0,10%
80%	7,8	11,7	17,1
90%	10,5	14,9	20,9
95%	13	17,8	24,3
99%	18,4	24,1	31,6

Tabla 9. Nivel de significación y poder estadístico. Fuente: Elaboración propia

Al asumirse un nivel de significación ( $\alpha$ ) del 5%, y un poder estadístico (1- $\beta$ ) del 80%, obtenemos el valor de k, siendo este 7,8.

A continuación, procedemos a realizar el cálculo del tamaño de la muestra, para cada variable del estudio.

Al ser todas nuestras variables medidas con dinamometría, utilizaremos el concepto de coeficiente de variación (CoV) para el cálculo de la precisión (d), lo cual es el 10% de la media de la variable que vamos a estudiar (41).

Para las variables FIVM del cuádriceps y FIVM de los isquiotibiales, nos basaremos en el estudio de Harput *et al.* (42) para determinar la desviación típica (SD), y la precisión (d) de las mismas.

- Para la variable FIVM del cuádriceps,  $SD = 0,71 \text{ Nm/kg}$ ;  $d = 0,28 \text{ Nm/kg}$ . Por ello:

$$n = \frac{2(7,8) \times 0,71^2}{0,28^2} = 100,31. \text{ El tamaño de la muestra para esta variable será de 100 sujetos.}$$

- Para la variable FIVM de los isquiotibiales,  $SD = 0,36 \text{ Nm/kg}$ ;  $d = 0,18 \text{ Nm/kg}$ . Por ello:

$$n = \frac{2(7,8) \times 0,36^2}{0,18^2} = 62,4. \text{ El tamaño de la muestra para esta variable será de 63 sujetos.}$$

Para la variable Ratio H:Q, nos basaremos en el estudio de Welling *et al.* (43) para determinar la desviación típica (SD), y la precisión (d) de la misma.

- SD = 0,11; d = 0,04. Por ello:

$$n = \frac{2(7,8) \times 0,11^2}{0,04^2} = 117,97. \text{ El tamaño de la muestra para esta variable será de 118 sujetos.}$$

Para las variables RFD<sub>100</sub> del cuádriceps y RFD<sub>100</sub> de los isquiotibiales, nos basaremos en el estudio de Jordan *et al.* (44) para determinar la desviación típica (SD), y la precisión (d) de las mismas.

- Para la variable RFD<sub>100</sub> del cuádriceps, SD = 5,08 Nm/s/kg; d = 1,82 Nm/s/kg. Por ello:

$$n = \frac{2(7,8) \times 5,08^2}{1,82^2} = 121,54. \text{ El tamaño de la muestra para esta variable será de 122 sujetos.}$$

- Para la variable RFD<sub>100</sub> de los isquiotibiales, SD = 2,19 Nm/s/kg; d = 0,96 Nm/s/kg. Por ello:

$$n = \frac{2(7,8) \times 2,19^2}{0,96^2} = 81,18. \text{ El tamaño de la muestra para esta variable será de 81 sujetos.}$$

La variable con mayor tamaño muestral es RFD<sub>100</sub> del cuádriceps (n=122). Por ello, consideramos este valor como referencia a la hora de determinar la muestra del estudio. Cada grupo del estudio estará formado por 122 sujetos, siendo el total de la muestra 244 (dos grupos de 122 sujetos cada uno). Además, es necesario añadir un 10% extra de sujetos, debido a posibles pérdidas por abandonos del estudio, o complicaciones que pueda haber durante el mismo.

- $n = 122 + 10\% = 134$  sujetos por grupo

Finalmente, el total de los sujetos con los que se realizará el estudio, serán 268, divididos en dos grupos de 134 sujetos.

Para la selección de los participantes del estudio, utilizaremos un método no probabilístico por bola de nieve. El investigador principal, se desplazará de forma presencial a la sede de la Real Federación de Fútbol de Madrid, con el objetivo de reunirse con los médicos de esta, y explicar

el estudio que se tiene intención de realizar. Estos, derivarán al investigador principal a aquellos sujetos que estén diagnosticados de rotura de LCA, y quieran participar en el estudio.

Una vez se hayan derivado todos los sujetos al investigador principal, se realizará un muestreo analítico simple, en el que, mediante un programa generador de números, se asignará el número 1, o el número 2, a cada sujeto, significando esto que al sujeto que le toque el número 1, irá al grupo control, mientras que al que le toque el grupo 2, irá al grupo experimental. Así, completaremos los dos grupos.

## Variables

Las variables que tendremos en cuenta en nuestro estudio serán las siguientes:

VARIABLE	TIPO	MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
FIVM del cuádriceps	Dependiente Cuantitativa continua	Dinamómetro	Newton x metro (Nm)
FIVM de los isquiotibiales	Dependiente Cuantitativa continua	Dinamómetro	Newton x metro (Nm)
Ratio H: Q	Dependiente Cuantitativa continua	Dinamómetro	Adimensional
RFD del cuádriceps a los 100ms	Dependiente Cuantitativa continua	Dinamómetro	Newton-metro (Nm) / segundo (s)
RFD de los isquiotibiales a los 100ms	Dependiente Cuantitativa continua	Dinamómetro	Newton-metro (Nm) / segundo (s)
Momento de medición	Independiente Cualitativa nominal dicotómica		0= Pre 1= Post
Tipo de intervención	Independiente Cualitativa nominal dicotómica		0 = Grupo control 1 = Grupo experimental

Tabla 10. Variables del estudio. Fuente: Elaboración propia

Las variables FIVM del cuádriceps, y FIVM de los isquiotibiales, se medirán con el dinamómetro PRIMUS RS de BTE Technologies. Se realizarán 3 contracciones máximas de 5 segundos cada una, con dos minutos de descanso entre contracciones. Antes de la medición, haremos un calentamiento en el que se realizarán 3 contracciones submáximas de 5 segundos cada una (42). La unidad de medida en la que obtendremos los resultados de estas variables será la de Newton x metro (Nxm) (45).

La variable Ratio H: Q, se hallará de la resultante entre la operación  $\frac{FIVM \text{ Isquiotibiales}}{FIVM \text{ cuádriceps}}$ . La unidad de medida en la que obtendremos los resultados será adimensional, ya que, al dividir dos valores con la misma unidad de medida, estas se anulan entre sí (46).

Las variables RFD<sub>100</sub> del cuádriceps, y RFD<sub>100</sub> de los isquiotibiales, al igual que las variables FIVM del cuádriceps y FIVM de los isquiotibiales, se medirán con el dinamómetro PRIMUS RS de BTE Technologies. Se seguirá el mismo protocolo que para las variables de FIVM. La unidad de medida en la que obtendremos los resultados de estas variables será la de Newton x metro / segundos (Nm/s) (46).

La variable independiente tipo de intervención se realizará de forma aleatoria, según lo explicado anteriormente.

La variable independiente momento de medición estará compuesta por dos valores: el valor pre-tratamiento, el cuál será obtenido a la 12<sup>a</sup> semana tras la operación; y el valor post-tratamiento, el cual será obtenido a la 20<sup>a</sup> semana tras la operación. Entre última sesión y medición, pasarán 72h, con el objetivo de que la fatiga no sea un sesgo en nuestros datos obtenidos tras las mediciones. Entre la primera medición, y la primera sesión, pasarán 48h.

## Hipótesis operativa

### FIVM DEL CUÁDRICEPS

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias estadísticamente significativas en la FIVM del cuádriceps, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias estadísticamente significativas en la FIVM del cuádriceps, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.

### FIVM DE LOS ISQUIOTIBIALES

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias estadísticamente significativas en la FIVM de los isquiotibiales, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias estadísticamente significativas en la FIVM de los isquiotibiales, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.

### RATIO H:Q

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias estadísticamente significativas en la Ratio H:Q, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias estadísticamente significativas en la Ratio H:Q, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.

### RFD DEL CUÁDRICEPS

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias estadísticamente significativas en la RFD del cuádriceps a los 100 milisegundos, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias estadísticamente significativas en la RFD del cuádriceps a los 100 milisegundos, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.

#### RFD DE LOS ISQUIOTIBIALES

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias estadísticamente significativas en la RFD de los isquiotibiales a los 100 milisegundos, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias estadísticamente significativas en la RFD de los isquiotibiales a los 100 milisegundos, medida con el dinamómetro, entre la inclusión de la terapia acuática al tratamiento convencional, y el tratamiento convencional, en jugadoras de fútbol con rotura de LCA.

## **Recogida, análisis de datos, y contraste de la hipótesis**

Para la recogida de los datos, el investigador principal solicitará una cita con los médicos de la RFFM (Real Federación de Fútbol de Madrid), con el objetivo de explicar el proyecto. Despues, estos derivarán a aquellos sujetos que estén diagnosticados de rotura de LCA, y que tengan intención de participar en el estudio, a la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios. En la escuela, el investigador principal se reunirá personalmente con cada sujeto, con el objetivo de comprobar que se cumplan todos los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente. Aquellos que cumplan los requisitos, procederán a leer y firmar el documento del consentimiento informado, donde expresan su voluntad de participar; y el documento de sus datos personales.

Los sujetos que, por el motivo que fuese, decidiesen abandonar el estudio antes de que este finalizase, serán recogidos como pérdidas, dentro de los resultados.

Se realizarán las mediciones en las fechas indicadas, y se trasladarán todos los resultados al documento de datos del estudio (Anexo VII).

Una vez recogidos todos los datos, los plasmaremos en el programa SPSS Stadistics ®, en el cual realizaremos un análisis estadístico.

Se realizará un análisis por intención de tratar (AIT). Esto consiste en el análisis de los resultados de todos los sujetos asignados aleatoriamente, independientemente de que hayan cumplido, o no, el tratamiento establecido; manteniendo así la asignación aleatoria de los sujetos, además de las ventajas adquiridas debido a la aleatorización, y la minimización de los problemas que puedan surgir debido a las pérdidas de sujetos durante la realización de los tratamientos. Se escoge este tipo de análisis, ya que se asemeja a la realidad en la práctica clínica, debido a que existen muchos pacientes que no cumplen de manera analítica el tratamiento establecido.

Continuando con el análisis estadístico, este se dividirá en dos partes: análisis descriptivo, y análisis inferencial.

Comenzando por el análisis descriptivo, en este se realizará una valoración de los datos relacionados con las variables del estudio, con el objetivo de establecer las características de la población, y la distribución de esta. Se valorarán datos, tanto de las medidas de tendencia

central (media, mediana y moda), como de las medidas de dispersión (rango, desviación típica y varianza).

Acto seguido, se realizará el análisis inferencial. Realizaremos contraste de hipótesis, tanto de muestras relacionadas, como de muestras independientes. Lo primero que realizaremos, será un contraste de hipótesis de muestras relacionadas, con el objetivo de observar los datos pre, y post, de cada grupo de nuestro estudio, mediante las pruebas correspondientes. Para ello, realizaremos lo siguiente:

- Para comprobar si la muestra se distribuye de manera normal o no, realizaremos la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, en la que tendremos dos supuestos:

$H_0$  = La muestra se distribuye de manera normal.

$H_1$  = La muestra no se distribuye de manera normal.

- Si  $p > 0,05$ , se aceptará la  $H_0$ , asumiendo que la muestra se distribuye de manera normal
- Si  $p < 0,05$ , se rechazará la  $H_0$ , aceptando la  $H_1$ , asumiendo que la muestra no se distribuye de manera normal

En caso de que la muestra se distribuyera de manera normal, realizaríamos el test paramétrico t-Student de muestras relacionadas. En caso contrario, aplicaríamos el test no paramétrico Wilcoxon. En ambos casos:

$H_0$  = No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias pre y post tratamiento.

$H_1$  = Existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias pre y post tratamiento.

- Si  $p > 0,05$ , se aceptará la  $H_0$ , asumiendo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias pre y post tratamiento.
- Si  $p < 0,05$ , se rechazará la  $H_0$ , aceptando la  $H_1$ , asumiendo que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias pre y post tratamiento.

En caso de que se asumiera la  $H_1$ , asumiendo que existen diferencias estadísticamente significativas en nuestras variables dependientes entre el momento pre-tratamiento, y el post-tratamiento, procederemos a crear en el programa, dos nuevas variables, denominadas

“diferencia grupo 1” y “diferencia grupo 2”. Estas variables, serán el resultado de la resta entre la medición post- y pre-tratamiento de cada uno de los grupos. Una vez creadas estas variables, procederemos a realizar un contraste de hipótesis de muestras independientes, con el objetivo de observar si existen o no, diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos planteados.

- Para comprobar si la muestra se distribuye de manera normal o no, realizaremos la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, en la que tendremos dos supuestos:

$H_0$  = La muestra se distribuye de manera normal.

$H_1$  = La muestra no se distribuye de manera normal.

- Si  $p > 0,05$ , se aceptará la  $H_0$ , asumiendo que la muestra se distribuye de manera normal
- Si  $p < 0,05$ , se rechazará la  $H_0$ , aceptando la  $H_1$ , asumiendo que la muestra no se distribuye de manera normal

- Si la muestra se distribuye de manera normal, para comprobar la homogeneidad de las varianzas, realizaremos el Test de Levene.

$H_0$  = La muestra presenta homogeneidad.

$H_1$  = La muestra no presenta homogeneidad.

- Si  $p > 0,05$ , se aceptará la  $H_0$ , asumiendo que la muestra presenta homogeneidad
- Si  $p < 0,05$ , se rechazará la  $H_0$ , aceptando la  $H_1$ , asumiendo que la muestra no presenta homogeneidad

En cambio, si la muestra no se distribuye de manera normal, se realizará la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, en la que:

$H_0$  = No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

$H_1$  = Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

- Si  $p > 0,05$ , se aceptará la  $H_0$ , asumiendo que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

- Si  $p < 0,05$ , se rechazará la  $H_0$ , aceptando la  $H_1$ , asumiendo que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Si la muestra presenta homogeneidad ( $p > 0,05$ ), se realizará la prueba paramétrica t-Student para muestras independientes. Si por el contrario, la muestra presenta heterogeneidad ( $p < 0,05$ ), se realizará la prueba T para varianzas desiguales. En ambos casos:

$H_0$  = No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

$H_1$  = Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

- Si  $p > 0,05$ , se aceptará la  $H_0$ , asumiendo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.
- Si  $p < 0,05$ , se rechazará la  $H_0$ , aceptando la  $H_1$ , asumiendo que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

## **Limitaciones del estudio**

- Tiempo limitado de realización del proyecto de investigación, por las ajustadas fechas de entrega. Esto, ha conllevado a un elevado número de búsquedas dirigidas, y a la decisión de no incluir más variables independientes, como el tipo de injerto, o la pierna dominante.
- El número de sujetos es elevado, por lo que es difícil encontrar tantos sujetos que cumplan todos los criterios establecidos, y que tengan la voluntad de participar en el estudio.
- Inexperiencia del investigador principal
- Falta de recursos económicos para disponer de un dinamómetro, o de una piscina, tales como las que usamos en este estudio.
- La desviación típica y la precisión utilizadas para el cálculo muestral, no coinciden de manera exacta con la intervención que queremos realizar, aunque sí con las variables del estudio

## **Equipo investigador**

El equipo investigador que se encargará de llevar a cabo este estudio estará compuesto por:

### Investigador principal

Diego Montero Vázquez, graduado en Fisioterapia en la Universidad Pontificia Comillas (Promoción 2021-2025)

### Fisioterapeutas

4 fisioterapeutas expertos: Graduados en Fisioterapia con Máster en Biomecánica y Fisioterapia Deportiva. A cada grupo se le asignará un fisioterapeuta.

### Médicos

Los médicos de la RFFM participarán en el estudio.

### Evaluador-analista

Graduado en Fisioterapia con Máster en Metodología de la Investigación en Ciencias de la Salud, y Máster en Bioinformática.

## 6. PLAN DE TRABAJO

### Diseño de la intervención

Una vez realizado y explicado el diseño del estudio, necesitamos enviar la solicitud al Comité Ético de investigación Clínica de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia “San Juan De Dios” de la Universidad Pontificia Comillas (Anexo I).

A su vez, solicitaremos la aprobación del Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario Puerta de Hierro (Anexo II), para la aceptación y la solicitud de la realización del estudio en sus instalaciones, requiriendo para ello la piscina terapéutica, y una sala para los tratamientos de fisioterapia tanto del grupo control, como del grupo experimental.

Cuando estos sean aprobados, el investigador principal se reunirá con todo el equipo investigador con el objetivo de informarles sobre cómo se va a realizar el estudio, en qué lugares, y qué tratamientos se van a realizar en cada grupo, así como las responsabilidades y funciones de cada integrante para la correcta ejecución del proyecto. Se explicará a los fisioterapeutas el protocolo que se llevará a cabo en cada grupo. También, se explicará al analista el tipo de mediciones que se van a realizar, además de la herramienta que se utilizará para ello.

Después, el investigador principal se reunirá con los médicos de la RFFM, para exponerles el proyecto, para que estos informen a todos los equipos que participan en las competiciones de fútbol femenino madrileñas; y que deriven a los sujetos que hayan sido diagnosticados de rotura de LCA, y que tengan la intención de participar, a la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios. Para ello, el investigador principal facilitará sus datos personales (número de teléfono, y correo electrónico), con el objetivo de establecer una fecha en la que se entreviste a cada sujeto que haya sido derivado.

Una vez se ha entrevistado a todos los sujetos, explicado el proceso a aquellos que hayan superado la entrevista, y firmado los documentos necesarios para la participación en el proyecto (Anexo III, Anexo IV, Anexo V, Anexo VI), se procederá a aleatorizar a los sujetos que hayan superado la entrevista, en los grupos del estudio. Para ello, nos ayudaremos de un programa generador de números, en el que, cada sujeto pulsará un botón, y se generará un número aleatorio entre el 1 y el 2. Una vez hayan sido colocados todos los sujetos en sus respectivos grupos, se les informará por teléfono sobre la fecha y la hora en el que se realizarán las mediciones pre-tratamiento, con el fisioterapeuta correspondiente.

Las mediciones de todas las variables, siendo estas FIVM del cuádriceps, FIVM de los isquiotibiales, Ratio H:Q, RFD<sub>100</sub> del cuádriceps, y RFD<sub>100</sub> de los isquiotibiales, se realizarán con el dinamómetro PRIMUS RS de BTE Technologies con la herramienta 701. Todas las mediciones se harán con el sujeto en posición de sedestación, en el dispositivo. Se ajustará este de tal manera que cada sujeto se encuentre sentado con 90º de flexión de cadera, y 90º de flexión de rodilla. Se alinearán el eje del dinamómetro con el epicóndilo femoral lateral de la rodilla, y se fijará el brazo del dinamómetro 2cm por encima del maléolo lateral. Se colocarán cinchas de sujeción en tronco, cintura, y fémur distal, con el objetivo de evitar movimientos compensatorios. La rodilla se posicionará a 60º, ya que, a esta angulación, está demostrado que tanto la contracción del cuádriceps, como la de los isquiotibiales, generan una carga mínima en el injerto (47,48). Antes de la medición, cada paciente realizó 3 contracciones isométricas submáximas de cuádriceps e isquiotibiales de 5 segundos cada una, con dos minutos de descanso entre cada contracción. En la fase de la prueba, los sujetos realizaron 3 contracciones máximas del cuádriceps, y otras 3 contracciones máximas de los isquiotibiales, con 2 minutos de descanso entre cada contracción (42). En las pruebas de fuerza de cuádriceps, se darán las indicaciones “extiende la rodilla lo más rápido y fuerte posible”, mientras que, en las pruebas de fuerza de isquiotibiales, se darán las indicaciones “flexiona la rodilla lo más rápido y fuerte posible”, con el objetivo de obtener datos de fuerza máxima y fuerza potencia (30). Los valores que tomaremos como referencias serán, en las pruebas de FIVM, el pico máximo de fuerza registrado en cualquiera de las contracciones del cuádriceps, y el pico máximo de fuerza registrado en cualquiera de las contracciones de los isquiotibiales; mientras que, en las pruebas de RFD, tomaremos como referencia el valor más alto a los 100ms de las contracciones del cuádriceps, y el valor más alto a los 100ms de las contracciones de los isquiotibiales (46). La unidad de medida de las pruebas de FIVM, será Nxm (45), mientras que, la unidad de medida de las pruebas de RFD, será la de Nm/s (45).

La variable independiente tipo de intervención se realizará de forma aleatoria, según lo explicado anteriormente. Habrá dos grupos de tratamiento

La variable independiente momento de medición estará compuesta por dos valores: el valor pre-tratamiento, el cual será obtenido a la 12<sup>a</sup> semana tras la operación; y el valor post-tratamiento, el cual será obtenido a la 20<sup>a</sup> semana tras la operación. Entre último entrenamiento y medición, pasarán 72h, con el objetivo de que la fatiga no sea un sesgo en nuestros datos obtenidos tras las mediciones.

Una vez pasadas 48h tras la medición, cada sujeto comenzará su respectivo tratamiento según el grupo al que pertenezca. A continuación, se explicará de forma detallada, las intervenciones a las que se expondrá cada grupo.

Como nuestra primera medición será a la semana 12, hasta entonces, todos los sujetos se expondrán a un protocolo de fisioterapia convencional, basado en el protocolo descrito por van Grinsven *et al* (26). Se realizará un tratamiento de recuperación de fisioterapia de tres días a la semana, durante los tres primeros meses tras la operación, en el que se combina tratamiento en camilla, y ejercicio terapéutico. Los sujetos de ambos grupos realizarán este protocolo tras las primeras 12 semanas de la operación, con el objetivo de evitar posibles sesgos resultantes de distintos tratamientos que pudieran seguir anteriores a la primera medición. Este protocolo se divide en las siguientes fases y tratamientos:

FASES	FASE 1 (1 <sup>a</sup> semana)	FASE 2 (2 <sup>a</sup> -9 <sup>a</sup> semana)	FASE 3 (9 <sup>a</sup> -12 <sup>a</sup> semana)
TRATAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Control del dolor e inflamación.</li> <li>○ Amplitud de movimiento de 0-90°, hincapié en la extensión completa</li> <li>○ Recuperar control muscular</li> <li>○ Caminar sin muletas si el dolor es tolerable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Control del dolor e inflamación si es necesario</li> <li>○ ROM extensión completa y 130° de flexión</li> <li>○ Normalizar patrón de marcha</li> <li>○ Ejercicios isométricos e isotónicos con aumento progresivo de intensidad, en cadena cinética cerrada (CCC) y abierta (CCA)</li> <li>○ Inicio del entrenamiento neuromuscular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ROM completo</li> <li>○ Optimización de fuerza y resistencia muscular añadiendo pesas.</li> <li>○ Entrenamiento neuromuscular con énfasis en la estabilidad dinámica</li> </ul>

Tabla 11. Tratamiento del protocolo convencional durante las 12 primeras semanas. Fuente: van Grinsven *et al* (44).

A continuación, se muestra un ejemplo de calendario que tendrían todos los sujetos del estudio durante las 12 primeras semanas hasta la primera medición. En gris, se muestra los días en los que se debe de acudir a tratamiento, de la fase 1, en amarillo, los días que se debe de acudir a tratamiento, de la fase 2, y en verde, los días que se debe acudir al tratamiento, de la fase 3.

MES 1						
L	M	X	J	V	S	D
1 <sup>a</sup> SEM	2	1 <sup>a</sup> SEM	4	1 <sup>a</sup> SEM	6	7
2 <sup>a</sup> SEM	9	2 <sup>a</sup> SEM	11	2 <sup>a</sup> SEM	13	14
3 <sup>a</sup> SEM	16	3 <sup>a</sup> SEM	18	3 <sup>a</sup> SEM	20	21
4 <sup>a</sup> SEM	23	4 <sup>a</sup> SEM	25	4 <sup>a</sup> SEM	27	28
5 <sup>a</sup> SEM	30	5 <sup>a</sup> SEM				

Tabla 12. Calendario mes 1 del protocolo convencional común. Fuente: Elaboración propia

MES 2						
L	M	X	J	V	S	D
			1	5 <sup>a</sup> SEM	3	4
6 <sup>a</sup> SEM	6	6 <sup>a</sup> SEM	8	6 <sup>a</sup> SEM	10	11
7 <sup>a</sup> SEM	13	7 <sup>a</sup> SEM	15	7 <sup>a</sup> SEM	17	18
8 <sup>a</sup> SEM	20	8 <sup>a</sup> SEM	22	8 <sup>a</sup> SEM	24	25
9 <sup>a</sup> SEM	27	9 <sup>a</sup> SEM	29	9 <sup>a</sup> SEM	30	1

Tabla 13. Calendario mes 2 del protocolo convencional común. Fuente: Elaboración propia.

MES 3						
L	M	X	J	V	S	D
10 <sup>a</sup> SEM	3	10 <sup>a</sup> SEM	5	10 <sup>a</sup> SEM	7	8
11 <sup>a</sup> SEM	10	11 <sup>a</sup> SEM	12	11 <sup>a</sup> SEM	14	15
12 <sup>a</sup> SEM	17	12 <sup>a</sup> SEM	19	12 <sup>a</sup> SEM	21	22
MEDICIÓN	24		26		28	29

Tabla 14. Calendario mes 3 del protocolo convencional común. Fuente: Elaboración propia.

Pasadas las 12 semanas, y las mediciones iniciales, cada sujeto comenzará sus respectivos tratamientos según al grupo de trabajo al que pertenezcan. A continuación, se explican de manera detallada las siguientes intervenciones.

El grupo 1 (grupo control), seguirá realizando el protocolo de fisioterapia convencional descrito por van Grinsven *et al* (26). Se seguirá realizando un programa de ejercicio terapéutico 3 días a la semana durante 8 semanas consecutivas. En cada semana, los días de entrenamiento serán de manera específica, siendo uno de los días entrenamiento orientado a la fuerza, otro entrenamiento orientado a la propiocepción, y otro de entrenamiento orientado a la potencia. Se dividirá el tratamiento en dos fases, siendo la fase 4 las 4 primeras semanas (12<sup>a</sup>-16<sup>a</sup> semana), en la que los ejercicios irán enfocados al trabajo de fuerza, propiocepción dinámica, y carrera e introducción de pliometría; y la fase 5, las últimas 4 semanas (17<sup>a</sup>-20<sup>a</sup> semana), en la que los ejercicios irán más enfocados al trabajo funcional avanzado, y simulación deportiva. Estos se llevarán a cabo con distinto material, el cual se especificará, junto con la explicación sobre la realización de estos, cargas utilizadas, y futuras progresiones, en el Anexo IX.

Para asegurar la adecuada progresión de la carga, se aplicará el principio “+2”. Este consiste en la indicación al paciente de realizar 2 repeticiones más en la última serie, y, en caso de que lo logre, se aumentará la carga en la siguiente sesión (42).

A continuación, se muestra un ejemplo de calendario que tendrían los sujetos del grupo control. En amarillo se muestran los días de trabajo en los que se entrenará fuerza (FUERZA), en azul se muestran los días en los que se entrenará propiocepción (PROPIO), y en morado se muestran los días en los que se entrenará potencia (POT).

MES 3						
L	M	X	J	V	S	D
10 <sup>a</sup> SEM	3	10 <sup>a</sup> SEM	5	10 <sup>a</sup> SEM	7	8
11 <sup>a</sup> SEM	10	11 <sup>a</sup> SEM	12	11 <sup>a</sup> SEM	14	15
12 <sup>a</sup> SEM	17	12 <sup>a</sup> SEM	19	12 <sup>a</sup> SEM	21	22
MEDICIÓN	24	PROPIO	26	POT	28	29

Tabla 15. Semana 13 tras la operación. Primera semana del protocolo convencional. Fuente: Elaboración propia

MES 4						
L	M	X	J	V	S	D
FUERZA	31	PROPIO	2	POT	4	5
FUERZA	7	PROPIO	9	POT	11	12
FUERZA	14	PROPIO	16	POT	18	19
FUERZA	21	PROPIO	23	POT	25	26

Tabla 16. Semanas 14-17 tras la operación. Primer mes del protocolo convencional. Fuente: Elaboración propia.

MES 5						
L	M	X	J	V	S	D
FUERZA	28	PROPIO	30	POT	2	3
FUERZA	5	PROPIO	7	POT	9	10
FUERZA	12	PROPIO	14	POT	16	17
MEDICIÓN						

Tabla 17. Semanas 18-20 tras la operación. Segundo mes del protocolo convencional. Fuente: Elaboración propia.

El grupo 2 (experimental), realizará el mismo protocolo convencional que el grupo 1. Sin embargo, a este se le añadirán ejercicios en medio acuático, basándose en el artículo descrito por Buckthorpe *et al* (25). Este es un protocolo que consiste en la realización de ejercicios, tanto pliométricos, como de propiocepción, en medio acuático. Por ello, el grupo experimental realizará una combinación de protocolos, trabajando la fuerza en medio convencional, mientras que la propiocepción y la potencia, se trabajará en medio acuático. En cuanto a la frecuencia de entrenamiento, fases y ejercicios, seguirán la misma organización que el grupo 1. Para una mejor explicación, se muestra un ejemplo de calendario que tendrían los sujetos del grupo experimental. En azul se muestran los días en los que los sujetos entrenaen en medio acuático, mientras que en marrón se muestran los días en los que los sujetos entrenaen en medio seco. En los días en los que los sujetos se entrenaen en medio acuático, se indicara con la palabra “PROPIO” los días en los que el entrenamiento esté enfocado a la propiocepción, mientras que se indicará con la palabra “POT” los días en los que el entrenamiento esté enfocado a la potencia. Los ejercicios se llevarán a cabo con distinto material, el cual se especificará, junto con la explicación sobre la realización de estos, en el Anexo X.

MES 3						
L	M	X	J	V	S	D
10 <sup>a</sup> SEM	3	10 <sup>a</sup> SEM	5	10 <sup>a</sup> SEM	7	8
11 <sup>a</sup> SEM	10	11 <sup>a</sup> SEM	12	11 <sup>a</sup> SEM	14	15
12 <sup>a</sup> SEM	17	12 <sup>a</sup> SEM	19	12 <sup>a</sup> SEM	21	22
MEDICIÓN	24	PROPIO	26	POT	28	29

Tabla 18. Semana 13 tras la operación. Primera semana del tratamiento experimental. Fuente: Elaboración propia

MES 4						
L	M	X	J	V	S	D
FUERZA	31	PROPIO	2	POT	4	5
FUERZA	7	PROPIO	9	POT	11	12
FUERZA	14	PROPIO	16	POT	18	19
FUERZA	21	PROPIO	23	POT	25	26

Tabla 19. Semanas 14-17 tras la operación. Primer mes del tratamiento convencional. Fuente: Elaboración propia

MES 5						
L	M	X	J	V	S	D
FUERZA	28	PROPIO	30	POT	2	3
FUERZA	5	PROPIO	7	POT	9	10
FUERZA	12	PROPIO	14	POT	16	17
MEDICIÓN						

Tabla 20. Semanas 18-20 tras la operación. Segundo mes del tratamiento experimental. Fuente: Elaboración propia.

Para evitar un posible sesgo en la intervención, como pueda ser la diferente manera de realizar los ejercicios, al haber dos fisioterapeutas distintos en cada grupo, el investigador principal mantendrá reuniones semanales con todos los fisioterapeutas con el objetivo de que cada uno esté seguro de la realización de los distintos detalles de cada protocolo (cargas, tiempos de descanso, correcta ejecución, posibles compensaciones, etc.)

El tratamiento del grupo experimental, basado en fisioterapia en medio acuático, termina a la semana 18. Sin embargo, el tratamiento del grupo control, basado en el protocolo de fisioterapia convencional, termina a la semana 22. Por ello, estimamos finalizar nuestra intervención a la semana 20, ya que es la fecha intermedia entre ambos protocolos.

Cada sujeto, al terminar su protocolo correspondiente, deberá esperar 72h para la realización de la medición post-tratamiento. Una vez medidos todos los sujetos, se procederá al análisis estadístico de los datos.

Posteriormente, estos datos se redactarán, para su futura publicación y explicación.

## Etapas de desarrollo

En la siguiente tabla se mostrarán las fechas en las que se llevará a cabo cada una de las etapas del estudio.

ETAPAS DE DESARROLLO	FECHAS
Redacción del proyecto	Octubre 2024 – Abril 2025
Solicitud al Comité de Ética de Investigación Clínica para la realización del proyecto	Abril 2025
Reunión y acuerdo con la RFFM y el equipo investigador	Mayo 2025
Entrevista inicial (consentimiento informado)	Junio 2025
Medición pre-tratamiento	Septiembre 2025
Intervención	Grupo 1 y 2 a la par: 12 semanas de duración Grupo 1: 8 semanas de duración Grupo 2: 8 semanas de duración Hasta noviembre-diciembre de 2025
Medición post-tratamiento	Noviembre- diciembre 2025
Ánalisis e interpretación de los datos	Enero 2026
Elaboración de resultados	Febrero 2026
Redacción y publicación de resultados	Marzo 2026

Tabla 21. *Etapas del estudio y fechas correspondientes. Fuente: Elaboración propia.*

## **Distribución de las tareas de todo el equipo investigador**

### Investigador principal:

Se encargará del diseño, planificación y redacción del proyecto. A su vez, se encargará de contactar con la Real Federación de Fútbol de Madrid y explicar el proyecto, entrevistar a los sujetos derivados de la federación, y comprobar si estos reúnen todos los requisitos para participar en el estudio

Además, se encargará de explicar el proyecto, de manera detallada, a los sujetos que formen parte del estudio, y les entregará la documentación necesaria para la participación en el estudio.

También, se encargará de coordinar a todos los participantes del equipo de investigación, organizando las reuniones necesarias durante el desarrollo del estudio.

Por último, publicará y explicará los resultados finales del estudio.

### Fisioterapeutas:

Se encargarán de explicar el protocolo a cada grupo correspondiente, dirigir las sesiones, estar atentos a las correctas ejecuciones de los ejercicios, y ayudar a los pacientes en caso de que fuese necesario.

Además, se encargarán de realizar todas las mediciones del estudio.

### Médicos

Se encargarán de derivar al estudio a todas las jugadoras pertenecientes a equipos que forman parte de la RFFM, y que estén diagnosticadas de rotura de LCA.

### Analista

Se encargará de realizar e interpretar los datos obtenidos tras las mediciones pre- y post-tratamiento, de las distintas variables del estudio, mediante el programa SPSS Statistics ®.

## **Lugar de realización del proyecto**

Para la realización del proyecto, es necesaria la colaboración con la Real Federación de Fútbol de Madrid, localizada en la Calle San Severo, 16, Madrid. Esta, es necesaria para la derivación de sujetos que hayan sido diagnosticadas de rotura de LCA.

Las mediciones iniciales se llevarán a cabo en el laboratorio de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios en la Universidad Pontificia Comillas, localizada en la Avenida San Juan de Dios, 1, Ciempozuelos, Madrid. Se realizarán 72 horas después de finalizar el protocolo convencional común, y 48 horas antes del comienzo de los protocolos de los distintos grupos.

Las sesiones de tratamiento se realizarán en dos sitios diferentes:

- Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios: Aquí, se realizarán las sesiones de tratamiento del grupo convencional, y las sesiones de tratamiento de fuerza del grupo experimental. Se realizarán en las distintas aulas de la escuela. Bajo ningún concepto estará permitido dos sujetos o fisioterapeutas pertenecientes a grupos de trabajo distintos.
- Hospital Universitario Puerta de Hierro (localizado en la Calle Joaquín Rodrigo, 1, Majadahonda, Madrid.): En este lugar, más concretamente en la piscina terapéutica, se realizarán las sesiones de entrenamiento de propiocepción y potencia del grupo experimental.

Las mediciones finales se realizarán 72 horas después de haber finalizado los protocolos, en el mismo lugar en el que se realizaron las mediciones iniciales.

## 7. LISTADO DE REFERENCIAS

- 1.Giummarra M, Vocale L, King M. Efficacy of non-surgical management and functional outcomes of partial ACL tears: a systematic review of randomised trials. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):332.
- 2.Pipino G, Tomasi E, Mardones R, Tedesco A, Vaccarisi DC, Via AG, et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: dry land vs aquatic rehabilitation. *Muscles, Ligaments Tendons J.* 2023;13(3):421–9.
- 3.Lluna Llorens Á, Sánchez Sabater B, Medrano Morte I, García García EM, Sánchez López S, Abellán Guillén JF. Rotura del ligamento cruzado anterior en la mujer deportista: factores de riesgo y programas de prevención. *Apunts Med Esport.* 2017;34(181):288–92.
- 4.Fédération Internationale de Football Association (FIFA). Member Associations Survey Report [Internet]. Zurich: FIFA; [cited 2025 Mar 3]. Available from: <https://inside.fifa.com>.
- 5.Consejo Superior de Deportes. Licencias y clubes 2020 [Internet]. Madrid CSD; 2022 [cited 2025 Mar 3]. Available from: [https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2022-05/Licencias%20y%20Clubes%202020%20\(1\).pdf](https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2022-05/Licencias%20y%20Clubes%202020%20(1).pdf).
- 6.Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res.* 2016;34(11):1843–55.
- 7.Serrat Reyes S, Sánchez Gómez J, Gonzalez Ponce I, Romero Moraleda B. Estudio descriptivo de las lesiones de ligamento cruzado en el fútbol femenino. *Retos* 2023;50:172–9.
- 8.Faude O, Junge A, Kindermann W, Dvorak J. Injuries in female soccer players: a prospective study in the German national league. *Am J Sports Med.* 2005;33(11):1694–700.
- 9.Yanguas Leyes J, Til Perez L, Cortes de Olano C. Lesión del ligamento cruzado anterior en futbol femenino: estudio epidemiológico de tres temporadas. *Apunts Med Esport* 2011;46(171):137–43.
- 10.Bencke J, Aagaard P, Zebis MK. Muscle activation during ACL injury risk movements in young female athletes: a narrative review. *Front Physiol.* 2018;9:445.

11.Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med.* 2006;34(2):299–311.

12.Franco D, Ambrosio L, Za P, Maltese G, Russo F, Vadalà G, et al. Effective prevention and rehabilitation strategies to mitigate non-contact anterior cruciate ligament injuries: A narrative review. *Appl Sci.* 2024;14(20):9330.

13.Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Sauterbeck JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball. *Am J Sports Med.* 2007;35(3):359–67.

14.Xiao M, Lemos JL, Hwang CE, Sherman SL, Safran MR, Abrams GD. Increased Risk of ACL Injury for Female but Not Male Soccer Players on Artificial Turf Versus Natural Grass: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(8):23259671221114353.

15.Cicchella A, He J. A Systematic Review of Effects on ACL Injury of Soccer Shoe Outsoles, Soccer Playing Field Surfaces, and Outsole–Surface Interface. *Encyclopedia (Basel).* 2024;4(2):888–99.

16.den Hollander S, Culvin A, Kerkhoffs G, Gouttebarge V. Match workload and international travel associated with ACL injuries in professional women's football. *Eur J Sport Sci.* 2024;24(10):1423–31.

17.Mouriño-Cabaleiro A, Vila H, Saavedra-García MA, Fernández-Romero JJ. Los Músculos Isquiosurales y su Capacidad Profiláctica sobre la Translación Tibial Anterior en Lesión de Ligamento Cruzado Anterior: Una Revisión Sistemática. *Int J of Morphol.* 2023;41(4):1009-14.

18.Knežević OM, Mirkov DM. Strength assessment in athletes following an anterior cruciate ligament injury. *Kinesiology.* 2013;45(1):3–15.

19.Baroni BM, Ruas CV, Ribeiro-Alvares JB, Pinto RS. Hamstring-to-Quadriceps Torque Ratios of Professional Male Soccer Players: A Systematic Review. *J Strength Cond Res.* 2020;34(1):281–93.

20.Setuain I, Izquierdo M, Idoate F, Bikandi E, Gorostiaga EM, Aagaard P, et al. Differential Effects of 2 Rehabilitation Programs Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2017;26(6):544–55.

21. Ayala-Mejias JD, García-Estrada GA, Alcocer Pérez-España L. Lesiones del ligamento cruzado anterior. *Acta Ortop Mex.* 2014 Feb;28(1):57-67.

22. Vaudreuil N, Roe J, Salmon L, Servien E, van Eck C. Management of the female anterior cruciate ligament: current concepts. *J ISAKOS.* 2020;5(3):123-7.

23. Britt E, Ouillette R, Edmonds E, Chambers H, Johnson K, Bastrom T, et al. The Challenges of Treating Female Soccer Players With ACL Injuries: Hamstring Versus Bone-Patellar Tendon-Bone Autograft. *Orthop J Sports Med* 2020;8(11):2325967120964884.

24. Kotsifaki R, Korakakis V, King E, Barbosa O, Maree D, Pantouvelis M, et al. Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med.* 2023;57(9):500-14.

25. Buckthorpe M, Pirotti E, Della Villa F. Benefits and use of Aquatic Therapy during Rehabilitation After Acl Reconstruction: a Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14(6):979-93.

26. van Grinsven S, van Cingel REH, Holla CJM, van Loon CJM. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(8):1128-44.

27. Kim E, Kim T, Kang H, Lee J, Childers MK. Aquatic versus land-based exercises as early functional rehabilitation for elite athletes with acute lower extremity ligament injury: a pilot study. *PM R.* 2010;2(8):703-12.

28. Moritz TA, Snowdon DA, Peiris CL. Combining aquatic physiotherapy with usual care physiotherapy for people with neurological conditions: A systematic review. *Physiother Res Int.* 2020;25(1):e1813.

29. Buckthorpe M. Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med.* 2019;49(7):1043-59.

30. Mirkov DM, Knezevic OM, Maffiuletti NA, Kadija M, Nedeljkovic A, Jaric S. Contralateral limb deficit after ACL reconstruction: an analysis of early and late phase of rate of force development. *J Sports Sci.* 2017;35(5):435-40.

31. Angelozzi M, Madama M, Corsica C, Calvisi V, Properzi G, McCaw ST, et al. Rate of force development as an adjunctive outcome measure for return-to-sport decisions after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(9):772–80.

32. Turpeinen J, Freitas TT, Rubio-Arias JA, Jordan MJ, Aagaard P. Contractile rate of force development after anterior cruciate ligament reconstruction-a comprehensive review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2020;30(9):1572–85.

33. Kadija M, Knezević OM, Milovanović D, Nedeljković A, Mirkov DM. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on hamstring and quadriceps muscle function outcome ratios in male athletes. *Srp Arh Celok Lek.* 2016;144(3-4):151–7.

34. Buckthorpe M, Roi GS. The time has come to incorporate a greater focus on rate of force development training in the sports injury rehabilitation process. *Muscles, Ligaments Tendons J.* 2017;7(3):435–41.

35. Lisee C, Birchmeier T, Yan A, Kuenze C. Associations between isometric quadriceps strength characteristics, knee flexion angles, and knee extension moments during single leg step down and landing tasks after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech.* 2019;70:231–6.

36. Ueno R, Navacchia A, Schilaty ND, Myer GD, Hewett TE, Bates NA. Hamstrings Contraction Regulates the Magnitude and Timing of the Peak ACL Loading During the Drop Vertical Jump in Female Athletes. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(9):23259671211034487.

37. Buckthorpe M, Gokeler A, Herrington L, Hughes M, Grassi A, Wadey R, et al. Optimising the Early-Stage Rehabilitation Process Post-ACL Reconstruction. *Sports Med.* 2024;54(1):49–72.

38. Buckthorpe M, Della Villa F. Optimising the 'Mid-Stage' Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Med.* 2020;50(4):657–78.

39. Herrington L, Ghulam H, Comfort P. Quadriceps Strength and Functional Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Professional Soccer players at Time of Return to Sport. *J Strength Cond Res* 2021;35(3):769–75.

40. Martel GF, Harmer ML, Logan JM, Parker CB. Aquatic plyometric training increases vertical jump in female volleyball players. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(10):1814–9.

41.Anumula SK, Beku C, Murthy YSN. Measurement of Reliability in Grip Strength. Indian J Physiother Occup Ther. 2014;8(2):115–9.

42.Harput G, Tunay VB, Ithurburn MP. Quadriceps and Hamstring Strength Symmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective Study. J Sport Rehabil. 2021 ;30(1):1–8.

43.Welling W, Paalman J, Speerstra R, Van Houten A, Hoogeslag R. Monitoring hamstring and quadriceps strength using handheld dynamometry in patients after ACL reconstruction: A prospective longitudinal study. J Orthop. 2025;59:128–36.

44.JORDAN MJ, AAGAARD P, HERZOG W. Rapid Hamstrings/Quadriceps Strength in ACL-Reconstructed Elite Alpine Ski Racers. Med Sci Sports Exerc. 2015;47(1):109–19.

45.McGuire R, Swann W, Jurjans J, Parker C, Pawley M, Uhl T. Early Measures of Torque Development are Related to Peak Torque at Six Months Following ACL Reconstruction. Int J Sports Phys Ther. 2025;20(4):503–13.

46.Zebis MK, Andersen LL, Ellingsgaard H, Aagaard P. Rapid Hamstring/Quadriceps Force Capacity in Male vs. Female Elite Soccer Players. J Strength Cond Res. 2011;25(7):1989–93.

47.Harput G, Kilinc HE, Ozer H, Baltaci G, Mattacola CG. Quadriceps and Hamstring Strength Recovery During Early Neuromuscular Rehabilitation After ACL Hamstring-Tendon Autograft Reconstruction. J Sport Rehabil. 2015;24(4):398–404.

48.Beynnon BD, Fleming BC, Johnson RJ, Nichols CE, Renström PA, Pope MH. Anterior Cruciate Ligament Strain Behavior During Rehabilitation Exercises In Vivo. Am J Sports Med. 1995;23(1):24–34.

## 8. ANEXOS

### Anexo I. Solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica (CEIC)

D. Diego Montero Vázquez en calidad de investigador principal en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, con Documento Nacional de Identidad \_\_\_\_\_, y domicilio social en \_\_\_\_\_, Madrid.

#### **EXPONE:**

Que desea llevar a cabo el ensayo clínico “*Inclusión de la terapia acuática en el tratamiento convencional en jugadoras de fútbol con rotura de LCA*” que será realizado en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, localizada en la Avda San Juan de Dios, 1, Ciempozuelos (28350), Madrid.

El estudio se realizará tal y como se ha planteado, respetando la normativa legal aplicable para los ensayos clínicos que se realicen en España, y siguiendo las normas éticas internacionalmente aceptadas (Declaración de Helsinki, última revisión).

Adjunto la siguiente información:

- Copia del protocolo de ensayo clínico.
- Copia del Manual del Investigador.
- Copia de idoneidad de las instalaciones, del investigador principal y de los participantes del equipo investigador.
- Copia de la hoja de información del estudio para sujetos.
- Copia de los consentimientos informados de los sujetos.

Firmado:

Diego Montero Vázquez  
Investigador principal

En Madrid a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2025

## Anexo II. Solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica (CEIm)

### SOLICITUD DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

D./D<sup>a</sup> Diego Montero Vázquez, en calidad de investigador principal, con Documento Nacional de Identidad \_\_\_\_\_ y domicilio social en \_\_\_\_\_, Madrid.

#### SOLICITO:

La autorización por el CEIm del proyecto titulado *“Inclusión de la terapia acuática en el tratamiento convencional en jugadoras de fútbol con rotura de LCA”* con las siguientes consideraciones:

El estudio se realizará en las instalaciones del Hospital Universitario Puerta de Hierro, concretamente en la piscina terapéutica, sin introducir, modificar o suprimir dato alguno en los sistemas de información del centro.

Los datos, previamente captados, serán anonimizados mediante el diseño de una base de datos en la que se asignará un número o código. Solo se incluirán los datos estrictamente necesarios para el análisis de los resultados. Esta base de datos será utilizada para realizar el estudio y se mantendrá únicamente bajo los controles del investigador principal, sin incluirse en dispositivos de almacenamiento externos.

#### DECLARO:

Conocer y comprender la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales; el Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal; así como el resto de la normativa de desarrollo, y las previsiones al respecto contempladas en la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica.

#### ME COMPROMETO A:

Mantener la absoluta confidencialidad y reserva sobre cualquier dato que pudiera conocer con ocasión de la realización del proyecto, especialmente los de carácter personal, que no podrán ser copiados o utilizados con fin distinto al determinado en el estudio, ni tampoco cedidos a otros, ni siquiera a efectos de conservación.

#### ADJUNTO:

- Copia del protocolo de ensayo clínico
- Copia del Manual del Investigador
- Copia del documento sobre la idoneidad de las instalaciones, del investigador principal y del equipo investigador.
- Copia de la hoja de información del estudio para sujetos
- Copia de los consentimientos informados de los sujetos

Firmado:

Diego Montero Vázquez  
Investigador principal  
En Madrid a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2025

### **Anexo III. Documento explicativo del estudio para participantes**

En este documento se expondrán todas las características del estudio en el que tiene voluntad de participar. Para formar parte de este, es necesario que comprenda perfectamente todas las partes de las que está formado.

El estudio *“inclusión de la terapia acuática en el tratamiento convencional en jugadoras de fútbol con rotura de LCA”* se llevará a cabo según se apruebe por parte del Comité Ético de Investigación Clínica.

Para ser partícipe de este, deberá llenar una hoja facilitando sus datos personales que, bajo ningún concepto, serán usados o publicados, estos serán guardados de manera confidencial según dictamina la Ley Orgánica de Protección de Datos 3/2018. Al entrar en el estudio, se le asignará un código de identificación con el que será identificado a lo largo de este.

Este estudio de investigación se llevará a cabo tanto en las instalaciones de la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, localizada en la Avenida San Juan de Dios, en Ciempozuelos, Madrid; como en las instalaciones del Hospital Universitario Puerta de Hierro, localizado en la Calle Joaquín Rodrigo, 1, en Majadahonda, Madrid.

El objetivo de este estudio es evaluar la eficacia del tratamiento de terapia acuática junto al tratamiento de terapia convencional frente al tratamiento de terapia convencional en jugadoras de fútbol que han sufrido rotura de LCA. Para ello, se medirán las siguientes variables:

- Fuerza isométrica máxima voluntaria del cuádriceps
- Fuerza isométrica máxima voluntaria de los isquiotibiales
- Ratio H:Q
- RFD de los cuádriceps a los 100ms
- RFD de los isquiotibiales a los 100ms

Todas ellas, se medirán con un dinamómetro. Se realizarán 3 contracciones máximas de 5 segundos cada una, con la rodilla a 60º de flexión, y con dos minutos de descanso entre contracciones. Antes de la medición, se realizará un calentamiento en el que se realizarán 3 contracciones submáximas (aproximadamente entre un 50 y un 75% de la fuerza máxima) de 5 segundos cada una.

Se realizarán dos mediciones de todas las variables anteriores. La primera se realizará a las 12 semanas tras la operación, antes de empezar los tratamientos, y la segunda 72h después de finalizar los tratamientos.

Habrá 2 grupos de tratamiento. Los sujetos serán asignados de manera aleatoria a estos grupos. Es necesario que, tanto para las mediciones, como para las sesiones de tratamiento, traiga ropa de deporte y pantalón corto.

Antes de las 12 semanas, se realizará un tratamiento común, en el que todos los sujetos del estudio se someterán a los mismos tratamientos. Este se divide en 3 fases, en el que cada una tiene unos tratamientos y unos ejercicios específicos.

Tras las 12 semanas, el grupo 1 realizará un basado en un programa de ejercicio terapéutico 3 días a la semana durante 8 semanas consecutivas. En cada semana, los días de entrenamiento serán de manera específica, siendo uno de los días entrenamiento orientado a la fuerza, otro entrenamiento orientado a la propiocepción, y otro de entrenamiento orientado a la potencia.

El grupo 2, realizará el mismo protocolo convencional que el grupo 1. Sin embargo, a este se le añadirán ejercicios en medio acuático. Por ello, el grupo experimental trabajará la fuerza en medio seco, mientras que la propiocepción y la potencia, se trabajará en medio acuático. En cuanto a la frecuencia de entrenamiento, seguirán la misma organización que el grupo 1.

Al final de los tratamientos, pasadas 78 horas, se volverá a hacer una medición de todas las variables mencionadas anteriormente.

Es posible el abandono del estudio siempre cuando se quiera (y se rellene la documentación necesaria)

Con la firma del presente documento afirma que ha recibido la información necesaria sobre el diseño del estudio, y objetivos.

Firmado:

En Ciempozuelos, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

#### **Anexo IV: Hoja de revocación**

Dña. \_\_\_\_\_, con DNI \_\_\_\_\_, a fecha \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_ de 20\_\_\_\_, decido revocar el consentimiento informado, el cual firmé el día \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_ de 20\_\_\_\_ con la intención de participar en el estudio de investigación “*Inclusión de la terapia acuática en el tratamiento convencional en jugadoras de fútbol con rotura de LCA*” en virtud de mi derecho.

Para que conste, firmo el presente documento.

Firmado:

En Ciempozuelos, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

## **Anexo V: Consentimiento informado.**

Dña. \_\_\_\_\_, con DNI \_\_\_\_\_ afirmo que se me ha informado sobre el estudio de investigación *“Inclusión de la terapia acuática en el tratamiento convencional en jugadoras de fútbol con rotura de LCA”*.

Afirmo haber entendido todos los aspectos explicados en la *Hoja de información al paciente* (objetivos, desarrollo y riesgos de la intervención). He tenido la oportunidad de hacer preguntas sobre los procedimientos e intervenciones del estudio.

Firmando abajo consiento ser tratado por los fisioterapeutas del equipo investigador con la intervención de la que se me ha informado.

Afirmo haber llenado toda la documentación de manera leal y veraz. Afirmo que cumple con todos los requisitos para la realización del estudio.

Por todo ello, acepto de manera voluntaria y consciente, la participación en el siguiente estudio, además de la publicación de mis mediciones (manteniendo el anonimato) por parte del equipo investigador. He comprendido que no recibiré ningún tipo de compensación económica por la participación en el estudio.

Por último, he sido informada y entiendo que puedo abandonar el estudio en cualquier momento sin ningún tipo de repercusión económica y legal, siempre y cuando rellene la documentación necesaria (*Hoja de revocación*).

Afirmo haber recibido una copia de la *Hoja de información al paciente* y del presente *Consentimiento informado*.

Firmado:

En Ciempozuelos, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20 \_\_\_\_

## **Anexo VI: Hoja de datos personales.**

Estos datos serán confidenciales, y estarán guardados por el investigador que realiza el estudio. No aparecerá ningún dato personal durante la realización del estudio, ni serán publicados. Estos datos se recogen con el único fin de informar y enviar los resultados del estudio a cada participante de forma digital (vía correo electrónico) y de forma física (dirección postal).

Nombre:

Apellidos:

Edad:

Correo electrónico:

Dirección:

Código postal:

Localidad:

Firmado:

En Ciempozuelos a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20 \_\_\_\_

**Anexo VII. Hoja de datos del estudio.**

<b>Código de identificación:</b>				
<b>Grupo</b>	<input type="checkbox"/> <b>Control</b> <input type="checkbox"/> <b>Experimental</b>			
<b>FIVM cuádriceps pre</b>	<b>FIVM isquiotibiales pre</b>	<b>Ratio H:Q pre</b>	<b>RFD<sub>100</sub> cuádriceps pre</b>	<b>RFD<sub>100</sub> isquiotibiales pre</b>
X	X	X	X	X
<b>FIVM cuádriceps post</b>	<b>FIVM isquiotibiales post</b>	<b>Ratio H:Q post</b>	<b>RFD<sub>100</sub> cuádriceps post</b>	<b>RFD<sub>100</sub> isquiotibiales post</b>
X	X	X	X	X

**OBSERVACIONES**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Anexo IX. Ejercicios del tratamiento convencional.

Estos ejercicios variarán a partir de la semana 16, debido a que, a partir de ese momento, se cambia de fase a la fase 4. Se especificará en qué fase se realiza cada ejercicio, con indicaciones específicas. Siempre se tendrán en cuenta las sensaciones del paciente en caso de que fuese necesario modificar el ejercicio. Para la explicación de estos, nos ayudaremos de la página web Physitrack® (49)

### Ejercicios de fuerza que se realizarán de la semana 13 a la semana 16.

#### Sentadilla con barra

Póngase de pie sosteniendo una barra en la parte posterior de sus hombros.

Inicie el movimiento flexionando las caderas, rodillas (de manera parcial) y tobillos.

La espalda debe permanecer recta y erguida durante todo el movimiento con la cabeza levantada y la mirada hacia adelante.

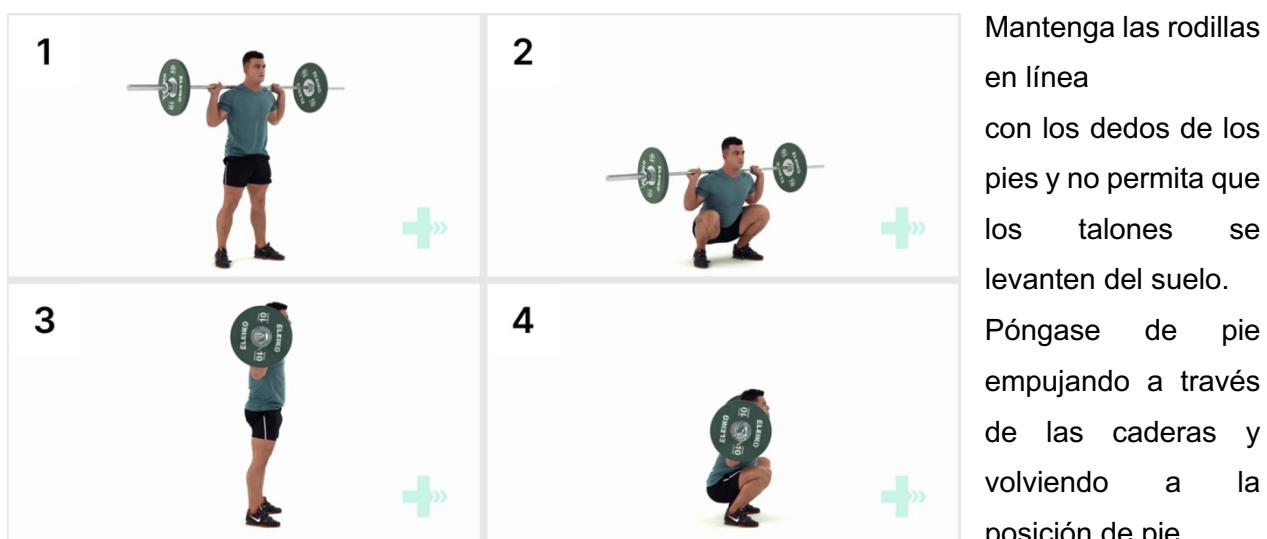


Ilustración 1. Ejercicio sentadilla con barra. Fuente: Physitrack® (49)

SERIES	REPETICIONES
3	6

## Prensa de pierna

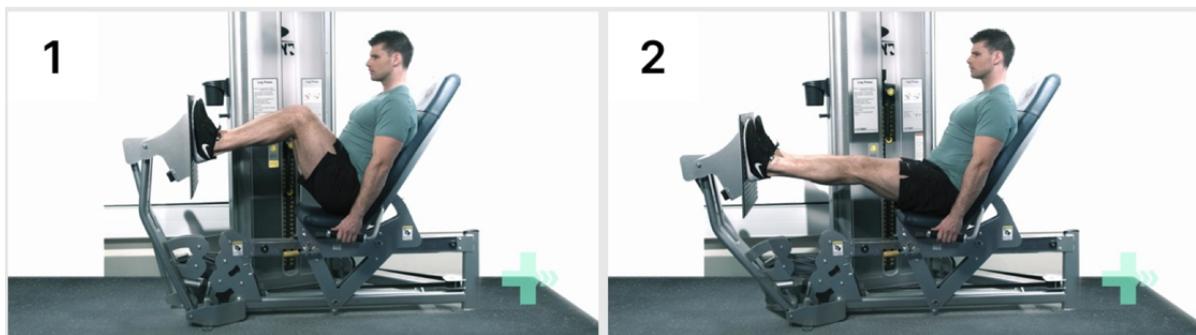


Ilustración 2. Prensa de pierna. Fuente: Physitrack® (49)

Ajuste el asiento a una posición inicial cómoda para las rodillas y las caderas.

Coloque los pies cómodamente en los reposapiés, con los dedos de los pies apuntando ligeramente hacia fuera.

Empuje la placa de los pies hasta que sus piernas estén completamente extendidas. Vuelva a la posición inicial.

En este ejercicio, se progresará en el apoyo, y en la contracción. En esta fase, se trabaja de forma concéntrica (cuando se aleja la prensa) y con apoyo bipodal, progresando hacia el unipodal.

SERIES	REPETICIONES
3	6

## Zancadas con peso



Ilustración 3. Ejercicio zancadas con peso. Fuente: Physitrack® (49)

Póngase de pie con los pies separados, uno delante del otro, sosteniendo una mancuerna en cada mano a la altura de los hombros.

Inicie el movimiento flexionando las caderas, las rodillas y los tobillos hasta que el

muslo delantero esté paralelo al suelo. La espalda debe permanecer recta y erguida durante todo el movimiento con la cabeza levantada y la mirada hacia hacia el frente. Mantenga la rodilla en línea con los dedos del pie y no permita que el talón se levante del suelo. Póngase de pie empujando a través de la cadera y volviendo a la posición inicial.

SERIES	REPETICIONES
3	8

### Balanceo con Kettlebell

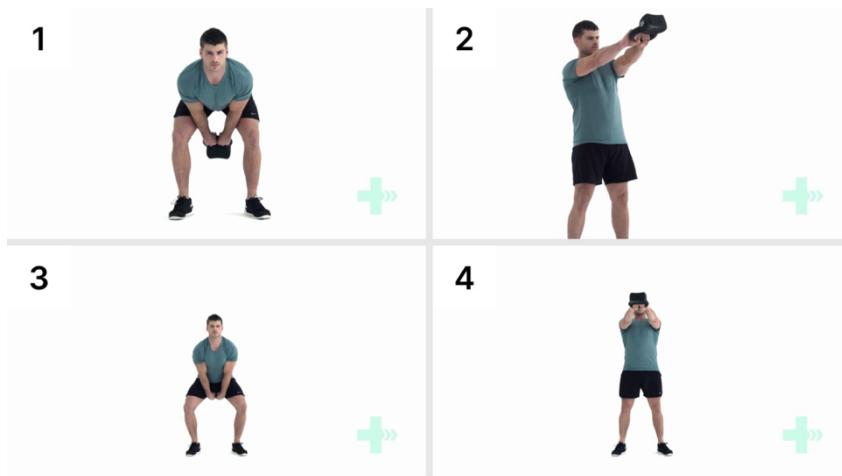


Ilustración 4. Ejercicio balanceo con kettlebell. Fuente: Physitrack® (49)

La posición de partida es a un paso grande detrás de la Kettlebell, inclinándose hacia adelante con la espalda recta agarrando la Kettlebell con ambas manos.

Mantenga una buena postura atlética con la cabeza levantada y los

ojos mirando hacia delante con la espalda recta y el tronco flexionado. Las piernas deben estar flexionadas y los isquiotibiales contraídos. La Kettlebell debe estar ubicada a una distancia aproximada de una mano delante de la barbilla y el brazo debe llegar hacia adelante.

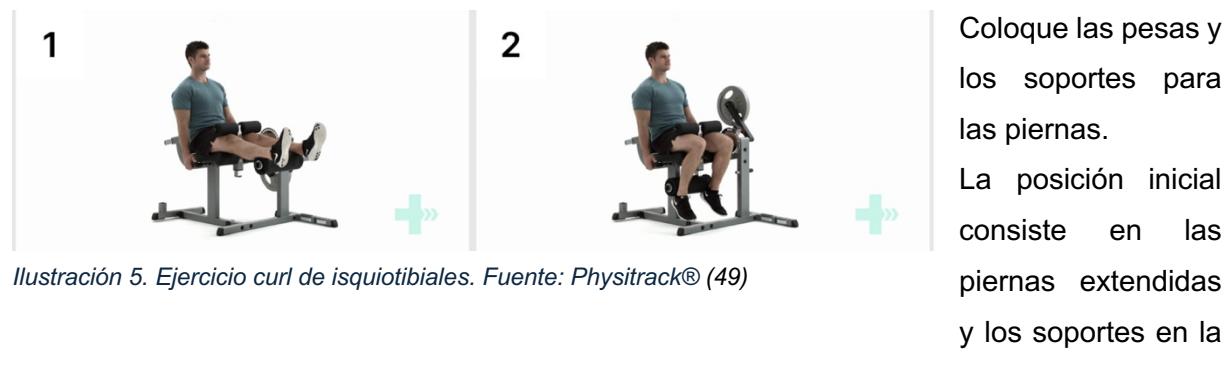
Mueva la Kettlebell en un movimiento de balanceo entre las piernas asegurándose de mantener una buena postura atlética ya que esto prepara el cuerpo correctamente para el resto del movimiento. Luego extienda las caderas, rodillas y tobillos de manera explosiva. En este momento, los brazos deben servir como una cuerda para la Kettlebell guiándola a la altura de los ojos. Las piernas, caderas y tobillos mueven la Kettlebell a la posición superior, en lugar de realizarlo con los brazos.

La altura de la Kettlebell está condicionada por la explosividad de la parte inferior del cuerpo.

Baje la Kettlebell usando la gravedad para controlar la espalda en la posición atlética donde la Kettlebell debe ser sostenida en lo alto de la entrepierna, como una bruja con un palo de escoba.

SERIES	REPETICIONES
3	8

### Curl de isquiotibiales



Flexiones suavemente las piernas hacia la zona glútea. Haga una breve pausa en la parte superior del movimiento y luego suelte la pesa de manera lenta y controlada.

SERIES	REPETICIONES
3	6

### Step-up con peso



Ilustración 6. Ejercicio step-up con peso. Fuente: Physitrack® (49)

ejercitar las dos.

Para comenzar, colóquese detrás del escalón con las mancuernas en las manos. Suba el escalón primero con una pierna y luego con la otra. Baje del escalón en el mismo orden.

Alterne la pierna que lidera el ejercicio para

SERIES	REPETICIONES
3	8

### Ejercicios de fuerza que se realizarán de la semana 17 a la semana 20.

Se incluirán estos ejercicios en la última fase, además de los mencionados anteriormente, realizados a una mayor intensidad, y a una velocidad más explosiva.

#### Hip thrust con barra



Ilustración 7. Ejercicio hip thrust con barra. Fuente: Physitrack® (49)

Acuéstese boca arriba en un banco sosteniendo una barra en sus caderas, con un agarre amplio.

Sólo los hombros deben

estar en el banco y las caderas deben estar paralelas al suelo.

Descienda las caderas hacia el suelo.

Extienda de forma explosiva las caderas hacia el techo y vuelva a la posición inicial.

SERIES	REPETICIONES

3	6
---	---

## Peso muerto con barra

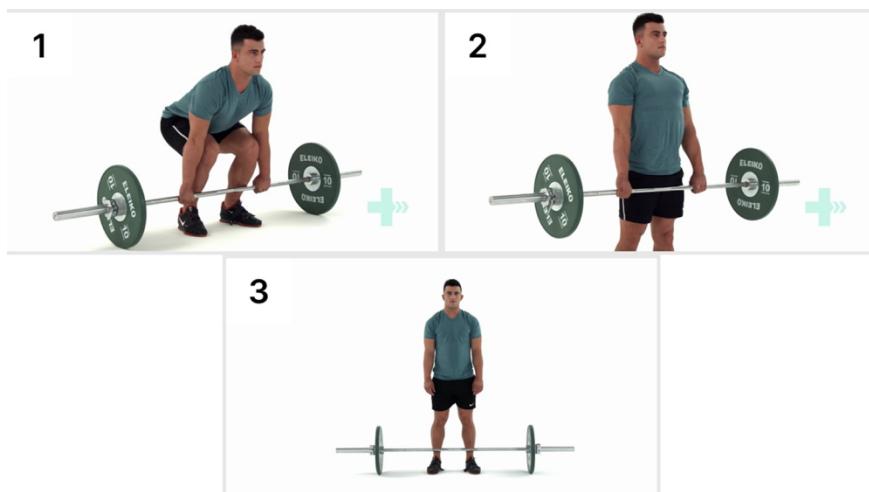


Ilustración 8. Ejercicio peso muerto con barra. Fuente: Physitrack® (49)

Colóquese en posición de sentadilla con las caderas más bajas que los hombros y agarre la barra con las palmas de las manos orientadas hacia atrás y los brazos separados a los largo del cuerpo.

Coloque la barra por encima de los empeines

y asegúrese de que sus hombros estén por delante de la barra.

Extienda las rodillas y las caderas, manteniendo la espalda recta hasta que el cuerpo alcance una posición totalmente erguida.

Flexione lentamente las caderas y las rodillas y vuelva a la posición inicial, mantenga la espalda recta durante todo el movimiento.

SERIES	REPETICIONES
3	6

En cuanto a la carga, todos los sujetos comenzarán trabajando a 6RM y a 8RM, dependiendo de los ejercicios (es decir, se estará trabajando a un 85% y a un 80% de su FIVM). Después, se irá aplicando el principio de progresión “+2”, el cual consiste en la indicación al paciente de realizar 2 repeticiones más en la última serie, y, en caso de que lo logre, se aumentará la carga en la siguiente sesión.

## Ejercicios de propiocepción

Estos, al igual que los ejercicios de fuerza, serán distintos en cuanto a tiempos en los que se realizarán.

### Ejercicios de propiocepción en fase 4 (Semanas 13-16)

EJERCICIO	EXPLICACIÓN	DURACIÓN
Apoyo monopodal sobre superficie estable	El paciente se situará en apoyo monopodal sobre superficie estable. Se progresará con el sistema visual (primero se realizará con los ojos abiertos, después con los ojos cerrados), y con tareas cognitivas (ej: Cuando el fisioterapeuta diga un número par, levanta la mano derecha, y cuando diga un numero impar, levanta la mano izquierda).	2 series de 45 segundos / pierna
Apoyo monopodal sobre superficie inestable (BOSU)	El paciente se situará en apoyo bipodal sobre una superficie inestable (BOSU). El fisioterapeuta le mandará tareas en las que sea necesaria la rotación de tronco, para ir añadiendo movimientos en la rodilla más complejos, y fomentar la amplitud de su campo de visión. Se podrá progresar a apoyo monopodal	2 series de 1 min
Tareas reactivas y estímulos externos	Se partirá en una superficie inestable en apoyo bipodal. Se progresará comenzando por estímulos externos (empujes del fisioterapeuta con intención de desestabilizar), y se seguirá añadiendo tareas reactivas (ej: paciente con pelota en mano, cuando el fisioterapeuta de dos palmadas, tendrás que lanzarle la pelota instantáneamente, cuando veas el color blanco en la pantalla del teléfono debes de lanzar la pelota instantáneamente.) Al igual que en el anterior, se progresará a apoyo monopodal	2 series de 1 min

Cambios de apoyo reactivos	<p>Se partirá de apoyo monopodal en posición inestable. Se progresará comenzando por tareas cognitivas para que se realice un cambio de apoyo (ej: cuando el fisioterapeuta diga un número par, el paciente cambia la pierna de apoyo), y se seguirá progresando con el sistema visual (se realizará la misma tarea con los ojos cerrados) y con el sistema auditivo (cuando el paciente escuche una palmada, cambiará la pierna de apoyo).</p>	2 series de 10 repeticiones (10 cambios de apoyo)
----------------------------	---	---

Tabla 22. Tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 1 en fase 4. Fuente: Elaboración propia.

### Ejercicios de propiocepción en fase 5 (Semanas 17-20)

EJERCICIO	EXPLICACIÓN	DURACIÓN
Propiocepción con multitarea	<p>Se comenzará en apoyo bipodal y superficie estable. Se realizará una multitarea, en la que se combinará tareas cognitivas con estímulos externos (ej. cuando el paciente vea una serie de colores en la pantalla del teléfono deberá de tocar la pantalla tan rápido como sea posible, de mientras el fisioterapeuta le estará dando leves empujes para desequilibrar, y el paciente deberá apartar la mano del fisioterapeuta para que el empuje sea lo menos eficaz posible, simulando momentos de juego real).</p>	3 series de 12 repeticiones (12 veces en las que el paciente irá a tocar la pantalla).
Velocidad de reacción con estímulo auditivo	<p>Se partirá de apoyo bipodal en superficie estable. Se tirará una pelota desde atrás, el paciente tiene que coger la pelota tan rápido como sea posible. Se progresará añadiendo apoyo monopodal, y añadiendo la realización del ejercicio con ojos cerrados, dejando botar la pelota, y reaccionando lo más rápido posible en cuanto se escuche el sonido.</p>	Se realizarán 3 series de 12 repeticiones
Control de tronco con tareas cognitivas	<p>Se partirá de apoyo bipodal en superficie inestable (BOSU). El paciente deberá de seguir de manera visual un objeto (puede ser una pelota, o incluso el</p>	3 series de 12 repeticiones (12 empujes)

	dedo de una mano), mientras recibe estímulos externos, como son empujes del fisioterapeuta. El paciente deberá de tener un buen control de tronco para no desestabilizarse. Si el paciente tiene un buen control de tronco, se progresará con Con esta tarea, simulamos acción real de juego, en la que el paciente va con la mirada fijada en el balón y recibe un choque.	
Multitarea con estímulo real	El ejercicio será el mismo que el mencionado anteriormente, de propiocepción con multitarea. En este caso, le añadiremos una tarea más (ej. El paciente, cuando vea una serie de colores en la pantalla del teléfono deberá de tocar la pantalla lo más rápido posible, de mientras el fisioterapeuta estará produciendo leves empujes para desequilibrar al paciente, y a su vez este recibirá un pase por parte de un compañero, por lo que deberá controlar y pasar adecuadamente). El pase podrá ser en cualquier dirección.	Se realizarán 3 series de 10 repeticiones.

Tabla 23. tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 1 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.

## Ejercicios de potencia

Estos, al igual que los ejercicios de fuerza y propiocepción, serán distintos en cuanto a tiempos en los que se realizarán.

### Ejercicios de potencia en fase 4 (Semanas 13-16)

EJERCICIO	EXPLICACIÓN	DURACIÓN
Skipping + saltos	El paciente realizará unos segundos de skipping a baja intensidad, y a la orden del fisioterapeuta realizará un salto bipodal a una colchoneta	2 series de 6 repeticiones

Saltos laterales + aceleraciones + frenadas	El paciente realizará dos saltos laterales bipodales a cada lado, siguiendo de un sprint corto y una frenada al final del sprint.	2 series de 6 repeticiones
Saltos unipodales al cajón	El paciente comenzará realizando saltos unipodales en un step, progresando en la altura hasta llegar a un cajón	2 series de 6 repeticiones
Saltos unipodales + tarea cognitiva + sprint + frenada	El paciente realizará un salto lateral a cada lado, con una tarea cognitiva (ej. Saltar de mientras que dice el color que sale en la pantalla), cuando realiza los dos saltos realiza un sprint corto seguido de una frenada.	2 series de 6 repeticiones

Tabla 24. Tabla ejercicios de potencia del grupo 1 en la fase 4. Fuente: Elaboración propia.

### Ejercicios de potencia en fase 5 (Semanas 13-16)

EJERCICIO	EXPLICACIÓN	DURACIÓN
Salto + sprint con COD	El paciente realizará 4 saltos bipodales, y a la orden del fisioterapeuta realizará un cambio de dirección seguido de un sprint	3 series de 8 repeticiones
Combinación de saltos + sprint multidireccional	El paciente realizará dos triples saltos 2 saltos monopodales a los dos lados + salto bipodal en el sitio) y a la orden del fisioterapeuta realizará un sprint en el que, con otra orden del fisioterapeuta, cambiará de dirección.	3 series de 8 repeticiones
Triple salto + sprint + frenada + COD	El paciente realizará un triple salto monopodal hacia delante, seguido de un sprint corto, terminará el sprint con una frenada brusca y hará un cambio de dirección seguido de un sprint corto.	3 series de 6 repeticiones
Salto bipodal + agilidad + sprint con COD	El paciente realizará 3 saltos bipodales en el sitio, y a la orden del fisioterapeuta saldrá hacia delante haciendo un circuito de zigzag, y seguirá realizando un sprint multidireccional, en el que cambiará dos veces de dirección	3 series de 5 repeticiones

Tabla 25. Tabla de ejercicios de potencia del grupo 1 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.

## **Anexo X. Ejercicios del tratamiento experimental.**

### **Ejercicios de fuerza**

En cuanto a los ejercicios de fuerza, como ambos grupos siguen los mismos tratamientos, la disposición de los ejercicios de fuerza del grupo 1, será la misma para el grupo 2.

En cuanto a los ejercicios de propiocepción del tratamiento experimental, también serán divididos en las dos fases de tratamiento en las que se produce nuestra intervención. Los ejercicios que realizar serán los siguientes:

#### **Ejercicios de propiocepción en agua en fase 4 (Semanas 13-16)**

EJERCICIO	EXPLICACIÓN	DURACIÓN	FLOTABILIDAD
Apoyo monopodal sobre superficie estable	El paciente se situará en apoyo monopodal sobre superficie estable. Se progresará con el sistema visual (primero se realizará con los ojos abiertos, después con los ojos cerrados), y con tareas cognitivas (ej: Cuando el fisioterapeuta diga un número par, levanta la mano derecha, y cuando diga un numero impar, levanta la mano izquierda).	2 series de 45 segundos / pierna	Agua a la altura del ombligo (50% de su peso reducido). Se irá progresando hasta el agua a la altura de la síntesis pélvica (40% de su peso reducido)
Apoyo monopodal sobre superficie inestable	El paciente se situará en apoyo bipodal sobre una superficie inestable (tabla flotante). El fisioterapeuta le mandará tareas en las que sea necesaria la rotación de tronco, para ir añadiendo movimientos en la rodilla más complejos, y fomentar la amplitud de su campo de visión.	2 series de 1 min	Agua a la altura del ombligo (50% de su peso reducido). Se irá progresando hasta el agua a la altura de la síntesis pélvica (40% de su peso reducido)

	Se podrá progresar a apoyo monopodal		
Tareas reactivas y estímulos externos	Se partirá en una superficie inestable en apoyo bipodal. Se progresará comenzando por estímulos externos (empujes del fisioterapeuta con intención de desestabilizar), y se seguirá añadiendo tareas reactivas (ej: paciente con pelota en mano, cuando el fisioterapeuta de dos palmadas, tendrás que lanzarle la pelota instantáneamente, cuando veas el color blanco en la pantalla del teléfono debes de lanzar la pelota instantáneamente.) Al igual que en el anterior, se progresará a apoyo monopodal	2 series de 1 min	Agua a la altura del ombligo (50% de su peso reducido). Se irá progresando hasta el agua a la altura de la síntesis pélvica (40% de su peso reducido)
Cambios de apoyo reactivos	Se partirá de apoyo monopodal en posición inestable. Se progresará comenzando por tareas cognitivas para que se realice un cambio de apoyo (ej: cuando el fisioterapeuta diga un número par, el paciente cambia la pierna de apoyo), y se seguirá progresando con el sistema visual (se realizará la misma tarea con los ojos cerrados) y con el sistema auditivo (cuando el paciente escuche una palmada, cambiará la pierna de apoyo).	2 series de 10 repeticiones (10 cambios de apoyo)	Agua a la altura del ombligo (50% de su peso reducido). Se irá progresando hasta el agua a la altura de la síntesis pélvica (40% de su peso reducido)

Tabla 26. Tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 2 en fase 4. Fuente: Elaboración propia.

## Ejercicios de propiocepción en agua en fase 5 (Semanas 17-20)

EJERCICIOS	EXPLICACIÓN	DURACIÓN	FLOTABILIDAD
Propiocepción con multitarea	<p>Se comenzará en apoyo bipodal y superficie estable. Se realizará una multitarea, en la que se combinará tareas cognitivas con estímulos externos (ej. cuando el paciente vea una serie de colores en la pantalla del teléfono deberá de tocar la pantalla tan rápido como sea posible, de mientras el fisioterapeuta le estará dando leves empujes para desequilibrar, y el paciente deberá apartar la mano del fisioterapeuta para que el empuje sea lo menos eficaz posible, simulando momentos de juego real.</p>	3 series de 12 repeticiones (12 veces en las que el paciente irá a tocar la pantalla).	Agua a la altura de la sínfisis pública (40% de su peso reducido)
Velocidad de reacción con estímulo auditivo	<p>Se partirá de apoyo bipodal en superficie estable. Se tirará una pelota desde atrás, el paciente tiene que coger la pelota tan rápido como sea posible. Se progresará añadiendo apoyo monopodal, y añadiendo la realización del ejercicio con ojos cerrados, en los que se jugará con el estímulo auditivo dado por el fisioterapeuta.</p>	Se realizarán 3 series de 12 repeticiones	
Control de tronco con tareas cognitivas	<p>Se partirá de apoyo bipodal en superficie inestable. El paciente deberá de seguir de manera visual un objeto (puede ser una pelota, o</p>	3 series de 12 repeticiones (12 empujes)	

	<p>incluso el dedo de una mano), mientras recibe estímulos externos, como son empujes del fisioterapeuta. El paciente deberá de tener un buen control de tronco para no desestabilizarse. Simulamos acción real de juego, en la que el paciente va con la mirada fijada en el balón y recibe un choque.</p>		
Multitarea con estímulo real	<p>El ejercicio será el mismo que el mencionado anteriormente, de propiocepción con multitarea. En este caso, le añadiremos una tarea más (ej. El paciente, cuando vea una serie de colores en la pantalla del teléfono deberá de tocar la pantalla lo más rápido posible, de mientras el fisioterapeuta estará produciendo leves empujes para desequilibrar al paciente, y a su vez este recibirá un pase con la mano por parte de un compañero, por lo que deberá recibir y pasar adecuadamente). El pase podrá ser en cualquier dirección.</p>	<p>Se realizarán 3 series de 10 repeticiones.</p>	

Tabla 27. Tabla de ejercicios de propiocepción del grupo 2 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.

### Ejercicios de potencia en agua

Estos, al igual que los ejercicios de fuerza y propiocepción, serán distintos en cuanto a tiempos en los que se realizarán

### Ejercicios de potencia en agua en fase 4 (Semanas 13-16)

EJERCICIOS	EXPLICACIÓN	DURACIÓN	FLOTABILIDAD
Skipping + saltos	El paciente realizará unos segundos de skipping a baja intensidad, y a la orden del fisioterapeuta realizará un salto bipodal a un cajón.	2 series de 6 repeticiones	
Saltos laterales + aceleraciones + frenadas	El paciente realizará dos saltos laterales bipodales a cada lado, siguiendo de un sprint corto y una frenada al final del sprint.	2 series de 6 repeticiones	Agua a la altura del ombligo (50% de su peso reducido). Se irá progresando hasta el agua a la altura de la síntesis pélvica (40% de su peso reducido)
Saltos unipodales al cajón	El paciente comenzará realizando saltos unipodales en un cajón	2 series de 6 repeticiones	
Saltos unipodales + tarea cognitiva + sprint + frenada	El paciente realizará un salto lateral a cada lado, con una tarea cognitiva (ej. Saltar de mientras que dice el color que sale en la pantalla), cuando realiza los dos saltos realiza un sprint corto seguido de una frenada.	2 series de 6 repeticiones	

Tabla 28. Tabla de ejercicios de potencia del grupo 1 en fase 4. Fuente: Elaboración propia.

### Ejercicios de potencia en agua en fase 5 (Semanas 17-20)

EJERCICIOS	EXPLICACIÓN	DURACIÓN	FLOTABILIDAD
Salto + sprint con COD	El paciente realizará 4 saltos bipodales, y a la orden del fisioterapeuta realizará un cambio de dirección seguido de un sprint	3 series de 6 repeticiones	
Combinación de saltos + sprint multidireccional	El paciente realizará dos triples saltos (2 saltos monopodales a los dos lados + salto bipodal en el sitio) y a la orden del fisioterapeuta realizará un sprint en el que, con otra orden del fisioterapeuta, cambiará de dirección.	3 series de 6 repeticiones	Agua a la altura de la síntesis pélvica (40% de su peso reducido)

Triple salto + sprint + frenada + COD	El paciente realizará un triple salto monopodal hacia delante, seguido de un sprint corto, terminará el sprint con una frenada brusca y hará un cambio de dirección seguido de un sprint corto.	3 series de 6 repeticiones	
Salto bipodal + agilidad + sprint con COD	El paciente realizará 3 saltos bipodales en el sitio, y a la orden del fisioterapeuta saldrá hacia delante haciendo un circuito de zigzag, y seguirá realizando un sprint multidireccional, en el que cambiará dos veces de dirección	3 series de 5 repeticiones	

Tabla 29. Tabla de ejercicios de potencia del grupo 2 en fase 5. Fuente: Elaboración propia.