

Programas de Ejercicio Propioceptivo y los Principios de Carga Progresiva para el Manejo de Esguince de Tobillo en Fase Subaguda. Una Revisión Sistemática

Proprioceptive Exercise Programs and Progressive Loading
Principles for the Management of Subacute Ankle Sprains. A Systematic Review

Aracely Natalia García Madrid¹, Adrian Gutiérrez Haro², Leslie Yomely Estrada Hernández¹, Debanhi Defossé Herrera¹, Cinthya Judith Fraire Morales¹, María Fernanda De Santiago Villa¹ y Aide Celeste Haro Moreno¹

Autor de correspondencia: Aracely Natalia García¹, aracelygm2811@gmail.com

¹Centro de Rehabilitación y Educación Especial (CREE) Durango, México ²Universidad Europea

Cómo citar: García Madrid, A. N., Gutierrez Haro, A., Estrada Hernández, L. Y., Defossé Herrera, D., Fraire Morales, C. J., De Santiago Villa, M. F., & Haro Moreno, A. C. (2026). Programas de Ejercicio Propioceptivo y los Principios de Carga Progresiva para el Manejo de Esguince de Tobillo en Fase Subaguda. Una Revisión Sistemática. Revista De Ciencias Del Ejercicio FOD, 21(1), 91–102.
<https://doi.org/10.29105/rcefod.v21i1.164>

Enero-Junio-164

Link para acceder al artículo:

<https://doi.org/10.29105/rce-fod.v21i1.164>



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de Creative Commons Licencia de atribución (CC BY-NC) (Creative Commons Atribución-No-Comercial 4.0)

Resumen

El esguince de tobillo es una de las lesiones musculoesqueléticas más frecuentes y se asocia a altas tasas de recurrencia e inestabilidad crónica. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto del ejercicio propioceptivo y la carga progresiva en la rehabilitación del esguince de tobillo de segundo grado en fase subaguda. Se realizó una revisión sistemática conforme a las directrices PRISMA 2020, seleccionando 21 estudios tras una búsqueda sistemática en PubMed, Elsevier, Dialnet y DOAJ.

Los resultados indican que las intervenciones basadas en el ejercicio activo son superiores a los métodos pasivos, logrando una reducción significativa del dolor y mejoras en la estabilidad y el equilibrio postural. Asimismo, la aplicación de carga progresiva permitió un retorno más rápido a la actividad deportiva.

Se concluye que los programas de ejercicio funcional favorecen la recuperación y reducen el riesgo de inestabilidad crónica y recurrencias.

Palabras clave: Esguince de tobillo, Fase subaguda, Propiocepción, Carga progresiva, Entrenamiento neuromuscular.

Abstract

Ankle sprains are one of the most common musculoskeletal injuries and are associated with high rates of recurrence and chronic instability. The aim of this research was to evaluate the impact of proprioceptive exercise and progressive loading on the rehabilitation of second-degree ankle sprains in the subacute phase. A systematic review was conducted according to the PRISMA 2020 guidelines, selectin 21 studies after a systematic search in PubMed, Elsevier, Dialnet, and DOAJ. The results indicate that active exercise-based interventions are superior to passive methods, achieving a significant reduction in pain and improvements in stability and postural balance. Likewise, the application of progressive loading allowed for a faster return to sports activity. It is concluded that functional exercise programs promote recovery and reduce the risk of chronic instability and recurrence.

Keywords: Ankle sprain, Subacute phase, Proprioception, Progressive loading, Neuromuscular training.

Introducción

Dentro del sistema musculoesquelético, el esguince de tobillo es una de las lesiones más frecuentes (Ordóñez-Flores, 2024). Se calcula que a nivel mundial ocurren aproximadamente 10 000 esguinces de tobillo al día (Pourkazemi, 2014). La mayoría de estos casos (cerca del 80%) afectan al complejo ligamentario lateral, en especial a los ligamentos peroneoastragalino anterior (LPAA) y peroneocalcaneo (LPC). La gravedad de esta lesión varía según la magnitud de la fuerza generada durante el traumatismo (Van Dijk, 1996).

Alrededor del 40 % de los individuos con un esguince de tobillo experimentan episodios recurrentes o "fallos" en el tobillo. Estos episodios se acompañan con síntomas duraderos como la inestabilidad y el dolor, que son los criterios fijados para diagnosticar inestabilidad crónica de tobillo (Gribble, 2014).

Dependiendo de la gravedad del esguince de tobillo, estos se dividen en tres categorías: tipo I (que incluye distensión sin laxitud articular y afecta el 5% de las fibras), tipo II (que implica una lesión parcial e inestabilidad leve, con un impacto del 40-50% de las fibras) y tipo III (en el que el ligamento se rompe por completo). Generalmente, el mecanismo fisiopatológico consiste en una inversión forzada del tobillo, que suele estar acompañada de una flexión y supinación del pie (Salcedo, 2000).

A pesar de que el esguince de tobillo presenta una alta incidencia deportiva y riesgo de cronicidad, la evidencia científica privilegia el tratamiento funcional sobre la inmovilización. Esta estrategia busca optimizar la recuperación al priorizar la restauración de la movilidad y la capacidad propioceptiva tras la fase dolorosa, lo que favorece una reincorporación funcional prematura sin comprometer los resultados clínicos a largo plazo (Rosas-Ojeda, 2020).

En este contexto, la integración de la propiocepción en el protocolo rehabilitador es determinante, ya que, como proceso somático del sistema nervioso central, permite la readaptación funcional para las demandas deportivas y cotidianas. Su potenciación optimiza el control neuromuscular y la amortiguación de impactos en la interacción con el entorno, constituyendo una estrategia fundamental en la prevención de recaídas y en la reducción del riesgo de lesiones ligamentosas (Navarro-Najarro, 2000).

Finalmente, la práctica de ejercicio influye tanto en el músculo esquelético como en el tendón y ligamentos, y el tipo de adaptación que se produzca depende en gran medida de las características del programa de entrenamiento. Factores como la intensidad de la carga, el rango de movimiento, el tipo de contracción, la velocidad de la ejecución, la cantidad de repeticiones y los intervalos de descanso entre sesiones determinan la magnitud de dichos cambios (Velázquez, 2022).

A pesar de los beneficios descritos del abordaje funcional, existe una necesidad crítica de sistematizar cuáles son las intervenciones más eficaces para prevenir la recidiva y restaurar la estabilidad plena del paciente. Por lo tanto, el objetivo de la presente revisión sistemática es analizar la eficacia de los programas de ejercicio terapéutico y entrenamiento propioceptivo en la recuperación funcional y la prevención de la inestabilidad crónica en sujetos que han sufrido un esguince de tobillo.

El objetivo primario de este estudio fue analizar la evolución temporal del %MG y de la PAS en trabajadores universitarios, y evaluar si las trayectorias del %MG predicen cambios concurrentes en la PAS. Planteamos dos hipótesis direccionales: (i) la PAS presentará una elevada varianza entre sujetos (coeficiente de correlación intraclase, ICC ≥ 0.60) con cambios intra-individuales modestos en el periodo observado, consistente con el anclaje estructural vascular propio de la mediana edad; y (ii) el %MG no será un predictor concurrente significativo de la PAS tras controlar por edad y sexo, apoyando la hipótesis de disociación temporal entre plasticidad metabólica y hemodinámica.

2. Materiales y métodos

La búsqueda inicial arrojó un total de 31 artículos, obtenidos de cuatro bases de datos, de los cuales el 3.4% corresponde a la base de datos de PubMed, 25.8% a Elsevier, 9.6% a Dialnet y 61.2% a DOAJ, siendo esta última la fuente que aportó la mayor cantidad de documentos, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, resultando en la selección de 21 estudios para una revisión y análisis exhaustivos. Los 10 estudios restantes fueron excluidos porque no trataban sobre el tema en cuestión, las intervenciones descritas no estaban relacionadas con el ejercicio terapéutico, la propiocepción o la carga progresiva, o eran estudios duplicados o presentaban información

3. Diseño

3.1. Criterios de Inclusión

Se incluyeron artículos científicos originales, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas, guías clínicas y documentos en texto completo que aborden el tratamiento del esguince de tobillo de segundo grado en fase subaguda, mediante intervenciones relacionadas con propiocepción, neuromuscular, fortalecimiento progresivo, control motor y/o carga progresiva aplicada desde la fisioterapia. Asimismo, se considerarán estudios publicados preferentemente en los últimos 10 años, en inglés o español.

3.2. Criterios de exclusión

Se excluyeron artículos sin metodología, tesis no publicadas, intervenciones no conexas con el ejercicio, investigaciones no relacionadas con fisioterapia y documentos previos a 2005, excepto si poseen relevancia teórica significativa.

3. Estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda sistemática de literatura científica en diversas bases de datos electrónicas de renombre internacional, adhiriéndose estrictamente a las directrices y recomendaciones establecidas por la declaración PRISMA 2020 Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (Matthew, 2021).

Para optimizar la recuperación de artículos pertinentes, se emplearon estratégicamente una combinación de palabras clave y descriptores controlados, incluyendo términos como "esguince de tobillo", "grado II", "Subagudo", "propiocepción", "entrenamiento neuromuscular" y "carga progresiva".

Estas palabras clave fueron seleccionadas cuidadosamente para abarcar los aspectos fundamentales de la investigación, asegurando la identificación de estudios relevantes que abordaran la rehabilitación de esguinces de tobillo de grado II en la fase subaguda, con un enfoque particular en la propiocepción, el entrenamiento neuromuscular y la aplicación de carga progresiva.

Adicionalmente, se aplicaron criterios de filtrado específicos para refinar aún más los resultados de la búsqueda. Se estableció un filtro temporal para incluir únicamente publicaciones de los últimos 10 años, lo que garantiza la actualidad y relevancia de la evidencia científica recopilada.

Asimismo, se impuso un filtro de disponibilidad de texto completo, asegurando que solo se consideraran aquellos artículos cuyo contenido íntegro estuviera accesible para su revisión y análisis detallado.

Esta medida es crucial para evitar sesgos y garantizar que la evaluación de la evidencia se base en la información completa de cada estudio. La combinación de estas estrategias de búsqueda y filtrado permitió la identificación de un conjunto de estudios de alta calidad y pertinencia para la investigación.

Instrumentos

Se llevó a cabo una meticulosa búsqueda, empleando diversas bases de datos biomédicas de renombre, así como plataformas especializadas en fisioterapia que se fundamentan en la evidencia científica más reciente.

Este proceso de investigación sistemática permitió identificar un número considerable de estudios relevantes. Como se puede observar en la Tabla 1 se documentó con precisión el número total de estudios identificados en cada una de las fuentes consultadas, encontrando un total de 31 documentos.

Tabla 1
Base de datos

Base de datos / Fuente	Ecuación de búsqueda	Filtros aplicados	Fecha	Registros encontrados
PubMed	"Proprioceptive exercise for subacute grade 2 ankle sprain"	10 años, acceso gratuito	2025	1
Elsevier	"ankle sprain grade II REHABILITATION subacute"			8
Dialnet	"ankle sprain grade II"			3
DOAJ	"ankle sprain grade II"			19
Total				31

Procedimiento

El proceso de selección de los estudios se llevó siguiendo una serie de pasos bien definidos para asegurar la inclusión de la literatura más relevante. Inicialmente, se procedió con una detallada revisión de los títulos de los artículos identificados.

Esta primera fase tuvo como objetivo principal descartar de forma eficiente aquellos estudios cuyos títulos indicaban claramente que no estaban relacionados con el tema de investigación o que abordaban áreas de conocimiento completamente ajenas a los objetivos planteados.

Se evaluó si la metodología empleada era adecuada para responder a la pregunta de investigación y si los hallazgos potenciales tendrían un impacto significativo en la práctica clínica o en la comprensión del fenómeno estudiado. Esta revisión detallada permitió identificar aquellos trabajos que presentaban un diseño de estudio robusto y resultados potencialmente aplicables.

Resultados

Finalmente, se realizó una revisión exhaustiva del texto completo de los artículos que superaron las fases previas. En esta etapa final y decisiva, se aplicaron rigurosamente los criterios de elegibilidad que habían sido establecidos previamente.

Como resultado de este procedimiento, el flujo de selección se detalla en la Figura 1. Inicialmente, en la fase de identificación se recuperaron un total de 31 artículos distribuidos en diversas bases de datos, tras descartar los estudios que no correspondían a los objetivos tras la lectura de títulos y resúmenes, se excluyeron 10 registros, dando un total de 21 artículos para la fase de elegibilidad, al final, tras la revisión exhaustiva del texto completo, la muestra quedó conformada de manera definitiva por 21 estudios incluidos en la revisión final.

Figura 1
Flujo de selección

IDENTIFICACIÓN	Registros identificados en bases de datos (n=31)	PubMed (n=1)	Elsevier (n=8)	Dialnet (n=3)	DOAJ (n=19)
	Total de registros (n=31)				
PROYECCIÓN	Registros después de eliminar duplicados (n=31)	Registros examinados por título y resumen (n=31)			
	Registros excluidos (n=10)				
ELEGIBILIDAD	Artículos evaluados a texto completo (n=21)	Artículos excluidos con razones (n= 0)			
INCLUIDOS	Estudios incluidos en la revisión final (n=21)				

A la vista en la tabla 2, se presenta una compilación de títulos que guardan una estrecha relación con la temática central de la investigación en curso. Cada uno de estos títulos viene acompañado de un conciso, pero informativo resumen, el cual tiene como propósito principal ofrecer un contexto general y una visión panorámica de los documentos referenciados. Este resumen facilita una comprensión inicial de la relevancia y el contenido esencial de cada fuente.

Adicionalmente, la tabla especifica el año de publicación de cada documento, para evaluar la actualidad y la pertinencia temporal de la información. Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas completas, lo que permite a los lectores y a otros investigadores localizar y consultar las fuentes originales para una verificación más profunda o para ampliar sus conocimientos sobre aspectos específicos.

Tabla 1
Selección de datos

Título	Resumen	Autor, Año
Comparación del entrenamiento neuromuscular y los ejercicios de cadena cerrada en atletas con esguinces de tobillo: eficacia en la reducción del dolor, la movilidad articular, el equilibrio y la discapacidad funcional: un ensayo controlado aleatorizado	Comparó el entrenamiento neuromuscular con ejercicios de cadena cerrada en 40 atletas con esguinces de tobillo agudos de grado I-II.	(Memon & Chandran, 2025)
Efectos del entrenamiento neuromuscular con y sin Kinesio-Tape sobre el dolor, el rango de movimiento, el equilibrio y la función en futbolistas con esguince de tobillo	Ambos tratamientos mejoraron significativamente el dolor, el rango de movimiento, el equilibrio y los resultados funcionales. Sin embargo, el grupo que recibió entrenamiento neuromuscular suplementado con Kinesio-Tape (KT) exhibió una mayor efectividad en el esguince de tobillo.	(Memon C. S., 2025)
El ejercicio de patear el balón mejora rápidamente el dolor y la función en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo: un ensayo controlado aleatorizado	Los pacientes de ambos grupos fueron tratados con PRICE y ejercicio de bomba de tobillo, y los del grupo de intervención agregaron el ejercicio de patada de balón.	(Qin, 2025)
Tiempo de recuperación dependiente de la gravedad en esguinces laterales agudos de tobillo: una evaluación ecográfica del desplazamiento talofibular	Se aclara la duración de la recuperación del desplazamiento anterior de la articulación del tobillo en pacientes con esguince lateral de tobillo agudo inicial de varias severidades.	(Uchida, 2025)
Prevalencia, diagnóstico y tratamiento de los trastornos musculoesqueléticos en deportistas de élite: una mini revisión	Revisa y ofrece una visión general de los factores desencadenantes de las lesiones musculoesqueléticas más comunes en el deporte de élite, la presentación clínica, la evaluación diagnóstica y las recomendaciones de tratamiento con el fin de prevenir afecciones en el rendimiento y la salud general de los atletas de élite.	(Romero, 2024)
Reporte de caso os trigonum	La radiografía muestra la presencia de un os trigonum, una variante anatómica asociada al síndrome del hueso trigono, caracterizado por dolor posterior en el tobillo, particularmente en actividades que implican flexión plantar repetitiva.	(Michelle, 2024)
Efecto de un programa de fisioterapia acuática versus convencional sobre el esguince de tobillo grado III en deportistas de élite: ensayo controlado aleatorizado	La terapia acuática es más eficaz que los protocolos tradicionales para la rehabilitación temprana del esguince agudo de tobillo grado III en atletas profesionales de élite.	(Sadaak, 2024)
Efecto de un programa de ejercicios de salto multidireccional con tobillo sujeto sobre el rendimiento de salto en atletas con inestabilidad crónica de tobillo: un ensayo controlado aleatorio	La inestabilidad crónica del tobillo provoca alteraciones en la función articular, especialmente al saltar y correr, lo que reduce el rendimiento deportivo	(Rivzi, 2023)
El efecto de una tobillera externa en el retorno al juego tras esguinces de tobillo en atletas universitarios de élite	El propósito de este estudio fue determinar el regreso al juego en atletas universitarios de la División I después de ser tratados con una tobillera externa después de un esguince de tobillo de Grado I-IV.	(Closkey, 2022)
Estudio aleatorizado, doble ciego, de no inferioridad de gel de dietilamina de diclofenaco al 2,32 % aplicado dos veces al día frente a gel de dietilamina de diclofenaco al 1,16 % aplicado cuatro veces al día en pacientes con esguince agudo de tobillo.	El gel de dietilamina de diclofenaco ha demostrado eficacia para el tratamiento de esguinces de tobillo. Los criterios de valoración secundarios incluyeron medidas de sensibilidad del tobillo, función articular, hinchazón e intensidad del dolor informado por el paciente y alivio del dolor.	(Yin, 2022)
Plasma rico en plaquetas, un biomaterial, para el tratamiento del ligamento talofibular anterior en el esguince de tobillo lateral	El Plasma Rico en Plaquetas (PRP) contiene factores de crecimiento que favorecen la curación; sin embargo, ningún estudio evaluó calidad y resultados clínicos para este tratamiento, aunque la inyección de PRP alivió síntomas iniciales de esguince lateral de tobillo.	(Zhang, 2022)
Efecto a corto plazo de la terapia manual y el vendaje en esguinces subagudos de tobillo con potencial esguince sindesmótico: una serie de casos	Se realizó un análisis con 7 pacientes, estos tenían esguince de tobillo con características parecidas, se aplicó el mismo tratamiento, se compararon los avances y mejoras de cada uno, también se analizó el tiempo de recuperación y cuanto tardaron en reintegrarlos a sus actividades normales.	(Shumway, 2021)

Los efectos de la vibración de cuerpo entero sobre los límites de estabilidad en adultos con lesión subaguda de tobillo	Se planteó la hipótesis de que la vibración de cuerpo entero mejoraría los efectos en las variables de resultado como un componente del equilibrio dinámico. Los hallazgos sugieren que una sola sesión de alta frecuencia en personas con un esguince de tobillo lateral subagudo puede mejorar varios componentes de la estabilidad postural.	(Young, 2021)
Efectos de Danguixu-san en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo: un ensayo controlado aleatorizado	Este estudio fue un ensayo clínico multicéntrico, aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo, con un análisis por protocolo y subanálisis de gravedad. Los resultados favorecen a Danguixu-San con acupuntura, sugiriendo un tratamiento seguro y efectivo a largo plazo para reducir el dolor y aliviar síntomas en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo grado I o II.	(Kim, 2021)
Efecto de la movilización con movimiento (MWM) en los resultados clínicos de los esguinces laterales de tobillo: una revisión sistemática y un metaanálisis	La movilización con movimiento con carga parece ser beneficiosa para mejorar la dorsiflexión con carga inmediatamente después de su aplicación en esguinces de tobillo crónicos recurrentes, en comparación con la ausencia de tratamiento o la terapia simulada.	(Weerasekara, 2020)
Efecto complementario del Kinesio-Tape en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo: un ensayo controlado aleatorizado	Los resultados indican que la acupuntura más KT no mostró un efecto positivo adicional en cuanto a la reducción del dolor, el edema, la recuperación de la función, las actividades de la vida diaria, la calidad de vida o la recaída de esguince lateral de tobillo agudo.	(Shin, 2020)
Diagnóstico y tratamiento de las lesiones de la sindezmiosis tibio-peronea	El estudio debe extenderse más allá de las lesiones de sindezmiosis, que aparecen asociadas con lesiones del ligamento deltoideo y del ligamento colateral lateral, especialmente en presentaciones crónicas con lesiones sucesivas, lo que lleva a una inestabilidad rotacional compleja con alto riesgo de osteoartritis.	(Tourné, 2019)
¿Tienen los esguinces de tobillo de grado II efectos crónicos en la capacidad funcional de los bailarines de ballet que realizan la postura monopodal con el pie plano? Un estudio observacional transversal.	La propiocepción del tobillo es de suma importancia para ejecutar posiciones estáticas y dinámicas típicas del ballet.	(Bodini, 2019)
Cambios tempranos en la eversion e inversión isométrica después de esguinces agudos de tobillo	El objetivo de la investigación fue detectar cambios tempranos en el torque máximo de eversion e inversión isométrica después de esguinces agudos de tobillo y compararlos con los métodos habituales. Las pruebas isométricas detectan cambios tempranos en la eversion e inversión y facilitan el seguimiento de la rehabilitación tras esguinces laterales agudos de tobillo.	(Tankevicius, 2018)
El efecto del vendaje versus el uso de un soporte semirrígido sobre el resultado y la satisfacción del paciente con esguinces de tobillo: un ensayo controlado aleatorizado prospectivo	Los pacientes con esguince de tobillo agudo recibieron reposo, hielo, compresión y elevación con un vendaje compresivo en el servicio de urgencias. El tratamiento del esguince de tobillo agudo con una férula semirrígida produce una comodidad y satisfacción del paciente significativamente mayores, ambas con resultados igualmente buenos.	(Lardenoye, 2012)

Nota. PRICE acrónimo Protección, Reposo, Ice (hielo), Compresión, Elevación.

Tabla 3
 Recopilación de datos

Autor (año)	Diseño de estudio	Tamaño de la muestra	Descripción de la muestra
(Memon & Chandran, 2025)	Revisión sistemática	40	Atletas con esguinces agudos de tobillo de grado I y II
(Memon C. S., 2025)	Ensayo clínico	30	Jugadores de fútbol americano masculinos con esguince de tobillo grado I y II
(Qin, 2025)	Ensayo clínico	68	Pacientes de 18-45 años con esguince lateral de tobillo de grado I y II
(Uchida, 2025)	Estudio observacional	101	Pacientes con desgarros de ligamentos y desplazamiento de la articulación anterior del tobillo utilizando la prueba inversa del cajón anterior con ecografía.
(Michelle, 2024)	Reporte de caso	1	Paciente femenina de 21 años con esguince de tobillo grado II
(Sadaak, 2024)	Artículo de investigación	30	Atletas de élite con esguince de tobillo grado III entre 18 y 30 años
(Romero, 2024)	Mini-revisión		Deportistas de elite
(Rivzi, 2023)	Ensayo clínico	30	Atletas con >6 meses de esguince de tobillo de grado I y II
(Yin, 2022)	Estudio observacional	313	Pacientes con esguince de tobillo grado II
(Zhang, 2022)	Artículo de investigación	N/A	Esguince de tobillo grado II
(Closkey, 2022)	Artículo de investigación	N/A	Esguinces de tobillo (grado I-IV)
(Shumway, 2021)	Serie de casos	7	Militares en servicio activo con diagnóstico de esguince de tobillo de alto grado y sospecha de esguince sindesmótico participaron en esta serie de casos.
(Young, 2021)	Estudio experimental	15	Pacientes de 19 a 27 años con esguince lateral de tobillo de grado I y II
(Kim, 2021)	Ensayo clínico	48	Esguince agudo de tobillo lateral
(Weerasekara, 2020)	revisión sistemática y metaanálisis	N/A	Esguinces laterales de tobillo
(Shin, 2020)	Ensayo clínico	56	Esguince agudo de tobillo lateral
(Tourné, 2019)	Artículo de investigación	N/A	Esguince de tobillo grado II entre 15 y 25 años al menos 10 años de practica de ballet
(Bodini, 2019)	Estudio observacional	22	Atletas con esguince agudo de grado II
(Tankevičius, 2018)	Artículo de investigación	80	Esguinces de tobillo grado II y II
(Lardenoye, 2012)	Ensayo clínico	100	Esguinces de tobillo grado II y II

Análisis de datos

Se empleó la aplicación de hoja de cálculo Excel, parte integral de la suite Microsoft Office Profesional Plus 2021, específicamente la versión 2511, como herramienta principal para la minuciosa organización y estructuración de todos los artículos de investigación que fueron identificados y que, tras un riguroso proceso de selección, lograron satisfacer plenamente los criterios de inclusión previamente definidos y establecidos. Esta elección de software permitió una gestión eficiente de los datos, facilitando la clasificación, el filtrado y el análisis preliminar de la información recopilada, asegurando así una base de datos coherente.

En la tabla 4 se describen los resultados de estudios publicados entre 2012 y 2025 que analizan distintas intervenciones aplicadas principalmente en la fase aguda del esguince de tobillo, aunque también se incluyen investigaciones en fases subagudas y crónicas. Predominan los abordajes conservadores, como el entrenamiento neuromuscular, la terapia manual, el uso de vendajes y férulas, la movilización articular y el tratamiento farmacológico. Los resultados muestran, en general, mejoras significativas en el dolor, el rango de movimiento, el equilibrio y la función del tobillo, especialmente cuando se combinan intervenciones activas con técnicas complementarias como el kinesio-tape, la terapia acuática o la acupuntura. Asimismo, algunos estudios destacan la influencia de factores individuales, como la gravedad de la lesión o la presencia de variantes anatómicas, en el tiempo de recuperación y el pronóstico funcional. En conjunto, la información presentada evidencia la heterogeneidad de los protocolos terapéuticos y resalta la importancia de individualizar el tratamiento según la fase de la lesión y las demandas funcionales del paciente.

Tabla 4
 Intervenciones

Autor, año	Fase de la lesión	Intervención (Resumen)	Resultado(s) evaluado(s)
(Memon & Chandran, 2025)	Fase aguda	Entrenamiento neuromuscular con ejercicios de cadena cerrada	En el grupo Kinesio-Tape se encontraron mayores ganancias en cuanto al rango de movimiento en dorsiflexión, plantiflexión y el equilibrio, en comparación con el grupo cadena cerrada.
(Memon C. S., 2025)	Fase subaguda	Entrenamiento neuromuscular con y sin Kinesio-Tape	Tras 4 semanas de intervención hubo mejoras significativas en la reducción del dolor, la amplitud de control, el equilibrio y la función deportiva sin embargo en el grupo B (grupo que recibió kinesio-tape, junto con el entrenamiento neuromuscular) mostro mejoras superiores.
(Qin, 2025)	Fase aguda	Analgésicos	Durante las 4 semanas del tratamiento las puntuaciones de EVA y los grados de inflamación de los pacientes del grupo de intervención que recibieron un analgésico más rápido la hinchazón disminuyó y restauró la función del tobillo.

Tabla 4
Intervenciones

(Uchida, 2025)	Fase aguda	Ejercicio terapéutico	Estos resultados revelaron que el tiempo de recuperación del desplazamiento varía según la gravedad del esguince, lo que sugiere la necesidad de desarrollar protocolos de tratamiento óptimos
(Michelle, 2024)	Fase aguda	Inmovilización y administración de antiinflamatorios.	La radiografía muestra la presencia de un os trigonum, una variante anatómica asociada al síndrome del hueso trigono.
(Sadaak, 2024)	Fase aguda	Terapia acuática	La terapia acuática reduce la intensidad del dolor, mejora el equilibrio dinámico, el rendimiento y la potencia atléticos, y acelera su reincorporación a la actividad deportiva.
(Romero, 2024)	Fase subaguda	terapia manual, agentes electro- físicos, electrolisis percutánea y ejercicio.	Ofrece una visión general de los factores desencadenantes de las lesiones musculoesqueléticas más comunes en el deporte de élite, la presentación clínica, la evaluación diagnóstica y las recomendaciones de tratamiento.
(Rivzi, 2023)	Fase de prevención /retorno al deporte	ejercicios de rango activo de movimiento, ejercicios de salto multidireccional y programa de ejercicios de salto multidireccional con tobillo sujeto.	La comparación intergrupar mostro mejoría significativa entre los grupos 2 y 3, con valor medio inicial hasta la 5ª semana de intervención en el dolor, la altura del salto vertical y la puntuación de discapacidad del tobillo.
(Yin, 2022)	Fase subaguda	Aplicación de gel dietilamina diclofenaco	El gel de dietilamina diclofenaco ha demostrado eficacia para el tratamiento de esguinces de tobillo.
(Zhang, 2022)	Fase aguda	Inyección PRP (Plasma Rico en Plaquetas)	La inyección de PRP ayudó a aliviar los primeros síntomas del esguince lateral de tobillo, aunque todos los pacientes vieron un desarrollo similar tras 6 meses.
(Closkey, 2022)	Fase aguda/ subaguda	Férula externa	Se observó una diferencia significativa en la regresión al deporte de 8,6 días para atletas que sufrieron esguinces de grado I y II tratados con la férula externa del tobillo.
(Shumway, 2021)	Fase subaguda/retorno al deporte	Terapia manual, vendaje deportivo, ejercicios progresivos y entrenamiento propioceptivo.	Todos los pacientes mostraron una disminución inmediata de la escala numérica del dolor tras el tratamiento, con un promedio de 5 puntos (rango: 3-8 puntos), con un signo de asterisco funcional
(Young, 2021)	Fase subaguda	Vibración de cuerpo entero de alta y baja frecuencia	Se examinó la diferencia en los efectos de la vibración de cuerpo entero de alta y baja frecuencia en adultos con un esguince subagudo de tobillo.
(Kim, 2021)	Fase aguda	Acupuntura	Los resultados favorecen la Dangguixu-San combinada con acupuntura y sugieren que es un tratamiento seguro con efectos positivos a largo plazo en términos de reducción del dolor y alivio de los síntomas en pacientes con esguince lateral de tobillo de grado I o II.
(Weerasekara, 2020)	Fase aguda	Movilización con movimiento.	La movilización con carga de peso mejora la dorsiflexión con carga inmediata después de aplicarla en esguinces de tobillo crónicos recurrentes, en comparación con la ausencia de tratamiento o la simulación
(Shin, 2020)	Fase aguda	Kinesio-Tape.	No hubo diferencias significativas entre grupos en cuanto a ningún resultado ni en un subanálisis basado en la gravedad de los síntomas.
(Tourné, 2019)	Fase subaguda	Estabilización	La estabilización aislada con botón de sutura, tanto en casos subagudos como crónicos, con sinovectomía y/o refresco, puede ser suficiente para lograr una estabilización mecánica.

(Bodini, 2019)	Fase subaguda	Se utilizó un baro podómetro postural multisensorial.	Según los parámetros evaluados en este estudio, los esguinces de tobillo grado II parecen tener un pronóstico favorable en relación con la capacidad funcional de bailarinas amateur al realizar la posición de un solo pie con planta apoyada y otras posiciones específicas de ballet.
(Tankevičius, 2018)	Fase aguda	Pruebas isométricas	Se midió el torque máximo isométrico y la diferencia de torque entre la pierna sana y la lesionada, en movimientos de eversion e inversión de tobillo.
(Lardenoye, 2012)	Fase aguda	Ejercicio terapéutico	El resultado funcional de la articulación del tobillo fue similar entre los dos grupos de tratamiento, así como el dolor reportado.

Nota. EVA acrónimo Escala Visual Analógica

Resultados

Procedimiento

De acuerdo con los hallazgos presentados, el 19% de la literatura analizada establece de manera explícita un periodo de intervención de 4 a 5 semanas, mientras que el 81% restante no especifica un tiempo estricto. Esta discrepancia sugiere que, aunque existe un consenso clínico sobre la duración promedio, la mayoría de los estudios omite la estandarización exacta de los tiempos de tratamiento.

Las intervenciones que mostraron efectos superiores fueron el entrenamiento neuromuscular combinado con Kinesio Tape, ejercicio de patada de talón, la terapia acuática, y la movilización con movimiento (MWM).

Se observó un aumento en la dorsiflexión y la eversion isométrica mediante el entrenamiento neuromuscular, a la vez que ejercicios específicos como el salto multidireccional favorecieron la movilidad funcional. Asimismo, el entrenamiento propioceptivo, la vibración corporal completa y el ejercicio neuromuscular propiciaron mejoras significativas en la estabilidad postural, destacando que la combinación de estos ejercicios (Memon & Chandran, 2025) con Kinesio Tape optimizó el equilibrio en mayor medida que el entrenamiento aislado. Los programas progresivos de carga, saltos y propiocepción lograron un retorno más rápido al deporte (hasta 8.6 días más rápido con férula externa) y mejora en pruebas funcionales (FADI-sports, salto vertical).

Intervenciones como la vibración corporal completa y los programas neuromusculares redujeron el riesgo de inestabilidad crónica. Los programas progresivos demostraron prevenir recaídas de manera más efectiva que los enfoques pasivos (reposo, vendaje simple).

Diseño

Como resultado, se logró delimitar un conjunto de estudios que cumplieron con los requisitos metodológicos, clínicos, y temporales definidos previamente. Esto contribuyó a reducir el riesgo de sesgo y a fortalecer la validez interna de los resultados sintetizados, conforme a la Grafica 1, la aplicación de criterios de selección resultó en la exclusión del 24% de los artículos por falta de pertinencia temática. La muestra final se integró por estudios originales sobre ejercicio terapéutico en diversas fases del esguince de tobillo, descartándose investigaciones centradas en terapias ajenas al ejercicio, otras patologías del tobillo o pie, duplicados o datos incompletos.

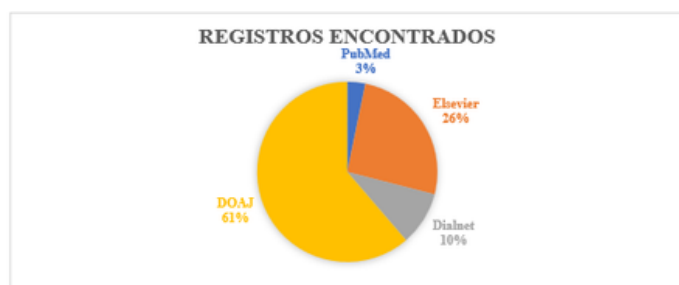
Grafica 1

Criterios de elegibilidad



Grafica 2

Distribución de estudios por base encontradas



Discusión

De acuerdo con la revisión actual de los resultados, el tratamiento del esguince de tobillo grado II en fase subaguda muestra un progreso clínico favorable cuando se priorizan los programas de ejercicio activo y los principios de carga progresiva por encima de técnicas pasivas de recuperación. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por (Bleakley, 2010), quienes señalan que los programas funcionales tempranos favorecen una disminución más rápida del dolor y una recuperación funcional superior en comparación con enfoques basados en reposo prolongado e inmovilización.

La reducción significativa del dolor observada desde la primera o segunda semana de intervención sugiere que las estrategias terapéuticas analizadas tienen un efecto temprano sobre la modulación del dolor, lo cual coincide con lo descrito por (van der Wees, 2006), quienes destacan que la activación temprana del movimiento mejora la tolerancia a la carga y acelera la recuperación funcional en fases subagudas.

Al comparar las distintas modalidades de ejercicio terapéutico, se observa que intervenciones como la terapia acuática, la movilización activa y los ejercicios funcionales presentan mayores beneficios para la recuperación de la movilidad articular. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de (Mira, 2021), quienes reportan que el ejercicio en medio acuático permite una movilización temprana con menor impacto articular. Asimismo, (Hupperets, 2009) señalan que la rehabilitación funcional basada en ejercicios activos reduce la recurrencia del esguince y mejora la estabilidad percibida del tobillo.

La relevancia clínica de estos hallazgos radica en que los programas neuromusculares y de carga progresiva facilitan el restablecimiento de la funcionalidad del paciente.

En este sentido, los resultados coinciden con lo descrito por (McKeon, 2008), quienes sostienen que el entrenamiento propioceptivo mejora el control neuromuscular y la estabilidad postural. De igual manera, la presente evidencia indica que la vibración corporal completa y el entrenamiento propioceptivo no solo fortalecen la estabilidad postural, sino que también actúan como factores protectores frente a la inestabilidad crónica del tobillo, lo cual coincide con los hallazgos de (Martín-Casado, 2011), quienes reportaron mejoras significativas en el equilibrio dinámico tras este tipo de intervención.

Asimismo, la recuperación de la dorsiflexión y la eversión mediante ejercicios isométricos y entrenamiento específico resulta clave para alcanzar una movilidad funcional adecuada, especialmente al integrar actividades dinámicas como saltos multidireccionales. Estos resultados respaldan lo planteado por (Cerrillo-Sanchis, 2024), quienes identifican que la limitación de la dorsiflexión se asocia con un mayor riesgo de recaída y déficits funcionales persistentes.

Los programas basados en carga progresiva demostraron ser más eficaces que los enfoques convencionales de reposo o vendaje aislado para prevenir recaídas y facilitar el retorno a las actividades cotidianas. En concordancia, (Doherty, 2017) concluyen que la progresión adecuada de la carga optimiza la adaptación neuromuscular y el desempeño funcional. Además, los resultados sugieren que las intervenciones combinadas, como el ejercicio terapéutico junto con la aplicación de Kinesio Tape, presentan mayores mejoras en el equilibrio en comparación con el ejercicio realizado de forma aislada, lo cual coincide con lo reportado por (Chang, 2015) sobre el efecto complementario del vendaje neuromuscular. No obstante, el presente análisis presenta limitaciones relevantes. La disminución del número de estudios incluidos, de 31 a 21 artículos, derivada de criterios de exclusión por falta de relevancia temática o información incompleta, limita la generalización de los resultados.

Además, se observa que el retorno acelerado al deporte en varios estudios está asociado al uso simultáneo de ortesis externas, lo que dificulta atribuir los efectos exclusivamente al ejercicio terapéutico, tal como también lo señalan (Kaminski, 2013) en sus guías clínicas. Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones se enfoquen en la estandarización de los protocolos de carga progresiva para establecer dosis óptimas de ejercicio neuromuscular en función del perfil del paciente.

Asimismo, se considera pertinente evaluar la efectividad a largo plazo de la vibración corporal completa y el entrenamiento acuático como estrategias preventivas, así como realizar estudios que comparen directamente el uso de dispositivos externos frente al ejercicio terapéutico aislado para determinar la contribución específica de cada intervención en la recuperación funcional y el retorno al deporte.

Conclusión

A partir del análisis de la evidencia científica incluida en esta revisión sistemática, se concluye que los programas de ejercicio propioceptivo combinados con principios de carga progresiva son una intervención fisioterapéutica eficaz para el tratamiento del esguince de tobillo grado II en fase subaguda, al mostrar una disminución del dolor, mejoras en el rango de movimiento, el equilibrio, la estabilidad postural y la recuperación funcional.

Los resultados indican que el entrenamiento neuromuscular y propioceptivo aplicado de forma progresiva favorece la readaptación funcional y contribuye a la prevención de recurrencias y de la inestabilidad crónica de tobillo, pudiendo potenciarse mediante intervenciones complementarias integradas a programas estructurados.

Esta revisión sistemática respalda un abordaje activo y funcional en la rehabilitación del esguince de tobillo, priorizando la activación temprana, la individualización del tratamiento y la toma de decisiones basadas en la evidencia, aunque se reconoce la necesidad de futuras investigaciones con diseños más homogéneos y seguimiento a largo plazo.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Se emplearon diversas herramientas de inteligencia artificial, específicamente chatGPT, con el propósito de perfeccionar la fluidez y coherencia estilística del texto, así como para implementar correcciones gramaticales menores que contribuyeran a la claridad y profesionalismo del documento final.

La autora principal, en colaboración estrecha con los coautores, llevó a cabo una revisión exhaustiva y una edición meticulosa de la totalidad del contenido del manuscrito. Como resultado de este compromiso con la calidad y la integridad académica, la autora y los coautores asumen de manera plena y sin reservas la responsabilidad total por la precisión de los datos presentados, la originalidad de las ideas expuestas y la integridad general del manuscrito en su versión definitiva.

Referencias

- Closkey, B. F. (2022). El efecto de una tobillera externa en el retorno al juego tras esguinces de tobillo en atletas universitarios de élite. *Foot & Ankle Orthopaedics*. <https://doi.org/10.1177/2473011421s00631>
- Chang, W. D. (2015). Effects of Kinesio Taping versus McConnell Taping for Patellofemoral Pain Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 11.
- Lardenoye, S. T. (2012). El efecto del vendaje versus el uso de un soporte semirrígido sobre el resultado y la satisfacción del paciente con esguinces de tobillo: un ensayo controlado aleatorizado prospectivo. *BMC Musculoskeletal Disorders*. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-81>
- Cerrillo-Sanchis, J. R.-L.-M.-G.-N.-C.-M. (2024). Relationship between ankle dorsiflexion range of motion and sprinting and jumping ability in young athletes. *Journal of bodywork and movement therapies*, 39, 43-49.
- Bleakley, C. M. (2010). Effect of accelerated rehabilitation on function after ankle sprain: randomised controlled trial. *BMJ (Clinical research ed.)*, 340.
- Bodini, B. L. (2019). ¿Tienen los esguinces de tobillo de grado II efectos crónicos en la capacidad funcional de los bailarines de ballet que realizan la postura monopodal con el pie plano? Un estudio observacional transversal. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app10010155>
- Doherty, C. B. (2017). Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 51(2), 113-125.
- Gribble, P. A. (2014). Criterios de selección para pacientes con inestabilidad crónica de tobillo en investigación controlada: una declaración de posición del consorcio internacional de tobillo. *J Athl Train*, 121-7. <https://doi.org/10.4085>

Hupperets, M. D. (2009). Effect of unsupervised home based proprioceptive training on recurrences of ankle sprain: randomised controlled trial. *BMJ (Clinical research ed.)*, 339.

Kaminski, T. W. (2013). National Athletic Trainers' Association position statement: conservative management and prevention of ankle sprains in athletes. *Journal of athletic training*, 48(4), 528-545.

Kim, J. L. (2021). Efectos de Dangguixu-san en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo: un ensayo controlado aleatorizado. *Trials*.

<https://doi.org/10.1186/s13063-021-05135-6>

McKeon, P. O. (2008). Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part II: is balance training clinically effective? *Journal of athletic training*, 43(3), 305-315.

Martín-Casado, L. A. (2011). Review of the repercussions of ankle sprains on postural balance. *apunts MEDICINA DE L'ESPORT*, 46, 53-105.

Matthew, J. P. (Sep de 2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.

Memon, C. S. (2025). Efectos del entrenamiento neuromuscular con y sin Kinesio-Tape sobre el dolor, el rango de movimiento, el equilibrio y la función en futbolistas con esguince de tobillo. *JLUMHS*. <https://doi.org/10.22442/jlumhs.2024.01174>

Memon, A., & Chandran, S. (2025).

Comparacion del entrenamiento neuromuscular y los ejercicios de cadena cerrada en atletas con esguinces de tobillo: eficacia en la reduccion del dolor, la movilidad articular, el equilibrio y la discapacidad funcional: un ensayo controlado aleatorizado. *Journal Riphah College of Rehabilitation Sciences*.

Michelle, M. (2024). Reporte de caso os trigonum. *Revista Médica Sinergia*. <https://doi.org/10.31434/rms.v9i12.1193>

Mira, N. O. (2021). Evaluación del efecto de una rutina de ejercicios acuáticos sobre la estabilidad postural de adultos mayores. *Colombia Médica*, 52(3).

Navarro-Najarro, D. K.-H. (2000). Prevención de esguince y entrenamiento propioceptivo del tobillo en deportistas. *Rev. Digit. Act. Fis. Deport*, 1-6. <https://doi.org/10.31910>

Ordóñez-Flores, A. R.-S.-B.-M.-T.-M. (2024). Comparing costs and timing of ankle sprain care in two first-tier care systems. *Cirugia y cirujanos*, 751-757. <https://doi.org/10.24875>

Peters-Dickie, J. L. (2025). Ankle sprain history and clinical outcome have limited influence on walking and running biomechanics among runners: a cross-sectional study. *Frontiers in sports and active living*,.

<https://doi.org/10.3389>

Pourkazemi, F. H. (2014). Predictors of chronic ankle instability after an index lateral ankle sprain: a systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 568-573.

Qin, Q. Z. (2025). El ejercicio de patear el talón mejora rápidamente el dolor y la función en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo: un ensayo controlado aleatorizado. *BMC Musculoskeletal Disorders*. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08881-9>

Rivzi, F. S. (2023). Efecto de un programa de ejercicios de salto multidireccional con tobillo sujeto sobre el rendimiento de salto en atletas con inestabilidad crónica de tobillo: un ensayo controlado aleatorio. *Revista de Investigación Clínica y Diagnóstica*. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2023/58212.17496>

Romero, C. L. (2024). Prevalencia, diagnóstico y tratamiento de los trastornos musculoesqueléticos en deportistas de élite: una minirevisión. Elsevier. doi:10.1016/j.disamonth.2023.101629

Rosas-Ojeda, M. (2020). Esguince de tobillo recuerdo anatómico, diagnostico, tipos y tratamiento. *Apunt.Cienc*, 1-6.

- Salcedo, J. I. (2000). Esguince de tobillo. Valoración en Atención Primaria. Medicina Integral. revista-medicina-integral-63-articulo-esguince-tobillo-valoracion-atencion-primaria, 36(2). <https://doi.org/11659>
- Sadaak, M. M. (2024). Efecto de un programa de fisioterapia acuática versus convencional sobre el esguince de tobillo grado III en deportistas de élite: ensayo controlado aleatorizado. Revista de Cirugía Ortopédica e Investigación. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04855-0>
- Shin, J. K. (2020). Efecto complementario del kinesiotape en pacientes con esguince de tobillo lateral agudo: un ensayo controlado aleatorizado. Trials. <https://doi.org/10.1186/13063-020-4111-z>
- Shumway, J. D. (2021). Short-Term Effect of Manual Therapy & Taping on Subacute Ankle Sprains with Potential Syndesmotic Sprain: A Case Series. The Journal of manual & manipulative therapy, 116-123. <https://doi.org/10.1080/10669817.2021.1974240>
- Tankevičius, G. L. (2018). Cambios tempranos en la eversión e inversión isométrica después de esguinces agudos de tobillo. Baltic Journal of Sport and Health Sciences. <https://doi.org/10.33607/bjshs.v4i91.180>
- Tourné, Y. F. (2019). Diagnosis and treatment of tibiofibular syndesmosis lesions. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.09.014>
- Uchida, Y. K. (2025). Tiempo de recuperación dependiente de la gravedad en esguinces laterales agudos de tobillo: una evaluación ecográfica del desplazamiento talofibular. Journal of Experimental Orthopaedics. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70204>
- Van Der Wees, P. J. (2006). Effectiveness of exercise therapy and manual mobilisation in ankle sprain and functional instability: a systematic review. The Australian journal of physiotherapy, 52(1), 27-37.
- Van Dijk, C. N. (1996). Diagnosis of ligament rupture of the ankle joint: physical examination, arthrography, stress radiography and sonography compared in 160 patients after inversion trauma. Acta Orthopaedica Scandinavica, 566-570.
- Velázquez, I. P. (2022). Efectividad del ejercicio excéntrico en el tratamiento de las tendinopatías. Revista para profesionales de la salud, 54-72.
- Weerasekara, I. D. (2020). Effect of Mobilisation with Movement (MWM) on clinical outcomes in lateral ankle sprains: A systematic review and meta-analysis. The Foot. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2029.101657>
- Yin, F. J. (2022). Estudio aleatorizado, doble ciego, de no inferioridad de gel de dietilamina de diclofenaco al 2,32 % aplicado dos veces al día frente a gel de dietilamina de diclofenaco al 1,16 % aplicado cuatro veces al día en pacientes con esguince agudo de tobillo. BMC Musculoskeletal Disorders. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06077-z>
- Young, S. W. (2021). Los efectos de la vibración de cuerpo entero sobre los límites de estabilidad en adultos con lesión subaguda de tobillo. International Journal of Sports Physical Therapy. <https://doi.org/10.26603/001c.24250>
- Zhang, J. W. (2022). Plasma rico en plaquetas, un biomaterial, para el tratamiento del ligamento talofibular anterior en el esguince de tobillo lateral. Fronteras en Bioingeniería y Biotecnología. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1073063>