



Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

**Eficacia de la terapia en el agua frente a la terapia en tierra
en atletas con rotura del tendón de Aquiles**

Alumno: Pablo Barrio Domínguez

Tutor: Dr. Néstor Pérez Mallada

Madrid, mayo de 2025

Tabla de contenido

Índice de tablas	3
Índice de ilustraciones	4
Índice de gráficos	5
Tabla abreviaturas	6
Resumen	7
Abstract	8
1. Antecedentes y estado actual del tema	9
2. Evaluación de la evidencia	19
3. Objetivos	23
4. Hipótesis	24
5. Metodología	25
6. Plan de Trabajo	35
7. Listados de referencias	40
8. Anexos	43

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de abreviaturas. Elaboración propia.	6
Tabla 2 Clasificación desperfectos en la RTA Thompson et al. (1).	11
Tabla 3 Clasificación RTA Thompson et al. (1).	11
Tabla 4. Términos Mesh, DeCS y términos libres empleados para la estrategia de búsqueda. Elaboración propia.	19
Tabla 5. Estrategias de búsquedas en la base de datos de EBSCO. Elaboración propia.	20
Tabla 6. Estrategias de búsquedas en la base de datos de PubMed. Elaboración propia.	21
Tabla 7. Criterios de inclusión y exclusión del estudio. Elaboración propia.	26
Tabla 8. Valor de la K. Elaboración propia.	27
Tabla 9. Variables del estudio. Elaboración propia.	29
Tabla 10. Etapas de desarrollo del estudio. Elaboración propia.	38
Tabla 11. Propiedades mecánicas del agua Rodríguez et al. (20).	43
Tabla 12. Excel de recogida de las mediciones de las variables. Elaboración propia.	51

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Dinamómetro Lido Multi-Joint II. Kangas et al. (34)._____	36
Ilustración 2. Posición decúbito supino con churros de flotación. Rodríguez et al. (20).____	37
Ilustración 3. Flexión y Extensión de dedos. Elaboración propia. _____	54
Ilustración 4. Flexión plantar y dorsiflexión a posición neutra. Elaboración propia._____	54
Ilustración 5. Extensión de rodilla. Elaboración propia. _____	55
Ilustración 6. Flexión de rodilla. Elaboración propia. _____	55
Ilustración 7. Extensión de cadera. Elaboración propia. _____	55
Ilustración 8. Movilización asistida en flexión y extensión de tobillo. Elaboración propia.____	56
Ilustración 9. Inversión y eversión activa tobillo. Elaboración propia. _____	56
Ilustración 10. De pie sobre talones y punta de los pies. Elaboración propia._____	56
Ilustración 11. Dorsiflexión de tobillo contra goma. Elaboración propia._____	57
Ilustración 12. Estiramiento hasta flexión plantar con goma. Elaboración propia._____	57
Ilustración 13. Estiramiento tríceps sural apoyado. Elaboración propia. _____	57
Ilustración 14. Estiramiento de los dedos del pie y el tobillo. Elaboración propia._____	58
Ilustración 15. Elevaciones del talón sobre solo una pierna. Elaboración propia._____	58
Ilustración 16. Flexión plantar contra goma. Elaboración propia. _____	58
Ilustración 17. Pronación del tobillo. Elaboración propia._____	58
Ilustración 18. Supinación del tobillo. Elaboración propia._____	58
Ilustración 19. Mantenerse con las rodillas flexionadas. Elaboración propia. _____	58

Índice de gráficos

Gráfico 1. Flujograma. Elaboración propia. _____ 22

Tabla abreviaturas

Abreviatura	Significado
CI	Consentimiento informado
cm	Centímetros
CoV	Coeficiente de variación
DUMG	Desplazamiento de la unión miotendinosa del gastrocnemio medial
EVA	Escala visual analógica
FIMFP	Fuerza isométrica máxima de flexión plantar
HIP	Hoja de información al paciente
kN	KiloNewton
NFL	National Football League
RMN	Resonancia magnética
ROM	Range of movement (Rango de movimiento)
RTA	Rotura de tendón de Aquiles
RTP	Return to play
s	Segundo
SANE	Single Assessment Numeric Evaluation
TA	Tendón de Aquiles

Tabla 1. Tabla de abreviaturas. Elaboración propia.

Resumen

Introducción:

La rotura del tendón de Aquiles compone el 40% de las roturas tendinosas, siendo más propensa a ocurrir entre los hombres de mediana edad. En el deporte, afecta particularmente a deportistas que practican fútbol, atletismo y baloncesto. Esta lesión se produce particularmente en movimientos excéntricos durante aceleraciones explosivas, contracciones pliométricas, cambios rápidos de dirección y esfuerzos máximos del pie, donde el tendón ha de soportar fuerzas superiores hasta 12 veces el peso corporal. La terapia en el agua se presenta como una alternativa al tratamiento habitual de esta lesión, permitiendo usar las propiedades mecánicas del agua.

Objetivo general:

Comprobar la eficacia de la terapia en el agua frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

Hipótesis:

La terapia en el agua frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles aumenta el rango de movimiento, la fuerza isométrica y la fuerza isocinética a 30, 60 y 120 grados por segundo.

Metodología:

Se realizará un estudio de tipo experimental, analítico, no probabilístico consecutivo, longitudinal y prospectivo. Los sujetos serán derivados de la Real Federación Española de Atletismo y se dividirán en los dos grupos a través de un sistema de sobres opacos.

Las variables dependientes a estudiar serán la fuerza isométrica máxima de flexión plantar la fuerza concéntrica máxima isocinética y el rango de movimiento pasivo de flexión dorsal del tobillo.

Palabras clave: Rotura del tendón de Aquiles, Terapia en el agua, Fisioterapia.

Abstract

Introduction:

Achilles tendon ruptures make up 40% of tendon ruptures, being most likely to occur among middle-aged men. In sport, it particularly affects athletes who play football, athletics and basketball. This injury occurs particularly in eccentric movements during explosive accelerations, plyometric contractions, rapid changes of direction and maximum foot effort, where the tendon has to withstand forces greater than 12 times the body weight. Aquatic therapy is presented as an alternative to the usual treatment of this injury, allowing the mechanical properties of water to be used.

Objective:

To check the effectiveness of aquatic therapy versus ground therapy in athletes with ruptured Achilles tendon.

Hypotheses:

Aquatic therapy versus ground therapy in athletes with ruptured Achilles tendon increases range of motion, isometric force and isokinetic force at 30, 60 and 120 degrees per second.

Methodology:

A pure experimental, analytical, non-probabilistic, longitudinal and prospective study will be carried out. The subjects will be drawn from the Royal Spanish Athletics Federation and will be divided into the two groups through a system of opaque envelopes.

The dependent variables to be studied will be the maximum isometric force of plantar flexion, the maximum isokinetic concentric force and the range of passive motion of dorsal flexion of the ankle.

Keywords: Achilles tendon rupture, Aquatic therapy, Physiotherapy.

1. Antecedentes y estado actual del tema

El tendón de Aquiles (TA) es la porción de tejido conectivo originado en la porción distal del tríceps sural (formado por gastrocnemios y sóleo) que se inserta en el calcáneo. Su longitud es aproximadamente de 15 centímetros (cm) de largo, lo que lo convierte en el tendón más largo y fuerte del cuerpo humano. Alrededor de los 4 centímetros de esta inserción, es donde con mayor frecuencia se presentan las rupturas al no recibir una buena vascularización de la arteria peronea y tibial posterior, y ser la zona más estrecha de éste, ya que presenta una torsión que le permite insertarse. Su inervación proviene de la unión del nervio cutáneo sural medial, proveniente del nervio tibial y el nervio peroneo comunicante, proveniente del nervio peroneo común (1,2).

El tendón de Aquiles pasa por las articulaciones tibioperonea distal y astragalocrural que permite el movimiento de flexo-extensión y la articulación subastragalina que da lugar al movimiento de eversión e inversión (3). La flexión plantar es el movimiento que se produce cuando el TA traslada la fuerza emitida por los músculos que la componen. Este movimiento se realiza en el eje transversal y el plano sagital, y tiene un ROM (Range of movement) establecido como estándar de 10-20° en dorsiflexión y 40-55° en flexión plantar (4).

El TA está diseñado para ser capaz de resistir grandes cargas originadas por el peso corporal y la fuerza generada por la contracción de los músculos, por ejemplo durante la marcha el TA soporta 2,6 kN (kiloNewton), durante saltos estáticos aumenta a 3,8 kN y en carrera soporta fuerzas de hasta 9 kN que supone 12 veces el valor del peso corporal (4).

Las roturas del tendón de Aquiles (RTA) conforman el 10,7% del total de lesiones de tendones y ligamentos y el 40% de las roturas tendinosas. Anualmente se presentan 18 casos cada 100.000 personas en el mundo, principalmente en hombres con una incidencia del 79,2% frente a las mujeres. La media de edad de los hombres se sitúa en los 30 y 39 años, sin embargo la edad de mujeres que más sufren RTA es después de los 60 años, llegando a superar la tasa de RTA de los hombres a la edad de 80 años (1). En el caso de rerruptura se ve aumentado en pacientes inferiores a la edad de 30 años sin distinción de sexo (5,6).

En el 83% de casos ocurren mientras se practica alguna actividad deportiva (1,7). Los factores que encabezan esta lesión son la relación de peso corporal y la fuerza al entrenar, y por ende la intensidad de entrenamiento. Sumado a esto, hay factores relacionados con la ingesta de sustancias no naturales que facilitan que aparezca esta lesión como por ejemplo

el uso de creatina, corticoesteroides y hormonas (2).

Aunque haya una escasa evidencia sobre la tasa de RTA, se ha observado una mayor incidencia en deportistas amateur y de alto rendimiento, viéndose ésta en aumento en los últimos años, sin conocer una causa concreta. Por ejemplo, en Escocia se realizó un estudio con 4 años de diferencia, que mostró un aumento de 4,7 RTA a 6 cada 100.000 personas. Destacan diferentes deportes en el estudio de Thompson et al. (1) que concluye que se produce RTA en su muestra de 292 deportistas amateur, siendo el 33,5% jugadores de fútbol, el 16,3% atletas y el 13% jugadores de baloncesto. Cuanto más alto es el nivel de competición más se produce esta lesión, precisamente en deportes de carrera. En un estudio de 455 atletas, el 53% padecían trastornos en el TA. También determinaron que había más prevalencia de RTA y de su rerruptura en personas con grupo sanguíneo 0, el TA izquierdo era el que más sufría rotura.

El mecanismo lesional más frecuente RTA en atletas se dan en movimientos excéntricos durante aceleraciones explosivas, contracciones pliométricas, cambios rápidos de dirección y esfuerzos máximos del pie, debido a la sobrecarga o desequilibrio neuromuscular (8). Mientras que en la población no deportista suelen suceder mientras se producen caídas o en su defecto tropiezos, aún así tienen en común la influencia de las aceleraciones y deceleraciones de este tendón (9,10).

El diagnóstico de la RTA se basa en una anamnesis para conocer datos sobre traumatismos previos o factores predisponentes para la lesión de tendones como la diabetes mellitus o patología arterioperiférica. La sensación de dolor y la cronología de éste, también serán relevantes. Además existen test exploratorios que ayudan a confirmar la RTA, como por ejemplo el test de Thompson y el test de Matles. Pero la prueba diagnóstica diferencial que confirma la rotura son la ecografía y la resonancia magnética (RMN) (3).

En cuanto al “return to play” (RTP) en el ámbito de los atletas de élite, entre un 61% y un 82% de atletas retoman su carrera deportista. Y sólo el 60% de los atletas afectados de RTA regresan al mismo nivel justo antes de sufrir la lesión. El RTP es considerada la última etapa de la fisioterapia y tiene una gran importancia, ya que supone un gran estrés psicológico para el atleta, este deseará volver cuanto antes, lo que puede provocar que se lesione de nuevo. La media de días que tarda un atleta en completar el RTP es de 169 días, sin embargo la recuperación completa del tejido conectivo del TA tiene una duración mínima de 12 meses (8,11,12).

Entre 1997 y 2002 se recogieron 31 casos de RTA en la National Football League (NFL). De los 31 casos, 10 nunca pudieron volver a salir a jugar al campo y el resto, pudieron volver a la competición haciéndolo con una reducción de rendimiento de más del 50% (1).

Para clasificar las RTA Thompson et al. describieron las siguientes tablas

Tipo 1	Desperfecto de 1-2 cm
Tipo 2	Desperfecto de 2-5 cm
Tipo 3	Desperfecto mayor de 5 cm

Tabla 2 Clasificación desperfectos en la RTA Thompson et al. (1).

Tipo 1	Desgarros parciales menores del 50%
Tipo 2	Roturas completas de menos de 3 cm
Tipo 3	Roturas completas de 3 a 6 cm
Tipo 4	Roturas completas de más de 6 cm

Tabla 3 Clasificación RTA Thompson et al. (1).

Existen dos principales tratamientos para una lesión de RTA. Por un lado existe el tratamiento conservador, consistiendo en una inmovilización con yeso en posición equina acortando el TA para favorecer la regeneración de las fibras del tendón sin carga, en un periodo de 4 a 9 semanas, junto a una rehabilitación funcional temprana, comúnmente usado en personas poco activas o personas de la tercera edad, evitando así posibles complicaciones de una cirugía abierta y el post-operatorio. Se promueve la inmovilización en posición equina porque en extensión perjudica notablemente al tejido muscular y produciendo atrofia, ya que las fibras musculares se adaptan rápidamente a su nueva longitud y disminuye el número de sarcómeros, principalmente el sóleo al tener una gran cantidad de fibras tipo 1, encargadas de mantener la postura. Sin embargo los gastrocnemios no sufren tanta adaptación, ya que participan en la flexión de la rodilla al originarse en el fémur (1,13-15).

Y por otro lado, para personas activas o jóvenes es más utilizada la cirugía, bien con anastomosis del TA (16) o transposición del flexor profundo del dedo gordo o del peroneo corto (14), o bien con reparación percutánea (13). Estas opciones reducen el riesgo de rerruptura y una vuelta a la actividad deportiva más rápida (17).

En los últimos años se ha estudiado cuál de los tratamientos podría ser más beneficioso. Se ha demostrado que tanto el tratamiento con cirugía como el tratamiento conservador, son igual de efectivos en cuanto a la tasa de rerruptura del TA, mientras haya un protocolo de carga temprana (18).

El tiempo desde que se realiza la intervención quirúrgica hasta que se empieza la intervención de fisioterapia, puede alcanzar hasta las seis o siete semanas en atletas de élite, ya que en algunos casos el tobillo se coloca en un yeso flexión plantar tras una reparación percutánea. Este transcurso de tiempo reduce la masa muscular del tríceps sural, y se ve disminuida la fuerza isométrica máxima de flexión plantar (FIMFP) (13). Jallegas et al. (6) describe cómo en su muestra de 30 atletas profesionales, independientemente del método quirúrgico elegido, hubo un descenso de 13 a 25 milímetros del perímetro de la antepierna, lo que supone un descenso del 19% de la fuerza en el movimiento de flexión plantar activo a velocidades de 30°/segundo (s) y 120°/s.

En cuanto al tiempo de baja por enfermedad y RTP, sí hay una diferencia significativa en los pacientes tratados con cirugía, siendo significativamente un tiempo menor. Sin embargo, los pacientes tratados quirúrgicamente frente a los pacientes con tratamiento conservador, tuvieron una tasa mayor de complicaciones de infección, alteración de la sensibilidad y adherencia de la cicatriz entre otras complicaciones. Por ello, se están empezando a realizar cirugías mínimamente invasivas, que demuestran poder evitar las posibles complicaciones (8).

Añadiendo a las opciones quirúrgicas, la mayoría de estudios muestran la necesidad de un tratamiento de fisioterapia que lo complemente, sin embargo, no existe un protocolo consensuado y claro sobre el tratamiento de fisioterapia que se debe seguir en casos de RTA. Frankewycz et al. (19) estudiaron 213 instituciones sanitarias, siendo el 89.67% hospitalares, mientras que el resto eran clínicas. De estas 213 instituciones, 9 de ellas no ofrecen ningún protocolo de fisioterapia tras el tratamiento conservador o quirúrgico de RTA, y 87 ofrecen el mismo protocolo de tratamiento ya sea quirúrgico o conservador. Todos ellos siguen un patrón común que consiste en la restricción de carga y de ROM en flexión plantar del tobillo afecto.

En estadios tempranos, la restricción de carga era limitada a una carga parcial de peso descrita como el contacto del pie con el suelo, siendo ésta, aproximadamente de 20 kilogramos. Por otro lado, el ROM era restringido en los grados de -10° a +10°, o inmovilizado a 30° de flexión plantar. Estos grados podían variar mínimamente dependiendo de la institución. Todos los protocolos estudiados, convergen en la progresión de estas restricciones para poder alcanzar la máxima funcionalidad, no obstante, divergen sobre el tiempo que debe seguir el paciente para progresar en los grados de ROM y el aumento de carga. El 78,2% de los protocolos recomendaban en la sexta semana la carga total de peso y en cuanto al ROM sólo un protocolo recomendaba un ROM totalmente libre. Esto puede suponer una pérdida de la fuerza muscular anteriormente mencionada (19%). Además ningún protocolo comenta la

intensidad ni duración de fisioterapia que se debe realizar, y la media de tiempo con el que se suele empezar el tratamiento de fisioterapia suele ser de 3 semanas (6,19).

La terapia en el agua consiste en el uso terapéutico de las diferentes propiedades mecánicas llevadas a cabo por el profesional de la salud, para perpetuar o restablecer la función dañada por la patología. Proviene de la hidroterapia, que recoge todo tipo de terapias que involucren el agua para obtener un beneficio. En un principio, se puede pensar que son lo mismo, sin embargo existe una puntuación que demuestra que la terapia en el agua va más allá. La principal diferencia reside en que la hidroterapia primariamente, utiliza las propiedades físicas (temperatura y presión con la que el flujo de agua es expulsado), mientras que la terapia en el agua utiliza las propiedades mecánicas (Anexo I) (20).

Además, al ser un medio acuático, es posible modificar la temperatura para conseguir un amplio abanico de beneficios. El agua fría (entre 10 y 15 grados centígrados) provoca la vasoconstricción que reduce la inflamación, aumenta el umbral del dolor y está indicada en la recuperación posterior al ejercicio para procesos de fatiga muscular. El agua templada (entre 26 y 30 grados), es utilizada para el acondicionamiento cardíaco, ejercicio de elevada intensidad, patología medular y patología musculo esquelética. El agua caliente (entre 36 y 41 grados), provocará la vasodilatación y por ende, el aumento del aporte sanguíneo a las zonas sumergidas. También tendrá efectos analgésicos y aumentará la capacidad viscoelástica de los tejidos (20). Adicionalmente se ha demostrado que la inmersión en agua caliente, puede llegar a aumentar la fuerza isométrica máxima (21). Sin embargo, en la terapia acuática, el valor de la temperatura dentro del agua deberá oscilar entre los 32 y 35 grados, considerado como una temperatura indiferente (22).

El uso del agua como terapia, se remonta desde la antigua Grecia y la antigua Roma, utilizando los balnearios como centros de curación (20). En la actualidad, tiene un gran uso en patología neurológica y pediátrica, debido a que la inmersión está íntimamente relacionada con el descenso de la actividad del sistema nervioso simpático y con el “efecto priming” que impulsa el aprendizaje (23). No obstante, se puede apreciar la proliferación de este tratamiento de fisioterapia en multitud de patologías, como en operaciones de rodilla, hombro y cadera o patología musculo esquelética, donde se consolida como una terapia segura y efectiva (24,25).

La terapia en el agua, está indicada en la mayoría de patologías, sin embargo, existen ciertas contraindicaciones a tener en cuenta. El mayor riesgo se basa en el riesgo de infección y de su transmisión de enfermedades tópicas. Por otra parte, se debe tener precaución con

personas con dificultad para termorregularse correctamente o personas con alteraciones de la tensión no controladas. Es por ello, que se recomienda una buena valoración inicial para evitar posibles accidentes. Otras patologías a tener en cuenta son la incontinencia fecal o urinaria y pacientes requirentes de ventilación mecánica o con traqueotomía, en las que se debe evaluar si el beneficio es mayor que el riesgo (20).

Para los atletas, tiene muchos beneficios, por ejemplo en la mejora de la capacidad respiratoria, el agua dificulta la capacidad vital del sistema respiratorio en un 60% en reposo a la altura del cuello, ya que la presión hidrostática comprime la caja torácica. El aumento de demanda exigida dentro del agua progresó exponencialmente con la frecuencia respiratoria, por lo que los músculos inspiratorios se verán sometidos a una carga mayor, sin embargo este tipo de entrenamiento, sólo es eficaz en atletas que su deporte no esté relacionado con la inmersión, ya que se ha comprobado que en nadadores, no existe un aumento de la capacidad respiratoria, ya que se alcanza un techo del efecto terapéutico al entrenar inmersos en el agua (26).

La terapia en el agua emplea la propiedad del peso aparente, para disminuir el peso corporal y conseguir así integrar patrones correctos de activación muscular, y poder empezar el tratamiento de fisioterapia anticipadamente. Además, proporciona al paciente una disminución de la sensación de inseguridad, que puede causar algunas lesiones. Esta sensación de libertad del movimiento, supone un aumento de la autoestima del paciente y experimenta una necesidad de autosuperación (27). La capacidad de iniciar el tratamiento de fisioterapia antes que el tratamiento habitual e iniciar el apoyo temprano junto a la ganancia de ROM en fases agudas, reduce la posibilidad de una rerruptura del TA, ya que la inmovilización podría causar infecciones, adherencias y disminución de la elongación del TA (5,18).

A continuación, se muestra una tabla que indica el peso aparente en porcentaje gracias a la inmersión en el medio acuático, dependiendo del nivel anatómico indicado:

Nivel anatómico inmerso	Peso aparente
Síntesis pública	60% del peso corporal
Ombligo	50% del peso corporal
Apófisis xifoides	25% del peso corporal
Manubrio esternal	10% del peso corporal

Tabla 3 Peso aparente según la altura de inmersión Rodríguez et al. (20) y Pipino et al. (28).

Para los tendones, la terapia acuática es útil, ya que esta intervención puede actuar desde la fase aguda, estimulando la oxigenación del tejido, mejorando la movilidad articular, favoreciendo el drenaje de catabolitos, disminuyendo la presión sanguínea y estimulando los receptores propioceptivos para estimular el equilibrio y la coordinación. Además, el estímulo de estrés controlado, fomenta una fase proliferativa, acelerando la formación de colágeno en un correcto orden estructural. Este tratamiento es adaptado e individualizado a cada paciente, debido a las diferentes demandas y condiciones físicas y ambientales. Por lo que no conllevaría riesgos y originaría una sensación de auto-superación, reestableciendo la funcionalidad (20,28,29).

Por el momento, para el tendón de Aquiles existe el artículo de Hidd et al. (30) que consiste en un estudio, en el que mediante un proceso quirúrgico, aplican un polímero de fibrina en la lesión de RTA en roedores. Este método, es comparado con la terapia en el agua. Dividieron en cuatro grupos a los roedores, grupo control, grupo que aplicaban el polímero de fibrina, otro grupo que realizaba ejercicio acuático y el cuarto que mezclaban las dos intervenciones. Concluyen que no hay diferencias significativas entre el uso del polímero y la terapia en el agua, pero cuando se combinan, hay una aceleración del proceso de recuperación del tendón calcáneo.

En el estudio de Dufournet et al. (24) comparan la terapia acuática frente al tratamiento en tierra en pacientes operados quirúrgicamente del manguito rotador. Para el grupo intervenido con terapia acuática, debían realizar bajo supervisión del fisioterapeuta, ejercicios pasivos asistidos y progresar a movimientos activos en el transcurso de 3 semanas. En el grupo intervenido con el tratamiento de fisioterapia en tierra, se practicó un tratamiento similar de ejercicios pasivos y activos asistidos por un fisioterapeuta durante el mismo tiempo que el anterior grupo. No se mostraron diferencias significativas, entre el grupo de terapia en el agua y el grupo en tierra en cuanto a ROM ni dolor. La única diferencia encontrada, fue en el Single Assessment Numeric Evaluation (SANE), que se basa en una escala subjetiva del 0 al 100 en la que el 0 expresa una función nula del hombro, y el 100 una función excelente, el grupo intervenido con terapia acuática refería un valor significativamente mayor al de terapia en tierra.

Pipino et al. (28) estudiaron las diferencias entre los dos tipos de terapia en pacientes con rotura de ligamento cruzado anterior. Al igual que en el estudio anterior, el grupo intervenido con terapia en el agua, muestra valores mayores en funcionalidad y ROM y valores menores en la escala visual analógica (EVA), pero no hay diferencias estadísticamente significativas que confirmen que una de las terapias es más eficaz que la otra.

Serra et al. (31) comparan múltiples estudios, en los que se compara la terapia en el agua frente a la terapia en tierra, para trastornos músculo esqueléticos lumbares, que incluían hombres y mujeres de edades similares. La duración de la intervención varía entre 4 y 12 semanas. En los grupos experimentales (terapia en el agua), se observa una mejora de la función, dolor en la EVA, calidad de vida y ROM a corto plazo respecto al tratamiento en tierra. Sin embargo, a medio y largo plazo, no se observan diferencias entre los dos grupos, lo que sugiere que una combinación de ambas terapias, resultaría más efectiva que la elección de una de ellas.

De la Fuente et al. (32), realizaron un estudio sobre los beneficios del apoyo temprano en futbolistas reparados del TA, frente a la opción conservadora de 4 semanas de reposo. Se midió el desplazamiento de la unión miotendionosa del gastrocnemio medial (DUMG), refiriéndose a cambios que puedan alterar la readaptación funcional, ya que se observó mediante RMN de contraste, que en la opción conservadora se producía una mayor velocidad de activación y desplazamiento del gastrocnemio interno, con respecto a los flexores profundos de los dedos, es decir, una sinergia patológica, mientras se realizaban contracciones isométricas submáximas a las 13 semanas después de la inmovilización. La FIMFP también fue medida, ya que esta fuerza se ve disminuida por la inmovilización y la falta de carga.

Se realizaron ejercicios concéntricos de flexión plantar en cadena cinética abierta sin carga, progresando semanalmente. Además, para evitar la compensación del gemelo interno anteriormente explicada, se realizaron ejercicios en cadena cinética abierta para fortalecer el flexor profundo de los dedos y el flexor profundo del primer dedo, retroalimentándolos en las dos primeras semanas de rehabilitación por un fisioterapeuta. Las primeras mediciones realizadas a la cuarta semana, destacaban la diferencia de FIMFP del grupo de apoyo temprano, ya que el otro grupo, debía estar en reposo. Esto resultó que en el grupo de apoyo temprano, desarrollaron en estas primeras semanas, una cicatriz correctamente organizada vista gracias a la RMN. Este artículo, concluye que el apoyo temprano y la intervención de fisioterapia inmediata a las 12 semanas, obtiene un mejor índice de la DUMG, lo que genera una correcta sinergia muscular y evitará la adaptación patológica y el excesivo estrés que puede sufrir el TA en la opción conservadora. Con relación a la FIMFP a las 12 semanas, no se encuentran diferencias significativas entre los dos grupos, pero si encontraron diferencias en la atrofia de la antepierna sufrida por el grupo conservador (32).

En el estudio de Aoki et al. (15), muestran que el apoyo temprano acelera el proceso de reparación tisular y una correcta cicatrización del TA. Definieron el apoyo temprano como cargar un cuarto del peso corporal, este, fue llevado acabo a los 9 días desde la operación ya que los sujetos consiguieron alcanzar un ROM de 0º gracias a ejercicios activos no especificados para su aumento. Alcanzadas las dos semanas y sin síntomas de molestia, los individuos fueron autorizados a cargar el peso corporal en su totalidad. Esta serie de pautas proporcionó que a las 6 semanas consiguieron el ROM completo de flexión y dorsiflexión.

En gran medida, la falta de fuerza de flexión plantar es un factor que se interpone para lograr la recuperación total del paciente con RTA, por esta razón Saab et al. (33) describen en su artículo como medir esta fuerza. Como se ha mostrado anteriormente, el tipo de contracción más usado en los estudios es la FIMFP. Las mediciones fueron realizadas mediante el dinamómetro MicroFET 2, colocado bajo las cabezas metatarsianas. Este dinamómetro mide la máxima fuerza de flexión plantar desde los 3.6 Newton (N) hasta 1334.5 N. El paciente se coloca en supino con el tobillo en 0 grados de dorsiflexión medido con goniómetro y la rodilla totalmente extendida. Las contracciones fueron realizadas contra una superficie dura. Se midieron 3 veces la fuerza máxima ejercida por el sujeto a estudiar con descansos de un minuto, se realizó en los dos lados. La FIMFP en el lado operado fue significativamente menor siendo la diferencia media de 37 Newton.

En el estudio de Kangas et al. (34) midieron la FIMFP y la fuerza isocinética en N para comprobar las diferencias entre la movilización temprana (grupo 1), y la inmovilización (grupo 2) en roturas del TA. El grupo 1, podía realizar la flexión plantar completa y conseguir los 0º de dorsiflexión gracias a un yeso dorsal, sin embargo, el grupo 2 tuvo que permanecer con un yeso menos permisivo durante 6 semanas. Se permitió a ambos grupos la carga total del peso corporal a las 3 semanas. El protocolo de ejercicio se basó en efectuar de 10 a 25 repeticiones, divididas en 3 series para cada ejercicio propuesto tres veces al día. El grupo 1 comenzó con movilizaciones activas precoces mientras que el grupo 2 realizó contracciones concéntricas de flexores y extensores de tobillo. Además los dos grupos llevaron acabo ejercicios activos de miembros inferiores. A las 3 semanas el número de series realizadas se vio ampliada. En la sexta semana se incorporaron ejercicios de rotación de tobillo, movilizaciones contra resistencia, mantenerse de pie encima de los dedos y de los talones. En la novena semana se integraron estiramientos. Y en el tercer mes se fomentó salir a correr y tras seis meses cualquier deporte. La variables de fuerza fueron medidas con el dinamómetro Lido Multi-Joint 2. Colocaron al paciente en decúbito supino, evaluaron ambos miembros inferiores. En la medición de la fuerza isocinética el recorrido evaluado fue de -20º a 40º de flexión plantar, la velocidad de las 5 contracciones máximas ejercidas fueron establecidas de 60º/s, 120º/s y

180°/s. La fuerza isométrica fue medida con la máxima contracción ejercida en posición neutral.

Los resultados mostrados son el porcentaje de diferencia de fuerza isocinética comparado con el lado contrario, a los 3 meses la diferencia fue de 20,8% a 60°/s, 17,9% a 120°/s y 5,9% a 180°/s en el grupo 1, mientras en el grupo 2 los resultados fueron de 26,6% 24,9% y 12,4% correlativamente. A los 3 meses las mediciones fueron de 3,5%, 5,3% y 1,4% en el primer grupo. Por el contrario en el segundo grupo la diferencia de fuerza isocinética fue de 6,6%, 7,8% y 3,6%. La FIMFP sólo fue medida a los 3 meses dando como resultado 25,2% en el grupo 1 y 24,1% en el grupo 2. La diferencia fue significativamente menor en el grupo 1 lo que demuestra la necesidad de establecer un protocolo de apoyo temprano en RTA (34).

Pérez et al. (35) analizaron los factores biomecánicos de lesiones de rodilla en jugadores de baloncesto, para ello, estudian la fuerza isocinética del tobillo a velocidades de 30, 90 y 120 grados por segundo con 3, 5 y 10 repeticiones respectivamente y la fuerza de la rodilla a 30, 120, y 180 grados por segundo con las mismas repeticiones que en el tobillo. Entre cada una de las mediciones, los sujetos debían descansar 1 minuto entre cada test, el cambio entre los test de rodilla y tobillo se realizó sin descanso. Encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres en la rodilla en los valores de fuerza y trabajo pero no en el tobillo.

Otro factor es el ROM, en el estudio de Martin et al. (36) exponen que cuanto mayor sea este, mayor será la funcionalidad del tobillo, es por eso que, analizan la manera más eficaz de medir el ROM de tobillo, se describen diferentes posiciones y puntos anatómicos para medirlo. Las más utilizadas son en supino o prono con la rodilla extendida, aunque diferentes autores difieren y posicionan al paciente en supino con la rodilla flexionada 90°. Para las referencias anatómicas, la más común es la tibia y el quinto metatarsiano. El instrumento utilizado es el goniómetro estándar asumiéndose la probabilidad de error que tiene. Aún así, no hay ninguna forma estandarizada y permiten a cada investigador utilizar el método más oportuno.

2. Evaluación de la evidencia

2.1. Estrategia de búsqueda

Los términos que se muestran a continuación, han sido elegidos para formar la estrategia de búsqueda de este trabajo. Los tesauros MeSH y DeCS fueron empleados para realizar una búsqueda más precisa. Para aquellos términos que no tienen estipulado un término controlado en los tesauros, se ha empleado el término libre correspondiente. Las búsquedas bibliográficas fueron realizadas entre en 24 de noviembre de 2024 y el 10 de enero de 2025.

Términos en español	Número asignado	Termino en inglés	Términos DeCS	Términos Mesh	Términos Libres
Tendón de Aquiles	1	Achilles tendon	Achilles tendon	Achilles tendon	Achilles tendon
Tendón	2	Tendon	-	Tendons	Tendon
Cirugía de tendón de Aquiles	3	Achilles tendon surgery	-	Achilles tendon surgery	Achilles tendon surgery
Rotura de tendón de Aquiles	4	Achilles tendon rupture	-	-	Aquiles tendon rupture
Lesiones del tendón	5	Tendon injuries	-	Tendon injuries	Tendon injuries
Deportistas	6	Ahtletes	Athletes	Athletes	Athletes
Terapia en el agua	7	Aquatic therapy	Aquatic therapy	Aquatic therapy	Aquatic therapy
Fuerza muscular	8	Muscle strength	Muscle strenght	Muscle strength	Muscle strength
Rango de movimiento	9	Range of movement	Range of motion	Range of motion, Articular	Range of movement
Cirugía	10	Surgery	Orthopedic procedures	General surgery	Surgery
Tratamiento habitual	11	Usual treatment	Physical therapy modalities	Physical therapy modalities	Usual treatment
Epidemiología	12	Epidemiology	Epidemiology	Epidemiology	Epidemiology

Tabla 4. Términos Mesh, DeCS y términos libres empleados para la estrategia de búsqueda. Elaboración propia.

2.2. Resultados

-EBSCO

En este buscador de citas bibliográficas se utilizaron las bases de datos de: Academic Search Complet, Medline Complete, CINAHL Complete y E-Journals.

Estrategia de búsqueda	Resultados encontrados
4 AND 2 AND 6	12
5 AND 1	1
4 AND 3	20
2 AND 8AND 6 AND 9	8
5 AND 8 AND 3	2
4 AND 2 AND 7	7
5 AND 7 AND 3	3
5 AND 4 AND 6	9
10 AND 2 AND 4	41
11 AND 5	1
12 AND 5	3
3 AND 5	20
11 AND 4 AND 9	2
12 AND 9 AND 4 AND 6	4
12 AND 7 AND 9 AND 4 Límite (<5 años)	14

Tabla 5. Estrategias de búsquedas en la base de datos de EBSCO. Elaboración propia.

No se ha utilizado ningún límite en el resto de combinaciones de búsqueda ya que la escasa literatura proporcionada por las bases de datos impiden su uso.

-Pubmed

Añadiendo a la búsqueda bibliográfica elaborada en la base datos EBSCO, se incorporan las búsquedas realizadas en PubMed, con el fin de tener una amplia cantidad de artículos.

Estrategia de búsqueda	Resultados encontrados
4 AND 2 AND 6	3
5 AND 1	1
4 AND 3	1
2 AND 8 AND 6 AND 9	0
5 AND 8 AND 3	0
4 AND 2 AND 7	7
5 AND 7 AND 3	0
5 AND 4 AND 6	0
10 AND 2 AND 4	0
11 AND 5	1
12 AND 5	4
3 AND 5	1
11 AND 4 AND 9	2
12 AND 9 AND 4 AND 6	4
12 AND 7 AND 9 AND 4	1

Tabla 6. Estrategias de búsquedas en la base de datos de PubMed. Elaboración propia.

No se ha utilizado ningún límite por la misma razón que en la base de datos EBSCO.

2.3. Flujograma

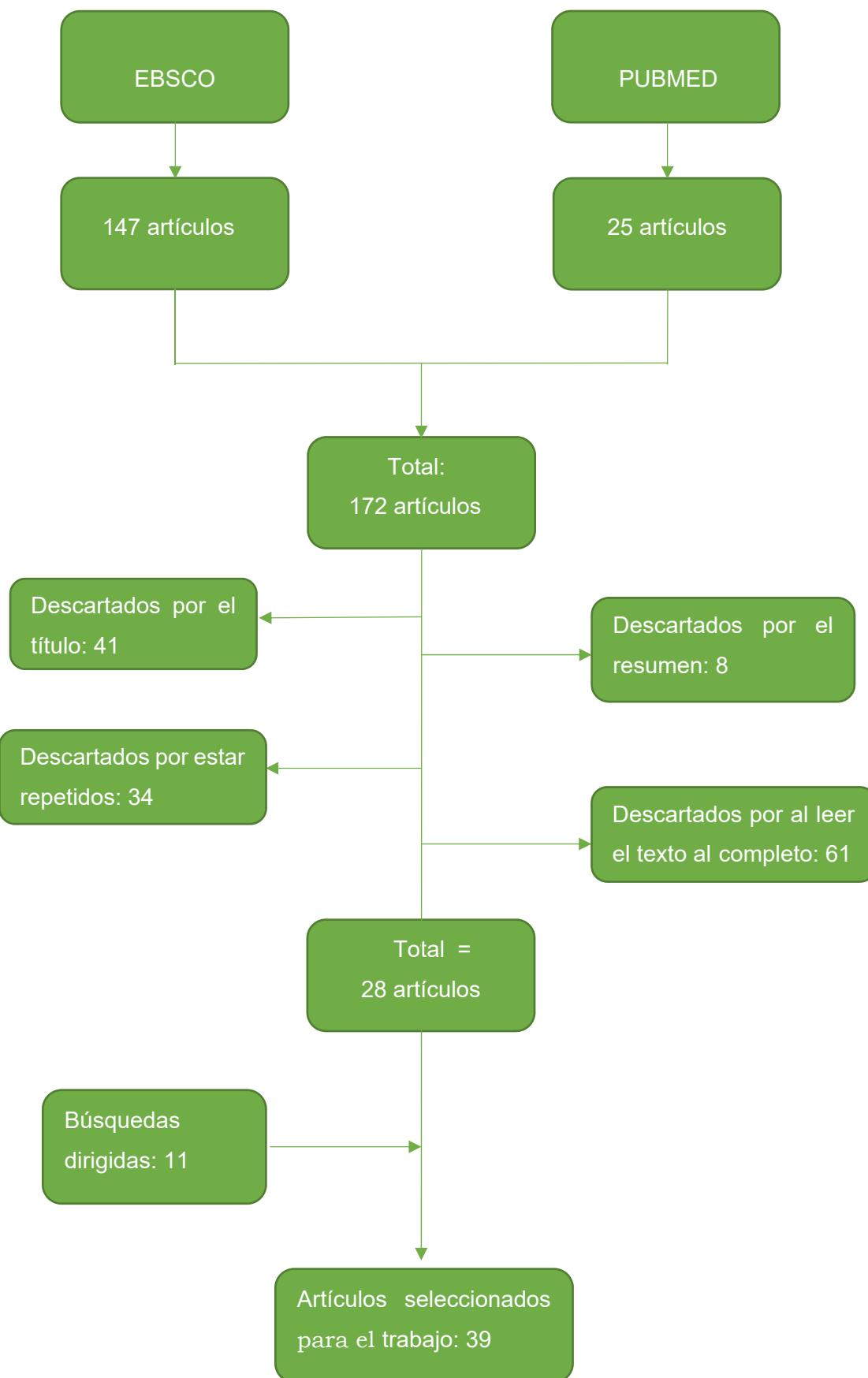


Gráfico 1. Flujograma. Elaboración propia.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Comprobar la eficacia de la terapia en el agua frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

3.2. Objetivos específicos

-Comprobar los cambios en la fuerza concéntrica máxima isocinética 30º/segundo de flexión plantar aplicando terapia acuática frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

-Comprobar los cambios en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 60º/segundo de flexión plantar aplicando terapia acuática frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

-Comprobar los cambios en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 120º/segundo de flexión plantar aplicando la terapia acuática frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

-Comprobar los cambios en la fuerza isométrica máxima de flexión plantar, aplicando la terapia acuática frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

- Comprobar los cambios en el rango de movimiento pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural aplicando la terapia acuática frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

4. Hipótesis

La terapia en el agua frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles aumenta el rango de movimiento, la fuerza isométrica y la fuerza isocinética a 30, 60 y 120 grados por segundo.

5. Metodología

5.1. Diseño

El estudio que se realizará será analítico ya que tiene como finalidad evaluar la relación causal entre un factor y un efecto, será realizado a través de un estudio experimental (ensayo clínico aleatorizado) gracias a un sistema de aleatorización simple por sobres opacos. El estudio contará con un ciego modificado, el cuál será el analista de los datos, esto evitará los posibles sesgos que se pudieran dar lugar al tratar los datos obtenidos. No será posible cegar al paciente ya que en la hoja de información al paciente deberán ir escritos de manera precisa las diferentes intervenciones que se realizarán. Al investigador tampoco es posible cegarle ya que será conocedor de las diferentes terapias. La elección del diseño con estas características tiene el fin de encontrar los cambios en los atletas entre las diferentes intervenciones propuestas. Las mediciones serán realizadas antes de comenzar la intervención y tras haber completado la intervención (pre-tratamiento y post-tratamiento) por lo que será un estudio no probabilístico consecutivo, longitudinal y prospectivo.

Los sujetos del estudio serán separados en 2 grupos :

El grupo 1 formará el grupo control y realizarán la terapia en tierra.

El grupo 2 formará el grupo de intervención que realizarán la terapia en el agua.

Para realizar el estudio, será imprescindible obtener la autorización del Comité Ético de Investigación Clínica (Anexo II). Por lo que se deberá gestionar previamente dicha solicitud al Hospital Universitario de Getafe. El estudio seguirá en todo momento los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos declarados en Helsinki en 1964, con el fin de regular la ética en la investigación clínica, asegurando que existe responsabilidad e integridad moral por parte del investigador.

Antes de comenzar el estudio los sujetos del mismo deberán ser informados de los objetivos, métodos, beneficios previstos y potenciales peligros del estudio a través de la HIP (hoja de información al paciente) (Anexo III). Los sujetos que quieran participar deben firmar el CI (consentimiento informado) (Anexo IV). Este será libre de abstenerse a participar en el estudio y de retirar su consentimiento en cualquier momento que dure el estudio a través de la hoja de revocación (Anexo V). Se cumplirá en todo momento la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales ya que se dispondrán de dos bases de datos para asegurarlos.

5.2. Sujetos de estudio

Los sujetos que formarán parte del estudio serán atletas que hayan sido diagnosticados de RTA bajo las pruebas de diagnóstico por imagen de ecografía o RMN. La existencia de criterios de inclusión y exclusión en el estudio nos ayudará a que la muestra (estudio no probabilístico consecutivo) sea lo más homogénea posible.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Sexo masculino	Intervenido de cirugía de RTA en más ocasiones
Mayor de edad	Uso de medicación analgésica
Capacidad de comunicarse en la lengua castellana, o, sino es posible, en inglés	Uso de medicación que intervenga para la cicatrización del tendón
Atleta inscrito en la Real Federación Española de Atletismo	Lesiones concomitantes graves
Diagnosticado de RTA por un médico bajo ecografía o RMN	Enfermedades o infecciones cutáneas
Operados por reparación percutánea en las últimas 4 semanas	Contraindicaciones de la terapia en el agua
Sin operaciones previas de tobillo	Rotura músculo tendinosa

Tabla 7. Criterios de inclusión y exclusión del estudio. Elaboración propia.

El tipo de muestreo con el que se realizará el estudio será no probabilístico consecutivo, debido a que los pacientes se irán introduciendo al estudio según la federación nos derive a los pacientes.

El cálculo del tamaño de la muestra se realizará a través de la fórmula utilizada en estudios que comparan dos grupos, comparando sus proporciones y sus medias. El tamaño de la muestra depende de el nivel de confianza, la potencia, la magnitud de la diferencia y de la varianza.

$$n = \frac{2K \times SD^2}{D^2}$$

n = tamaño de la muestra.

K = es una constante, esta se calcula a través del nivel significación (α) y el poder estadístico ($1-\beta$).

SD = desviación típica.

d = precisión.

En nivel de significación será de $\alpha=0,05$. Si rechazamos la hipótesis nula cuando es verdadera cometemos un error de tipo I. La probabilidad de cometer este error es α . El α de 0,05 significa que estamos dispuestos a aceptar una probabilidad del 5% de estar equivocándonos al rechazar la hipótesis nula, a este error tipo I se le conoce como falso positivo. Por lo tanto nuestro nivel de confianza será $1-\alpha$, es decir 0,95. Esto significa que hay un 95% de posibilidades de no cometer un error tipo I.

La potencia es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es falsa, esta potencia tiene un valor de 0,80 ($1-\beta$).

El valor de la K lo obtenemos a través de la siguiente tabla:

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

Tabla 8. Valor de la K. Elaboración propia.

La magnitud de la diferencia es la variación observada entre los dos grupos del estudio, es decir, indica cuán grande es la diferencia de los resultados. Y la varianza es utilizada para observar diferencias si los sujetos son parecidos dentro de cada grupo. Para calcular el tamaño de la muestra deberemos realizar la ecuación anteriormente mencionada para cada variable de nuestro estudio. Y para calcular la precisión en las variables medidas con dinamometría, utilizaremos el coeficiente de variación (CoV), que es el 10% de la media de la variable (37).

Para la variable FIMFP, nos basaremos en el estudio de De la Fuente et al. (32), en el que la desviación típica es igual a 64,8 y la precisión la calculamos a través del 10% de la media, en este caso 16,25.

$$n = \frac{2K \times SD^2}{D^2} = 248,06$$

El tamaño de la muestra para esta variable será de 249 sujetos.

Para la variable del ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural, nos basaremos en el estudio de Fouad et al. (38), en el que la desviación típica es igual a 3,22 y la precisión, la calculamos al restar las medias de pre-tratamiento y post-tratamiento, por lo que nos da una precisión de 7,06.

$$n = \frac{2K \times SD^2}{D^2} = 3,24$$

El tamaño de la muestra en esta variable será de 4 sujetos.

Para la variable de fuerza máxima concéntrica isocinética a 30º/segundo de flexión plantar, nos basaremos en el estudio de Pérez et al (35), en el que la desviación típica es igual a 28,6 y la precisión, calculado por el 10% de la media, en este caso 12,28.

$$n = \frac{2K \times SD^2}{D^2} = 84,53$$

El tamaño de la muestra en esta variable será de 85 sujetos.

Para la variable de fuerza concéntrica máxima isocinética a 60º/segundo de flexión plantar, nos basaremos en el estudio de Kangas et al. (34), en el que la desviación típica es igual a 28,4 y la precisión, calculado por el 10% de la media, en este caso 11,52.

$$n = \frac{2K \times SD^2}{D^2} = 94,81$$

El tamaño de la muestra en esta variable será de 95 sujetos.

Para la variable de fuerza concéntrica máxima isocinética a 120º/segundo de flexión plantar, nos basaremos en el estudio de Kangas et al. (34), en el que la desviación típica es igual a 22,5 y la precisión 8,66.

$$n = \frac{2K \times SD^2}{D^2} = 105,31$$

El tamaño de la muestra para esta variable será de 106 sujetos.

La variable que mayor tamaño de muestra tiene es la FIMFP con una muestra de 249 sujetos para cada grupo, lo que hace una muestra del proyecto de 498. Adicionalmente, añadiremos un 10% extra de sujetos de estudio para poder paliar las posibles pérdidas

durante la realización del proyecto. Por lo que la muestra final tendrá 548 sujetos (n=548).

Esta muestra se dividirá equitativamente entre los dos grupos (grupo control y terapia en el agua), es decir, cada grupo constará de 274 sujetos. Una vez conocido el tamaño de la muestra, para el sistema de aleatorización del estudio (por sobres opacos), depositaremos 274 sobres que contengan “Grupo control” y otros 274 que contengan “Terapia en el agua”.

5.3. Variables

A continuación se muestra la tabla de las variables utilizadas en el estudio.

Nombre de variable	Tipo	Unidad de medida	Forma de medirla
Tipo de tratamiento	Independiente Cualitativa nominal Dicotómica		0= Tratamiento en tierra 1= Terapia en el agua
Momento de medición	Independiente Cualitativa nominal Dicotómica		0= Pretratamiento 1= Post-tratamiento
FIMFP	Dependiente Cualitativa continua	Newton	Célula de carga
Fuerza concéntrica máxima isocinética a 30°/s de flexión plantar	Dependiente Cualitativa continua	Newton	Dinamómetro
Fuerza concéntrica máxima isocinética a 60°/s de flexión plantar	Dependiente Cualitativa continua	Newton	Dinamómetro
Fuerza concéntrica máxima isocinética a 120°/s de flexión plantar	Dependiente Cualitativa continua	Newton	Dinamómetro
ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural	Dependiente Cualitativa continua	Grados	Goniómetro

Tabla 9. Variables del estudio. Elaboración propia.

Para la variable de ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural se medirá con el goniómetro convencional, los puntos de referencia serán la tibia y el quinto metatarsiano. El evaluador realizará cinco mediciones hasta alcanzar un “end feel firme”, después se hará una media de las 5 mediciones, este será el valor que tomemos para el estudio, medido en grados (39).

Entre cada medición de tipo de variable dejaremos un minuto de descanso (35).

La variable FIMFP de flexión plantar se medirá con la célula de carga S-Beam, los sujetos del estudio deberán realizar tres contracciones de 6 segundos, descansando 12 segundos entre las contracciones, estas no deben superar el número 8 en la escala EVA. De las 3 contracciones, serán registradas los 3 valores de fuerza en Newton más altos de cada una de las pruebas, realizando la media de estos 3 valores. (32,35).

Para la variable de fuerza concéntrica máxima a 30, 60 y 120 grados de flexión plantar por segundo será utilizado el dinamómetro isocinético Lido Multi-Joint II. Antes de realizar las mediciones, los sujetos deberán realizar un calentamiento en una bicicleta ergométrica 10 minutos, a continuación realizarán 5 contracciones submáximas para conocer el funcionamiento de la prueba. La vuelta a posición inicial será realizada pasivamente. A la hora de la medición se realizarán 5 contracciones máximas en cada una de las velocidades yendo desde la más lenta hasta la más rápida, dejando un minuto de descanso entre cada velocidad, de cada una de las contracciones se registrará el momento de fuerza máximo (medido en N), más tarde, se realizará la media de estas 5 (34,35).

La variable independiente tipo de tratamiento será determinada a través del sistema de sobres opacos, donde dentro de los sobres estará escrito “Grupo control” o “Terapia en el agua”.

Para la variable independiente momento de medición, la medición pretratamiento se realizará 4 semanas después de la cirugía, y el post-tratamiento, 24 horas después de terminar el tratamiento propuesto (32).

5.4. Hipótesis operativas

FIMFP:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias estadísticamente significativas en la FIMFP, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.
- Hipótesis operativa (H_a): existen diferencias estadísticamente significativas en la FIMFP, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.

Fuerza concéntrica máxima isocinética a 30º/s de flexión plantar:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 30º/s de flexión plantar, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.
- Hipótesis operativa (H_a): existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 30º/s de flexión plantar, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.

Fuerza concéntrica máxima isocinética a 60º/s de flexión plantar:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 60º/s de flexión plantar, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.
- Hipótesis operativa (H_a): existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 60º/s de flexión plantar, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.

Fuerza concéntrica máxima isocinética a 120º/s de flexión plantar:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 120º/s de flexión plantar, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.
- Hipótesis operativa (H_a): existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza concéntrica máxima isocinética a 120º/s de flexión plantar, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.

ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias estadísticamente significativas en el ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.
- Hipótesis operativa (H_a): existen diferencias estadísticamente significativas en el ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural, entre la terapia en agua y el tratamiento en tierra en atletas operados del tendón de Aquiles.

5.5. Recogida, análisis de datos y contraste de la hipótesis

Con el permiso de la Real Federación Española de Atletismo, el investigador principal acudirá a esta y deberá presentarse presencialmente. A través de una reunión con los médicos se les planteará el proyecto a realizar. Los médicos, derivarán a los pacientes que cumplan las condiciones anteriormente dichas a la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, los sujetos diagnosticados de RTA y estén dispuestos a realizar el estudio. Deberán llenar el cuestionario de recogida de datos propuesto (Anexo VI). A través de una entrevista a cada paciente se certificará que cumplen con los criterios de inclusión y exclusión. Los sujetos finalmente seleccionados deberán firmar la hoja de información al paciente (plan detallado de la metodología del estudio), el consentimiento informado, donde el paciente, declara que participará en el estudio de forma voluntaria.

Cumpliendo con la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de derechos digitales, se le asignará a cada paciente un número, este número sustituirá los datos personales de los pacientes en las tablas de mediciones pretratamiento y post-tratamiento. Estos datos serán tratados mediante el programa estadístico IBM SPSS statistics® v 28.0.

Los resultados de las mediciones realizadas en las fechas establecidas se mostrarán en una hoja de cálculo de Excel (Anexo V).

El análisis de los datos se dividirá en dos partes, el análisis de estadística descriptiva y el análisis de estadística inferencial. Inicialmente, se realizará el descriptivo para conocer los datos de tendencia central que son media, mediana y moda, datos de posición como los percentiles y los cuartiles, y datos de forma. Además nos aportará datos de dispersión como la desviación típica, varianza y rango. El análisis de los resultados se hará por intención a tratar.

Para el análisis inferencial (contraste de hipótesis), al ser variables dependientes cuantitativas, en dos muestras independientes, comprobaremos que sea normal su distribución deberemos realizar la prueba de Kolmogorov Smirnov (nuestra muestra es $n>30$) y el test de homogeneidad de varianzas de Levene. Realizaremos estas pruebas con cada una de las variables dependientes :

Kolmogorov Smirnov:

- H_0 = La muestra se distribuye de forma normal.
- H_a = La muestra no se distribuye de forma normal.
- $p < 0,05$: Se aceptará la H_a , rechazando la H_0 . Por lo que, la muestra, no se distribuye de forma normal.
- $p > 0,05$: No se podrá rechazar H_0 . Por lo que, la muestra, se distribuye de forma normal.

Levene:

- H_0 = Existe igualdad de varianzas.
- H_a = No existe igualdad de varianzas.
- $p < 0,05$: Se aceptará la H_a , rechazando la H_0 . Por lo que, no existe igualdad de varianzas.
- $p > 0,05$: No se podrá rechazar H_0 . Por lo que, existe igualdad de varianzas.

Realizaremos la prueba de T-student si se distribuye de forma normal, o, la U de Mann Whitney si no se distribuye de forma normal. Para las variables independientes usaremos la prueba de T-student para muestras relacionadas, si se distribuye de manera normal, o, la prueba de Wilcoxon, si no se distribuye de manera normal.

- H_0 = No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias.
- H_a = Existen diferencias estadísticamente entre las medias.
- $p < 0,05$ Existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias.
Por lo que se aceptará la H_a , rechazando la H_0 .
- $p > 0,05$ No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias. Por lo que no rechazaremos H_0 .

5.6. Limitaciones del estudio

El principal factor limitante del estudio es completar la muestra con atletas intervenidos por cirugía percutánea en las últimas 4 semanas que cumplan el resto de criterios de inclusión y exclusión. Es por eso que la realización del estudio se prolongará en el tiempo, lo que supondrá un limitante a nivel económico.

La escasez de bibliografía sobre la terapia en el agua ha sido otro factor limitante en el estudio, es por eso que, en las búsquedas bibliográficas, no ha sido posible poner un limitador de años.

La investigación realizada en atletas con rotura del TA es mínima, siendo la única un estudio en roedores o propuestas sin base científica que demuestren la eficacia de la terapia en el agua en la patología propuesta.

Limitaciones a la hora de encontrar un tratamiento estandarizado y detallado de la rotura del TA.

5.7. Equipo investigador

Investigador principal: Pablo Barrio Domínguez, graduado en Fisioterapia en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios de la Universidad Pontificia Comillas.

Fisioterapeutas:

- Investigador 2: graduado en Fisioterapia que haya trabajado anteriormente en piscinas de terapia en el agua y tenga formación en fisioterapia deportiva.
- Evaluador-analista: graduado en Fisioterapia con conocimientos y práctica en el ámbito investigador y el uso herramientas biomecánicas (goniómetro y dinamómetro). Además, deberá tener experiencia demostrable con el programa estadístico utilizado en el estudio (IBM SPSS statistics®). Estará cegado en el estudio para evitar posibles sesgos.

Colaboradores: Médicos de la Real Federación Española de Atletismo.

6. Plan de Trabajo

6.1. Diseño de la intervención

Una vez terminado el diseño y redacción del estudio, es necesario enviar una solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario de Getafe, con el fin de recibir su aprobación.

Una vez la aprobación haya sido recibida, el investigador principal reunirá a todo el equipo investigador para explicar el proyecto y repartir las tareas. Especialmente a los médicos de la Real Federación Española de Atletismo se les explicará los tipos de pacientes que han de derivar para el estudio (atletas mayores de edad que hayan sido diagnosticados de RTA y demás criterios de inclusión y exclusión), y deberán acudir a la Escuela de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios si quieren formar parte del estudio. Tan pronto como se tenga contacto con un nuevo sujeto apto será citado para una entrevista en la que se le explicará el proyecto, ventajas, posibles adversidades y se le resolverán las posibles dudas que pueda tener.

Los sujetos que hayan superado la entrevista deberán firmar la hoja de información al paciente, el consentimiento informado y llenar la ficha de datos personales. Cuando se hayan cumplido 4 semanas desde la operación, el evaluador-analista realizará las mediciones de las variables propuestas para el estudio (FIMFP, ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural, fuerza concéntrica máxima isocinética a 30, 60 y 120 grados por segundo de flexión plantar). El tratamiento comenzará al día siguiente realizada las mediciones. Una vez las mediciones hayan sido realizadas se procederá a aleatorizar al paciente por el sistema de sobres opacos en el que dentro de cada sobre aparecerá el grupo al cuál pertenece el paciente (0= Grupo control, 1= Terapia en el agua).

Para realizar la medición de la variable ROM pasivo de dorsiflexión, se utilizará un goniómetro convencional, se posicionará al paciente sentado, en el borde de la camilla posicionaremos el hueco poplíteo y la rodilla en 90º de flexión. Los puntos de referencia serán la tibia y el quinto metatarsiano (36), la neutralidad del tobillo se define cuando estos dos puntos forman un ángulo de 90º, es decir, son perpendiculares (6). El paciente debe estar completamente relajado, a continuación, se realizará una dorsiflexión del tobillo hasta llegar a un “end feel” firme. Se realizarán cinco mediciones y se realizará una media de los resultados obtenidos (39).

Entre cada medición de variable dejaremos un minuto de descanso (35).

Para la variable de FIMFP, la herramienta que será utilizada será la célula de carga S-Beam. La posición del paciente será sentado con 90° de flexión de cadera y rodilla, el tronco deberá estar alineado verticalmente. Evitaremos los movimientos angulares manteniendo al miembro inferior en la posición gracias a una carga compresiva. El tobillo se coloca a 0° (tibia y quinto metatarsiano formando una perpendicular (6)). La almohadilla del dinamómetro se colocará a la altura de los metatarsianos. Los pacientes, deberán realizar tres contracciones de 6 segundos de duración con un descaso de 12 segundos entre las contracciones. De las 3 contracciones, serán registradas los 3 valores de fuerza en N más altos de cada una de las pruebas, realizando la media de estos 3 valores (35), orientados por la percepción del dolor en la EVA, esta, no debe superar el número 8 (32).

Para las variables de fuerza máxima concéntrica isocinética a 30, 60 y 120 grados de flexión plantar grados por segundo, la herramienta que será utilizada será el dinamómetro isocinético Lido Multi-Joint II (previamente verificado). La posición del paciente será en decúbito supino, el paciente es fijado en esta posición mediante correas alrededor de pelvis, rodilla y pie. El paciente apoyará el pie en la plataforma del dinamómetro, colocando el tobillo en posición neutra de 0° (6). Antes de realizar las mediciones, el paciente deberá realizar un calentamiento en una bicicleta ergométrica 10 minutos, además podrá realizar 5 contracciones submáximas para conocer el funcionamiento de la prueba. La vuelta a posición inicial será realizada pasivamente. A la hora de la medición se realizarán 5 contracciones máximas en cada una de las distintas velocidades, yendo desde la más lenta hasta la más rápida. De cada una de las contracciones se registrará el momento de fuerza máximo (medido en N), más tarde, se realizará la media de estas 5 (34). Dejaremos un minuto de descanso entre cada tipo de velocidad (35).

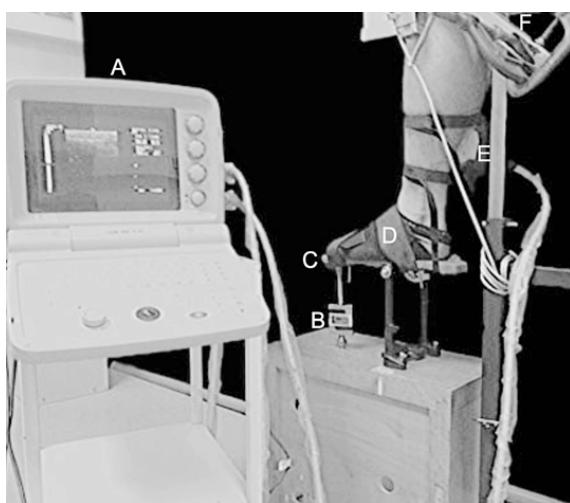


Ilustración 1. Dinamómetro Lido Multi-Joint II. Kangas et al. (34).

En cuanto a la variable independiente, momento de medición, la medición pre-tratamiento se realizará 4 semanas después de la operación, y la medición post-medición se realizará 24 horas después de terminar el tratamiento (32).

Ambos grupos realizarán el mismo protocolo de ejercicios, con la única diferencia, de que el grupo experimental realizará los ejercicios en la piscina de terapia en el agua, adaptando los ejercicios a las propiedades mecánicas del agua que nos ofrece este tipo de terapia. Las sesiones de fisioterapia serán 3 veces por semana, hora y media por cada sesión (32). El protocolo de ejercicios que se realizará será el protocolo descrito por Kangas et al. (34) (Anexo VII).

A continuación se mostrarán sólo las adaptaciones que hay que realizar para adaptar el protocolo establecido a la terapia en el agua. Estas pertenecen sólo a las primeras 6 semanas. Los ejercicios se realizarán en el miembro afecto.

- Flexión y extensión de los dedos del pie en decúbito supino: se realizará en decúbito supino con churros de flotación bajo la nuca y las rodillas.



Ilustración 2. Posición decúbito supino con churros de flotación. Rodríguez et al. (20).

- Flexión plantar del tobillo y dorsiflexión a posición neutra en decúbito supino: se realizará en decúbito supino con churros de flotación bajo la nuca y las rodillas.
- Extensión de la rodilla en posición sentada y mantener 2 segundos: sentado en la silla fija ubicada en la piscina, que permite tener la mitad del tronco inferior sumergida en el agua.
- Flexión de la rodilla en decúbito prono, se realizará en posición oblicua agarrándose a la barandilla de la piscina.
- Extensión de cadera en decúbito prono y mantener 2 segundos, se realizará en posición oblicua agarrándose a la barandilla de la piscina.

Finalmente, cuando el paciente haya acabado el tratamiento, el evaluador-analista citará al paciente al siguiente día para realizar la medición post-intervención. Cuando el último sujeto de la muestra haya sido medido de su post-intervención, se efectuará el análisis de todos los datos archivados de forma codificada a través del programa estadístico IBM SPSS statistics® v 28.0.

Por último, el investigador principal, deberá redactar los resultados y conclusiones del estudio para la publicación de los mismos.

6.2. Etapas de desarrollo

Etapas de desarrollo	Fecha
Redacción del proyecto	Octubre (2024) – Marzo (2025)
Solicitud al Comité de Ética de Investigación Clínica del Hospital Universitario de Getafe para la realización del proyecto propuesto	Abril 2025 – Mayo 2025
Reunión con el equipo investigador y colaboradores	Junio 2025
Reclutamiento de Sujetos	Desde julio 2025 hasta finalizar de la muestra (diciembre 2028)
Entrevista con el paciente y entrega de HIP, firma de CI y asignación aleatoria del grupo	Desde julio 2025 hasta finalización de la muestra (diciembre 2028)
Mediciones pre-tratamiento de las variables del estudio	Desde inicio del estudio (julio 2025) hasta finalizar la muestra
Realización de la intervención	Un día después de la medición inicial hasta 12 semanas después (febrero 2029)
Medición post-tratamiento de las variables del estudio	El día después tras finalizar el tratamiento (febrero 2029)
Análisis estadístico e interpretación de los datos	Marzo 2029
Elaboración de resultados, redacción del trabajo final y publicación	Abril 2029

Tabla 10. Etapas de desarrollo del estudio. Elaboración propia.

6.3. Distribución de tareas de todo el equipo investigador

El reparto de tareas de los componentes del equipo investigador se distribuirá de esta manera:

Investigador principal: cuya función principal es la del diseño, redacción y elaboración del proyecto. Contacto con la Real Federación Española de Atletismo, para la derivación de sujetos del estudio y supervisar, que, estos cumplan con los criterios de inclusión y exclusión. También, deberá explicar el proyecto a los posibles sujetos que muestren interés, solicitar el consentimiento informado, reunir la documentación necesaria y aleatorización del sujeto en el estudio. Además, estará a cargo de la solicitud de todos los permisos necesarios para realizar el estudio. Deberá realizar un continuo seguimiento del estudio para comprobar que se cumplen los plazos establecidos. Finalmente, publicará los resultados y conclusiones finales del estudio.

Fisioterapeutas:

- Fisioterapeuta con conocimientos de la terapia en el agua, encargada de dirigir las sesiones de tratamiento, y garantizando una correcta ejecución de los ejercicios propuestos.
- Evaluador-analista, encargado de las mediciones de las variables antes y después del tratamiento y su correcta verificación. Posteriormente, realizará el análisis del estudio y su correspondiente interpretación mediante el programa estadístico IBM SPSS statistics® v 28.0.

Colaboradores: su función consistirá en la derivación de los atletas, que cumplan los criterios de inclusión y exclusión, que hayan sido diagnosticados de RTA mediante RMN.

6.4. Lugar de realización del proyecto

Las mediciones serán llevadas acabo en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia, localizada en Avda. San Juan de Dios, 1 - 28350 Ciempozuelos (Madrid). Aquí, dispondrán de todo el equipo y herramientas necesitadas para las mediciones.

Y el tratamiento será llevado acabo en el Fundación Instituto San José, localizado en Avenida de la Hospitalidad s/n (Salida 30 M-40), en la unidad de terapia en el agua. La unidad estará dotada de todos los materiales necesarios, una amplia sala para realizar el tratamiento en tierra y la piscina dotada de todos los aspectos técnicos para realizar la terapia en el agua.

7. Listados de referencias

1. Thompson J, Baravarian B. Acute and chronic achilles tendon ruptures in athletes. Clin Podiatr Med Surg. 2011;28(1):117-135.
2. Talić-Tanović A, Džanković F, Papović A, Zahirović M. Evaluation of surgical treatment of Achilles tendon rupture. Medical Journal. 2016;22(1):23-26.
3. Traverso L, Sánchez M. Exploración clínica y diagnóstico por la imagen del tobillo [Internet]. Sociedad Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología. [Accessed Dec 23, 2024]. Available at: https://unitia.secot.es/web/manual_residente/CAPITULO%2091.pdf
4. Winnicki K, Ochala-Kłos A, Rutowicz B, Pękala PA, Tomaszewski KA. Functional anatomy, histology and biomechanics of the human Achilles tendon - A comprehensive review. Ann Anat. 2020;229:151461.
5. Rettig AC, Liotta FJ, Klootwyk TE, Porter DA, Mieling P. Potential risk of rerupture in primary achilles tendon repair in athletes younger than 30 years of age. Am J Sports Med. 2005;33(1):119-123.
6. Jallageas R, Bordes J, Daviet J, Mabit C, Coste C. Evaluation of surgical treatment for ruptured Achilles tendon in 31 athletes. Orthop Traumatol Surg Res. 2013;99(5):577-584.
7. Marrone W, Andrews R, Reynolds A, Vignona P, Patel S, O'Malley M. Rehabilitation and return to sports after Achilles tendon repair. IJSPT. 2024;19(9):1152-1165.
8. Holzgrefe RE, McCarthy TP, Wilson JM, Bariteau JT, Labib S. Association of strength following Achilles tendon repair with return to same level of play in high-level athletes. Foot Ankle Int. 2020;41(9):1041-1048.
9. Joe Godges, Robert Klingman. Achilles Tendon Repair and Rehabilitation [Internet]. Physical Therapy Residency & Fellowship Program. [Accessed Dec 23, 2024]. Available at: https://scal-pt-residencyfellowship.kaiserpermanente.org/?page_id=129
10. Hoeffner R, Svensson RB, Bjerregaard N, Kjær M, Magnusson SP. Persistent deficits after an Achilles tendon rupture: A narrative review. Transl Sports Med. 2022;2022:7445398.
11. Fanchini M, Impellizzeri FM, Silbernagel KG, Combi F, Benazzo F, Bizzini M. Return to competition after an Achilles tendon rupture using both on and off the field load monitoring as guidance: A case report of a top-level soccer player. Phys Ther Sport. 2018;29:70-78.
12. Eliasson P, Svensson R, Warming N, Holm C, Jensen MH, Kjaer M, et al. The ruptured Achilles tendon elongates for 6 Months after surgical repair regardless of early or late weightbearing in combination with ankle mobilization: A randomized clinical trial. AJSM. 2018;46(10):2492-2502.
13. Maffulli N, Longo UG, Maffulli GD, Khanna A, Denaro V. Achilles tendon ruptures in elite athletes. Foot Ankle Int. 2011;32(1):9-15.
14. Kosaka T, Yamamoto K. Long-term effects of chronic Achilles tendon rupture treatment, using reconstruction with peroneus brevis transfer, on sports activities. West Indian Med J. 2011;60(6):628-635.

15. Aoki M, Ogiwara N, Ohta T, Nabeta Y. Early active motion and weightbearing after cross-stitch Achilles tendon repair. *Am J Sports Med.* 1998;26(6):794-800.
16. Moore ML, Pollock JR, Karsen PJ, Haglin JM, Lai CH, Elahi MA, et al. Open Achilles tendon repair. *JBJS EST.* 2023; 3(1).
17. Carmont MR, Zellers JA, Brorsson A, Silbernagel KG, Karlsson J, Nilsson-Helander K. No difference in strength and clinical outcome between early and late repair after Achilles tendon rupture. *KSSTA.* 2020;28(5):1587-1594.
18. Carrera M. Comparación del tratamiento conservador y quirúrgico en la rotura aguda del tendón de Aquiles. *Rev Int Cienc Podol.* 2019;13(2):67.
19. Frankewycz B, Krutsch W, Weber J, Ernstberger A, Nerlich M, Pfeifer CG. Rehabilitation of Achilles tendon ruptures: is early functional rehabilitation daily routine? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(3):333-340.
20. Rodriguez J, Fraile M, Fernandez C. Terapia acuática: Abordajes desde la Fisioterapia y la Terapia Ocupacional. 2^a. ed. España: Elsevier; 2015.
21. Méline T, Solsona R, Antonietti J, Borrani F, Candau R, Sanchez AM. Influence of post-exercise hot-water therapy on adaptations to training over 4 weeks in elite short-track speed skaters. *J Exerc Sci Fitness.* 2021;19(2):134-142.
22. Seco J, Mielgo J, Calvo C, Córdova A. Cold water immersion as a strategy for muscle recovery in professional basketball players during the competitive season. *J Sport Rehabil.* 2020;29(3):301-309.
23. Schleip R. Fascial tissues and their mechano-adaptation to stretch and shear stimulation with clinical applications inside and outside of an aquatic environment. *J Aquatic Phys Ther.* 2018;26(2):19-20.
24. Dufournet A, Chong XL, Schwitzguébel A, Bernimoulin C, Carvalho M, Bothorel H, et al. Aquatic therapy versus standard rehabilitation after surgical rotator cuff repair: A randomized prospective study. *MDPI.* 2022;11(4):610.
25. Amras A, Kamalakannan R. Role of aquatic therapy in knee rehabilitation: A narrative review. *Indian J Physiother Occup Ther.* 2023;17(4):1-6.
26. Becker, Bruce E. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications. *PM&R.* 2009;1(9):859-872.
27. Cikes A, Kadri F, van Rooij F, Lädermann A. Aquatic therapy following arthroscopic rotator cuff repair enables faster improvement of constant score than land-based therapy or self-rehabilitation therapy. *J Exp Orth.* 2023;10(1).
28. 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. *MLTJ.* 2023;13(3):421-429.
29. Burmaster C, Eckenrode BJ, Stiebel M. Early incorporation of an evidence-based aquatic-assisted approach to arthroscopic rotator cuff repair rehabilitation: Prospective case study. *Phys Ther.* 2016;96(1):53-61.

30. Hidd S, Tim CR, Dutra E, Maia Filho, Martins A, Assis L, Ferreira R, et al. Fibrin biopolymer sealant and aquatic exercise association for calcaneal tendon repair. *Acta Cir Bras.* 2021;36(4):360407.
31. Serra G, Ruotolo I, Berardi A, Carlizza A, Galeoto G. The effect of hydrokinetic therapy on patients with low back pain: A systematic review and meta-analysis. *MLTJ.* 2023;13(1):90-102.
32. De la Fuente C, Peña R, Ramírez R, Ortega P, Delgado M, Álvarez J, et al. Medial gastrocnemius myotendinous junction displacement and plantar-flexion strength in patients treated with immediate rehabilitation after Achilles tendon repair. *J Athletic Train.* 2016;51(12):1013-1021.
33. Saab M, Derousseaux R, Beldame J, Chantelot C, Laboute E, Maynou C. Portable device for measuring isometric plantar-flexion force after open Achilles repair: Retrospective cohort of 30 recreational athletes with one-year minimum follow-up. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2024;110(5):103791.
34. Kangas J, Pajala A, Siira P, Hämäläinen M, Leppilahti J. Early functional treatment versus early immobilization in tension of the musculotendinous unit after Achilles rupture repair: A prospective, randomized, clinical study. *J Trauma.* 2003;54(6):1171-1180.
35. Pérez Mallada N, Martínez Beltrán MJ, Sáenz Nuño MA, Ribeiro Seijas A, de Miguel Villa I, Miso Molina C, et al. Biomechanical factors predisposing to knee injuries in junior female basketball players. *Sports.* 2024;2(1):1-13.
36. Martin RL, McPoil TG. Reliability of ankle goniometric measurements: a literature review. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2005;95(6):564-572.
37. Anumula SK, Beku C, Murthy YSN. Measurement of reliability in grip strength. *Int J Health Sci.* 2013;1:1-8.
38. Fouad KZ, Ali ZA, Elshorbagy RT, Eladl HM. Effect of radial shock wave and ultrasound therapy combined with traditional physical therapy exercises on foot function and dorsiflexion range in plantar fascitis: a prospective randomized clinical trial. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2023;27(9):3823-3832.
39. Fong C, Blackburn JT, Norcross MF, McGrath M, Padua DA. Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *J Athl Train.* 2011;46(1):5-10.

8. Anexos

Anexo I: Tabla de propiedades mecánicas del agua.

<i>Propiedades</i>	<i>Definición</i>
<i>Viscosidad</i>	Magnitud de fricción específica del fluido. El elemento que se desplaza en el agua sufre la resistencia producida por el agua, designado como fuerza de arrastre y turbulencia. La resistencia producida por la viscosidad es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre ella.
<i>Presión hidrostática</i>	Es la presión que realiza el fluido sobre el elemento inmerso y que es igual en toda la superficie. Es directamente proporcional a la densidad y a la profundidad de inmersión.
<i>Empuje hidrostático</i>	Se basa en el principio de Arquímedes que establece que cualquier cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje igual a la cantidad de líquido desalojado.
<i>Efectos metacéntricos</i>	Es cuando el elemento sumergido obtiene el equilibrio entre la fuerza de empuje y la de gravedad que son opuestas. Cuando esto no sucede el elemento empieza a rotar hasta lograrlo. El cuerpo humano para lograrlo va a necesitar una activación muscular constante. ya que la respiración desestabiliza este equilibrio.
<i>Densidad relativa</i>	Relación entre la densidad del agua y la densidad del elemento que se sumerge. Si la densidad del cuerpo es mayor que la densidad del agua tenderá a hundirse, sin embargo si su densidad es menor, tenderá a flotar.
<i>Peso aparente</i>	Relación entre el empuje del fluido y el peso del elemento inmerso. A mayor profundidad, el elemento pesará menos.
<i>Refracción</i>	Se establece como la imagen alterada producida por los cambios de posición de los rayos de luz al entrar en el medio acuático.

Tabla 11. Propiedades mecánicas del agua Rodríguez et al. (20).

ANEXO II. Solicitud al Comité Ético de Investigación Clínica.

Don Pablo Barrio Domínguez, en calidad de investigador principal del proyecto, con Documento Nacional de Identidad _____ con domicilio social en _____ y número de colegiado _____.

Expongo mi interés al Hospital Universitario de Getafe, que deseo realizar el ensayo clínico *“Eficacia de la terapia en el agua frente a la terapia en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles”* que será llevado a cabo en las instalaciones del Instituto Fundación San José.

El estudio se realizará tal y como ha sido planteado, respetando la normativa legal aplicable para los ensayos clínicos que se realicen en España y siguiendo las normas éticas internacionalmente aceptadas en la declaración de Helsinki en su última versión de 2013 en Brasil.

Se adjunta la siguiente información:

- Copia del protocolo de ensayo clínico
- Copia del Manual del Investigador
- Copia de la Hoja de Información al Paciente
- Copia del Consentimiento Informado
- Copia del documento de la idoneidad de las instalaciones
- Copia del documento de la idoneidad del investigador principal y sus colaboradores
- Copia de Póliza de Responsabilidad Civil

Firmado: Pablo Barrio Domínguez

Investigador principal

En Madrid a ____ de _____ del 20____

Anexo III: Hoja de Información al Paciente**Hoja de información al paciente**

En este documento se incluyen todas las características del estudio, como posible participante, es necesario que sea conocedor y comprenda los objetivos, procedimientos y posibles riesgos del proyecto. Además, tiene derecho a que le sean resueltas todas las posibles dudas que le puedan surgir durante la lectura de este documento con el fin de comprender en su totalidad la información aportada.

Firmando este documento, confirma que ha comprendido la información al completo, que es suficiente y detallada y que ha resuelto todas las dudas que le hayan podido surgir.

El proyecto “*Eficacia de la terapia en el agua frente a la terapia en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles*” será realizado una vez conseguida la aprobación del Comité Ético de Investigación Clínica. Este proyecto tiene como objetivo comprobar la eficacia de la terapia en el agua frente al tratamiento en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles.

Deberá de firmar el Consentimiento Informado presentado a continuación de haber comprendido y finalizado la lectura de este documento habiendo resuelto sus dudas anteriormente. Además, deberá llenar el Cuestionario de recogida de datos personales, estos datos serán guardados de forma confidencial siguiendo la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantí de derechos digitales. A continuación, le será asignado un grupo de tratamiento en el estudio a través de la elección de un sobre opaco, donde dentro estará escrito el grupo al que pertenece.

Posteriormente, otro de los investigadores que forma parte del equipo, realizará las mediciones de las variables a estudiar, guardando esta información de manera codificada. Entre cada medición de variables, habrá un descanso de un minuto.

- ROM pasivo de dorsiflexión de la articulación astragalocrural: se utilizará un goniómetro convencional, se le posicionará sentado, en el borde de la camilla, posicionaremos el hueco poplíteo y la rodilla en 90° de flexión. Deberá estar completamente relajado, a continuación, el evaluador-analista realizará una dorsiflexión del tobillo hasta llegar a un “end feel” firme . Se realizarán cinco mediciones y se realizará una media de los resultados obtenidos.

- FIMFP: se utilizará la célula de carga S-Beam. La posición será, sentado con 90º de flexión de cadera y rodilla, el tronco deberá estar alineado verticalmente. Se evitarán los movimientos angulares manteniendo al miembro inferior en la posición gracias a una carga compresiva. El tobillo se coloca a 0º. La almohadilla del dinamómetro se colocará a la altura de los metatarsianos. Se deberán realizar tres contracciones de 6 segundos de duración con un descanso de 12 segundos entre las contracciones, orientados por la percepción del dolor en la EVA, esta no debe superar el número 8.
- Fuerza máxima concéntrica isocinética a 30, 60 y 120 grados de flexión plantar grados por segundo: la herramienta que será utilizada será el dinamómetro isocinético Lido Multi-Joint II. La posición será en decúbito supino, será fijado en esta posición mediante correas alrededor de pelvis, rodilla y pie. Deberá apoyar el pie en la plataforma del dinamómetro, colocando el tobillo en posición neutra de 0º. Antes de realizar las mediciones, deberá realizar un calentamiento en una bicicleta ergométrica 10 minutos, además podrá realizar 5 contracciones submáximas para conocer el funcionamiento de la prueba. La vuelta a posición inicial será realizada pasivamente. A la hora de la medición se realizarán 5 contracciones máximas en cada una de las distintas velocidades yendo desde la más lenta hasta la más rápida. De cada una de las contracciones se registrará el momento de fuerza máximo (medido en N), más tarde, se realizará la media de estas 5. Dejaremos un minuto de descanso entre cada tipo de velocidad.

Las mediciones de estas variables se realizarán 2 semanas después de la operación de la rotura del tendón de Aquiles, y un día después de terminar el tratamiento.

En este estudio hay 2 grupos, terapia en el agua o terapia en tierra, es necesario que, dependiendo del grupo que le sea asignado, lleve ropa adecuada para cada tipo de tratamiento, por ejemplo, si le es asignado terapia en el agua, no olvide traer bañador, toalla y chanclas.

A continuación se describe el protocolo de ejercicios a realizar por ambos grupos en el miembro afecto:

Primer periodo de 6 semanas:

- Flexión y extensión de los dedos del pie en decúbito supino (3 series de 25 repeticiones).
- Flexión plantar del tobillo y dorsiflexión a posición neutra en decúbito supino (3 series de 30 repeticiones).
- Extensión de la rodilla en posición sentada y mantener 2 segundos (3 series de 10 repeticiones).
- Flexión de la rodilla en decúbito prono (3 series de 10 repeticiones).
- Extensión de cadera en decúbito prono y mantener 2 segundos (3 series de 10 repeticiones).

Segundo periodo de 3 semanas:

- Movilización asistida en flexión y extensión del tobillo (3 series de 30 repeticiones).
- Inversión y eversión activa del tobillo (3 series de 30 repeticiones).
- De pie sobre las puntas de los pies y los talones alternativamente (3 series de 30 repeticiones).
- Dorsiflexión de tobillo contra resistencia de goma (3 series de 20 repeticiones).
- Estiramiento del tobillo hasta flexión plantar con ayuda de una goma (3 series de 20 repeticiones).
- Estiramiento de pie de tríceps sural apoyado en una pared (5 series de 30 segundos).
- Estiramiento de los dedos del pie y el tobillo contra la mano en posición sentada (5 series de 30 repeticiones).

Tercer periodo de 3 semanas:

- Subir y bajar el talón con ambos pies al mismo tiempo (5 series de 20 repeticiones).
- Ejercicios contra la resistencia de una Goma :
 - Dorsiflexión de tobillo (5 series de 20 repeticiones).
 - Flexión plantar de tobillo (5 series de 20 repeticiones).
 - Pronación del tobillo (5 series de 20 repeticiones).
 - Supinación del tobillo (5 series de 20 repeticiones).
 - Mantenerse de pie con las rodillas ligeramente flexionadas (5 series de 30 segundos).
- Estiramiento del tríceps sural hasta barrera motriz (5 series de 30 segundos)

El grupo de terapia en el agua verá alguno de sus ejercicios adaptados, ya que estos ejercicios del primer periodo necesitan ser modificados para su correcta realización:

- Flexión y extensión de los dedos del pie en decúbito supino: se realizará en decúbito supino con churros de flotación bajo la nuca y las rodillas.
- Flexión plantar del tobillo y dorsiflexión a posición neutra en decúbito supino: se realizará en decúbito supino con churros de flotación bajo la nuca y las rodillas.
- Extensión de la rodilla en posición sentada y mantener 2 segundos: sentado en la silla fija ubicada en la piscina, que permite tener la mitad del tronco inferior sumergida en el agua.
- Flexión de la rodilla en decúbito prono, se realizará en posición oblicua agarrándose a la barandilla de la piscina.
- Extensión de cadera en decúbito prono y mantener 2 segundos , se realizará en posición oblicua agarrándose a la barandilla de la piscina.

A continuación se muestran los criterios de inclusión y exclusión que se deben cumplir para formar parte del estudio:

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Sexo masculino	Intervenido de cirugía de RTA en más ocasiones
Mayor de edad	Uso de medicación analgésica
Capacidad de comunicarse en la lengua castellana, o, sino es posible, en inglés	Uso de medicación que intervenga para la cicatrización del tendón
Atleta inscrito en la Real Federación Española de Atletismo	Lesiones concomitantes graves
Diagnosticado de RTA por un médico bajo ecografía o RMN	Enfermedades o infecciones cutáneas
Operados por reparación percutánea en las últimas 4 semanas	Contraindicaciones de la terapia en el agua
Sin operaciones previas de tobillo	Rotura músculo tendinosa

Posibles riesgos:

El mayor riesgo se basa en el riesgo de infección y de su transmisión de enfermedades tópicas, por lo que se deberá seguir las recomendaciones del médico y cumplir las normas sanitarias de la piscina.

Es posible que pueda sentir cansancios, mareos, dolor muscular o dolor articular debido al ejercicio físico.

Podrá abandonar el estudio cuando quiera, rellenando la hoja de revocación.

Finalizadas las mediciones post-tratamiento y el análisis estadísticos de los datos, el investigador principal redactará un informe que los resultados y conclusiones que será publicado y los participantes tendrán acceso a este.

Las mediciones serán llevadas acabo en la Escuela de Enfermería y Fisioterapia, localizada en Avda. San Juan de Dios, 1 - 28350 Ciempozuelos (Madrid). Y el tratamiento será llevado acabo en el Fundación Instituto San José, localizado en Avenida de la Hospitalidad s/n (Salida 30 M-40), en la unidad de terapia en el agua.

Firma del paciente

Firma del investigador principal

En Madrid a _____ de _____ del 20____

Anexo IV: Consentimiento Informado

Yo, D/Dña _____ con DNI _____, afirma haber recibido la información necesaria del estudio de investigación “*Eficacia de la terapia en el agua frente a la terapia en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles*”.

Afirmo haber comprendido toda la información que me ha sido proporcionada, en la Hoja de Información al Paciente (objetivo, desarrollo de las intervenciones y riesgos de la intervención). Afirmo que se me ha sido informado de mis derechos, haber resuelto las posibles dudas.

Afirmo haber llenado toda la documentación de manera leal y veraz. Afirmo que no presento ninguna contraindicación para el estudio.

Entiendo que mis datos no serán publicados bajo ningún concepto ni usados para otra función, manteniendo así el anonimato en todo momento.

Se me ha informado de mi derecho a revocación del consentimiento si así lo deseo durante el desarrollo del estudio, sin ningún tipo de repercusión económica y legal, siempre y cuando rellene la Hoja de revocación.

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

Firmado:

En Madrid a _____ de _____ del 20____

Anexo V: Hoja de cálculo Excel de recogida de las mediciones de las variables.

Sujeto	Grupo	FIMFP	Fuerza	Fuerza	Fuerza	ROM	
			isocinética	isocinética	isocinética		
			30º/s	60º/s	120º/s		
-	-	FIMFP	Pre	30º/s	60º/s	120º/s	ROM
			Post	Post	Post	Post	Post
			-	-	-	-	-
-	-	FIMFP	Fuerza	Fuerza	Fuerza	ROM	
			isocinética	isocinética	isocinética		
			30º/s	60º/s	120º/s		
-	-	FIMFP	Post	Post	Post	Post	
			-	-	-	-	
			-	-	-	-	

Tabla 12. Excel de recogida de las mediciones de las variables. Elaboración propia.

Anexo VI: Hoja de Revocación

Don _____ con DNI _____ revoco el
consentimiento firmado para la participación del estudio de investigación “*Eficacia de la terapia en el agua frente a la terapia en tierra en atletas con rotura del tendón de Aquiles*”.

Firmado:

En Madrid a ____ de _____ del 20____

Anexo VII: Cuestionario de recogida de datos personales**Cuestionario de recogida de datos personales para el contacto y cita con el paciente**

Nombre: _____

Apellidos: _____

Mayor de edad: SI NO (selecciona la que corresponda)

Teléfono de contacto: _____

Correo electrónico: _____

Fecha de la rotura del tendón de Aquiles: _____

Fecha de la operación de la rotura del tendón de Aquiles: _____

Firmado:

En Madrid a __ de _____ del 20__

Anexo VIII: Protocolo de ejercicios descrito por Kangas et al. (34).

El protocolo de ejercicios se realizará en el miembro afecto.

Primer periodo de 6 semanas:

- Flexión y extensión de los dedos del pie en decúbito supino (3 series de 25 repeticiones).



Ilustración 3. Flexión y Extensión de dedos. Elaboración propia.

- Flexión plantar del tobillo y dorsiflexión a posición neutra en decúbito supino (3 series de 30 repeticiones).



Ilustración 4. Flexión plantar y dorsiflexión a posición neutra. Elaboración propia.

- Extensión de la rodilla en posición sentada y mantener 2 segundos (3 series de 10 repeticiones).



Ilustración 5. Extensión de rodilla. Elaboración propia.

- Flexión de la rodilla en decúbito prono (3 series de 10 repeticiones).



Ilustración 6. Flexión de rodilla. Elaboración propia.

- Extensión de cadera en decúbito prono y mantener 2 segundos (3 series de 10 repeticiones).

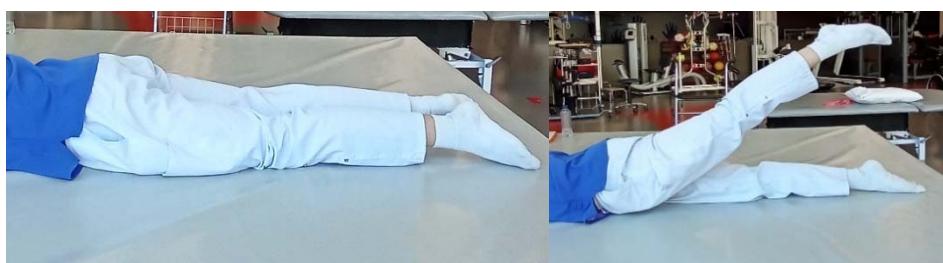


Ilustración 7. Extensión de cadera. Elaboración propia.

Segundo periodo de 3 semanas:

- Movilización asistida en flexión y extensión del tobillo (3 series de 30 repeticiones).



Ilustración 8. Movilización asistida en flexión y extensión de tobillo. Elaboración propia.

- Inversión y eversión activa del tobillo (3 series de 30 repeticiones).



Ilustración 9. Inversión y eversión activa tobillo. Elaboración propia.

- De pie sobre las puntas de los pies y los talones alternativamente (3 series de 30 repeticiones).



Ilustración 10. De pie sobre talones y punta de los pies. Elaboración propia.

- Dorsiflexión de tobillo contra resistencia de goma (3 series de 20 repeticiones).



Ilustración 11. Dorsiflexión de tobillo contra goma. Elaboración propia.

- Estiramiento del tobillo hasta flexión plantar con ayuda de una goma (3 series de 20 repeticiones).



Ilustración 12. Estiramiento hasta flexión plantar con goma. Elaboración propia.

- Estiramiento de pie de tríceps sural apoyado en una pared (5 series de 30 segundos).



Ilustración 13. Estiramiento tríceps sural apoyado. Elaboración propia.

- Estiramiento de los dedos del pie y el tobillo contra la mano en posición sentada (5 series de 30 repeticiones).



Ilustración 14. Estiramiento de los dedos del pie y el tobillo. Elaboración propia.

Tercer periodo de 3 semanas:

- Subir y bajar el talón con ambos pies al mismo tiempo y más tarde con sólo un pie (5 series de 20 repeticiones)



Ilustración 15. Elevaciones del talón sobre solo una pierna. Elaboración propia.

- Ejercicios contra la resistencia de una Goma:
Dorsiflexión de tobillo (5 series de 20 repeticiones).
Flexión plantar de tobillo (5 series de 20 repeticiones).



Ilustración 16. Flexión plantar contra goma. Elaboración propia.

Pronación del tobillo (5 series de 20 repeticiones).



Ilustración 17. Pronación del tobillo. Elaboración propia.

Supinación del tobillo (5 series de 20 repeticiones).



Ilustración 18. Supinación del tobillo. Elaboración propia.

- Mantenerse de pie con las rodillas ligeramente flexionadas (5 series de 30 segundos).

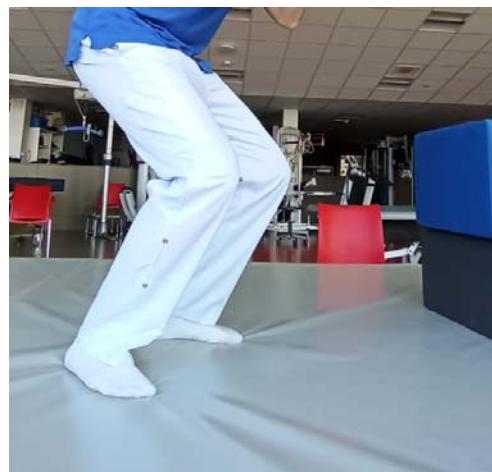


Ilustración 19. Mantenerse con las rodillas flexionadas. Elaboración propia.

- Estiramiento del tríceps sural apoyado en la pared(5 series de 30 segundos).