

Efectos de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación en pruebas motrices específicas en jugadoras universitarias de fútbol sala.

Juan Sebastián Del Villar Nieto

Trabajo de Grado para Optar al Título de Magister en Desarrollo del Talento Deportivo

Director

Lianell Jova Elejalde.
Doctor en Ciencias de la Cultura Física

Codirector

Jorge Enrique Buitrago Espitia
Doctor en Ciencias de la Cultura Física

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Humanas

Departamento de Educación Física y Deportes

Programa Académico Maestría en Desarrollo del Talento Deportivo

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a Dios por darme la vida, la bendición de poderme levantar de mi cama todos los días y trabajar en lo que me apasiona.

Agradecimientos

Agradecerle a mi madre darme la vida y a mi abuela por criar, cuidar y guiar al hombre que soy el día de hoy.

Le agradezco a mis profesores, al doctor Lianell Jova, por guiarme en este camino tan bonito que es hacer una tesis de maestría; al doctor Jorge Buitrago por su ayuda en clase y por transmitir sus conocimientos siempre con la mejor disposición y al doctor Fabio Villafrades por ser un excelente jefe.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Cuerpo del Trabajo	16
2.1 Marco Referencial.....	16
PAPE con Máquina Inercial: Efectos sobre CMJ, Sprint y COD.....	17
Efectos sobre el CMJ	18
Efectos sobre el Sprint	19
Efectos sobre el COD.....	20
PAPE con Saltos Pliométricos y de Cajón: Efectos sobre CMJ, Sprint y COD.....	21
Efectos sobre el CMJ	21
Efectos sobre el Sprint	22
Efectos sobre el COD.....	23
2.2 Método.	24
Tipo de estudio.....	24
Población y muestra.....	25
Criterios de inclusión	25
Criterios de exclusión	26
Métodos empleados en la investigación	26
Estrategia de búsqueda de los artículos relacionados con la investigación	27

Bases de datos consultadas	27
Procedimiento (fases del estudio)	28
2.3 Técnicas e instrumentos	29
Protocolo de Activación con Dispositivo Inercial (Flywheel).....	29
Protocolo de Activación con Saltos de Cajón (Drop Jumps).....	30
Prueba de Salto con Contramovimiento (CMJ)	30
Test de Sprint de 30 Metros	31
Test de Cambio de Dirección COD 505	31
Aspectos éticos.....	32
2.4 Resultados.	34
Características de las participantes	34
Verificación de Normalidad.....	36
Diseño del Análisis	37
Resultados del CMJ	37
Resultados del COD 505.....	39
Resultados del Sprint 30 metros	40
2.5 Discusión.....	43
3. Conclusiones.....	49
4. Limitaciones.....	50
5. Recomendaciones	52
Referencias Bibliográficas	54
Apéndices.....	59
Apéndice A: Consentimiento informado.	59

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Perfil antropométrico de las participantes	35
Tabla 2: Prueba de normalidad de Shapiro Wilks	36
Tabla 3: Comparación entre los 2 métodos PAPE de la altura de salto y potencia en salto contramovimiento	38
Tabla 4: Comparación entre los 2 métodos PAPE del cambio de dirección 505	40
Tabla 5: Comparación entre los 2 métodos PAPE del tiempo y la velocidad media de desplazamiento en Sprint 30 metros	42

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A: Consentimiento informado.	59

Resumen

Título: Efectos de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación en pruebas motrices específicas en jugadoras universitarias de fútbol sala.

Autor: Juan Sebastián Del Villar Nieto

Palabras Clave: FUTSAL, CMJ, SPRINT, COD, FLYWHEEL, DROP JUMPS

Descripción: El presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto agudo de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación sobre el rendimiento en jugadoras de futsal femenino. Participaron 15 jugadoras bajo un diseño cruzado (crossover), quienes completaron dos sesiones experimentales en orden fijo: un protocolo de seis saltos desde cajón de 45 cm (Drop Jump, DJ) y un protocolo de seis medias sentadillas en máquina inercial (Flywheel, FL). Se evaluaron la potencia en el salto con contramovimiento (CMJ), la velocidad media de desplazamiento en sprint de 30 metros y el tiempo en el test de cambio de dirección (COD), registrando mediciones pre y post-activación en ambas sesiones.

El análisis estadístico se realizó mediante IBM SPSS Statistics. La normalidad fue verificada con la prueba de Shapiro-Wilk ($p > .05$ en todas las variables), y para el análisis inferencial se aplicó un ANOVA de medidas repetidas con diseño factorial 2×2 (Protocolo \times Tiempo), reportando el eta cuadrado parcial (η^2p) como índice del tamaño del efecto.

Los resultados indicaron que ambos protocolos indujeron mejoras significativas en la potencia del CMJ ($p < .001$, $\eta^2p = .606$) y en la velocidad media de desplazamiento ($p < .001$, $\eta^2p = .715$), sin diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, únicamente el protocolo FL generó una mejora significativa en el cambio de dirección, evidenciada por una interacción Protocolo \times Tiempo estadísticamente significativa ($F(1,14) = 5.494$, $p = .034$, $\eta^2p = .282$).

Se concluye que ambos protocolos son equivalentes para potenciar la capacidad de salto y la velocidad lineal, mientras que la sentadilla en máquina inercial representa la estrategia de mejora de rendimiento más adecuada cuando el objetivo es mejorar el rendimiento en cambio de dirección en jugadoras de futsal femenino.

Efectos de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación en pruebas motrices específicas en jugadoras universitarias de fútbol sala. Facultad de Ciencias humanas. Departamento de educación física y deportes. Director: Lianell Jova Elejalde. Doctor en Ciencias de la Cultura Física.

Abstract

Title: Effects of two post-activation performance enhancement protocols on specific motor tests in female college futsal players.

Author: Juan Sebastián Del Villar Nieto

Key Words: FUTSAL, CMJ, SPRINT, COD, FLYWHEEL, DROP JUMPS.

Description: The aim of this study was to compare the acute effects of two post-activation performance enhancement (PAPE) protocols in female futsal players. Fifteen players participated in a crossover design, completing two experimental sessions in fixed order: a protocol consisting of six 45-cm box jumps (Drop Jump, DJ) and a protocol consisting of six half-squats on an inertial machine (Flywheel, FL). Counter-movement jump (CMJ) power, average speed during a 30-meter sprint, and time on the change of direction (COD) test were assessed, with pre- and post-activation measurements recorded in both sessions.

Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics. Normality was verified using the Shapiro-Wilk test ($p > .05$ for all variables), and for inferential analysis, a repeated-measures ANOVA with a 2×2 factorial design (Protocol \times Time) was applied, reporting partial eta-squared (η^2p) as an effect size measure.

The results indicated that both protocols led to significant improvements in MPM power ($p < .001$, $\eta^2p = .606$) and average walking speed ($p < .001$, $\eta^2p = .715$), with no significant differences between them. However, only the FL protocol generated a significant improvement in change of direction, evidenced by a statistically significant Protocol \times Time interaction ($F(1,14) = 5.494$, $p = .034$, $\eta^2p = .282$).

It is concluded that both protocols are equivalent for enhancing jumping ability and linear speed, while the inertial machine squat represents the most appropriate PAPE strategy when the goal is to improve change-of-direction performance in female futsal players.

Effects of two post-activation performance enhancement protocols on specific motor tests in female college futsal players. School of Humanities. Department of Physical Education and Sports. Director: Lianell Jova Elejalde. PhD in Sports Science.

Introducción

El fútbol sala, también conocido como fútbol de salón, fue creado por el profesor Juan Carlos Ceriani Gravier en Uruguay en el año de 1930 con el propósito de adaptar el fútbol tradicional a espacios reducidos, como canchas de baloncesto o gimnasios cubiertos (Polidoro et al., 2013). Su denominación oficial "futsal" proviene de la combinación de las palabras fútbol y salón, y fue adoptada internacionalmente por la FIFA tras el segundo campeonato mundial realizado en Madrid en 1985 (Polidoro et al., 2013). Se juega en un espacio reducido de 40 x 20 metros entre dos equipos de cinco jugadores con siete sustitutos sin límite de reemplazos; un partido se divide en dos tiempos de 20 minutos y el reloj puede ser detenido en función de las situaciones del juego. Con el paso del tiempo, este deporte ha ganado una creciente popularidad a nivel global, con más de 12 millones de practicantes en más de 100 países (Beato et al., 2016). Por su práctica en espacios reducidos, se convierte en un deporte intermitente de alta intensidad que exige mucho a los jugadores en lo físico, técnico y táctico, requiriendo decisiones ágiles y una gran capacidad técnica en espacios reducidos (Lucas et al., 2024).

Esta dinámica convierte al fútbol sala en una disciplina con elevadas exigencias neuromusculares, donde la agilidad, la aceleración, los cambios de dirección y los sprints cortos son determinantes para el rendimiento individual y colectivo (Cardozo et al., 2024; Loturco et al., 2024). El fútbol sala femenino universitario impone estas exigencias de manera simultánea, razón por la cual la potencia de miembros inferiores, la velocidad de desplazamiento y la capacidad explosiva para el cambio de dirección determinan en gran medida el éxito competitivo (Lucas et al., 2024). A pesar del buen nivel competitivo demostrado por la selección femenina de fútbol sala de la Universidad Industrial de Santander, no se dispone de estudios previos que

busquen optimizar estas capacidades mediante estrategias de activación neuromuscular aguda ajustadas al contexto real del entrenamiento universitario.

La mejora del rendimiento post-activación, denominada en la literatura científica anglosajona como *Post-Activation Performance Enhancement* (PAPE, por sus siglas en inglés), constituye una estrategia de preparación neuromuscular aguda que ha ganado creciente interés en el ámbito del rendimiento deportivo. Este fenómeno se define como el incremento transitorio y voluntario del rendimiento muscular explosivo que ocurre como consecuencia de la aplicación previa de una actividad condicionante de alta intensidad (Cardona et al., 2025; Gautam et al., 2024). A diferencia de la Potenciación Post-Activación (PAP) clásica, que es un evento muscular local de muy corta duración, el PAPE opera en una ventana temporal más amplia, generalmente superior a los 3-5 minutos, y depende no solo de mecanismos periféricos como la fosforilación de las cadenas ligeras de miosina, sino también de factores centrales como la temperatura muscular, la excitabilidad motoneuronal y la motivación del deportista (Maroto-Izquierdo et al., 2020; McErlain-Naylor y Beato, 2021).

Entre las estrategias más prometedoras para la preparación física aguda se encuentra la mejora del rendimiento post-activación, fenómeno fisiológico mediante el cual el rendimiento muscular explosivo mejora de manera transitoria como consecuencia de la aplicación previa de una actividad condicionante de alta intensidad, cuyo mecanismo principal se atribuye a la fosforilación de las cadenas ligeras de miosina, el incremento de la excitabilidad motoneuronal y la potenciación del ciclo estiramiento-acortamiento (Maroto-Izquierdo et al., 2020; McErlain-Naylor y Beato, 2021; Cardozo et al., 2024). Su magnitud y duración dependen de factores como el tipo, volumen e intensidad de la actividad condicionante, el período de recuperación y las características individuales del deportista (Sañudo et al., 2020; Qi et al., 2025).

Entre los métodos más estudiados para inducir la mejora del rendimiento post-activación se destacan el uso de dispositivos inerciales como el flywheel, que generan cargas excéntricas controladas (Beato et al., 2020; Fu et al., 2023; Sun et al., 2024), y los pliométricos como los drop jumps, que aprovechan el ciclo estiramiento-acortamiento (Đurović et al., 2022; Silva et al., 2023; Zagatto et al., 2022). En el caso del flywheel, la evidencia señala que protocolos con cargas inerciales individualizadas y volúmenes moderados generan los mayores efectos sobre el salto vertical, con un pico de potenciación entre los 8 y 12 minutos post-activación (Maroto-Izquierdo et al., 2020; Qi et al., 2025). Asimismo, Sun et al. (2024) demostraron que el flywheel produce porcentajes de potenciación superiores a la sentadilla con barra en deportistas de equipo de alto nivel, y Sañudo et al. (2020) evidenciaron que su efecto sobre el sprint es especialmente pronunciado en sujetos con alto nivel de fuerza. Por su parte, los drop jumps han mostrado efectos positivos sobre el CMJ en distintas poblaciones (Yang et al., 2024; Lucas et al., 2024), así como mejoras en la capacidad de sprint repetido en jóvenes deportistas (Zagatto et al., 2022) y en el rendimiento competitivo de saltos atléticos (Silva et al., 2023).

Sin embargo, la evidencia disponible sobre los efectos del PAPE en el sprint y el cambio de dirección (COD) es escasa (Gautam et al., 2024). McErlain-Naylor y Beato (2021) demostraron que el PAPE inducido con flywheel se limitó exclusivamente al plano vertical del CMJ, sin transferencia hacia los parámetros anteroposteriores del COD. Krzysztofik et al. (2024) reportaron incluso un deterioro significativo en los tiempos de sprint de 20 y 30 m tras ejercicios pliométricos de baja intensidad en velocistas de élite. Lucas et al. (2024) encontraron que los drop jumps no mejoraron el sprint de 20 m en futbolistas femeninas universitarias, y Loturco et al. (2024) no hallaron efectos significativos de ninguno de los dos protocolos sobre el sprint ni el COD en jugadores de rugby de élite. Esta inconsistencia evidencia que aún no existe claridad

sobre qué protocolos resultan más eficaces para potenciar el sprint y el COD, y se hace más pronunciada al considerar que la mayoría de los estudios han sido realizados en hombres o atletas de alto rendimiento (Xie et al., 2022; Loturco et al., 2024), con escasa representación de mujeres deportistas universitarias. Ningún estudio identificado ha evaluado simultáneamente los efectos de protocolos PAPE con flywheel y drop jumps sobre el salto vertical, el sprint y el COD en esta población específica, lo que constituye el vacío que motiva el presente trabajo.

Considerando que los calendarios de competencia universitaria reducen frecuentemente el tiempo disponible para el entrenamiento físico estructurado, resulta prioritario implementar estrategias breves y efectivas que generen mejoras inmediatas en el rendimiento físico sin incrementar el volumen total de carga (Maroto-Izquierdo et al., 2020; Qi et al., 2025). En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto de un protocolo de mejora del rendimiento post-activación con flywheel y otro con drop jumps sobre el salto vertical, la velocidad de 30 metros y el cambio de dirección en jugadoras de fútbol sala de la Universidad Industrial de Santander?

Se hipotetiza que ambos protocolos inducirán mejoras significativas en el salto vertical, mientras que el flywheel presentará efectos superiores en el sprint y el COD respecto a los drop jumps, dado su mayor capacidad de generar sobrecarga excéntrica individualizada (Sun et al., 2024; McErlain-Naylor y Beato, 2021).

Este estudio se justifica desde una perspectiva científica, al aportar evidencia original sobre la aplicabilidad de la mejora del rendimiento post-activación en una población femenina universitaria escasamente representada en la literatura (Lucas et al., 2024); y desde una perspectiva práctica, al ofrecer herramientas concretas para los cuerpos técnicos de fútbol sala universitario en Colombia, cuyos resultados podrán orientar la implementación de protocolos de

activación aguda previos a la competición, optimizando el rendimiento explosivo de las jugadoras sin aumentar la carga total de entrenamiento, y con posibilidad de transferencia a otros deportes de características intermitentes practicados en el ámbito universitario (Sañudo et al., 2020; Yang et al., 2024). Desde la perspectiva del desarrollo del talento deportivo, la identificación de estrategias de activación neuromuscular aguda eficaces constituye un aporte al rendimiento inmediato y un complemento esencial en el proceso de formación y optimización del deportista universitario, pues la capacidad de expresar el máximo potencial físico en competencia contribuye directamente a la detección y consolidación del talento, al permitir que las cualidades neuromusculares desarrolladas durante el entrenamiento se manifiesten plenamente en el momento competitivo. Adicionalmente, una activación neuromuscular adecuada no solo optimiza el rendimiento explosivo, sino que constituye un factor relevante en la prevención de lesiones musculoesqueléticas: al elevar la temperatura muscular, mejorar la excitabilidad motoneuronal y aumentar la rigidez activa del tejido muscular previo al esfuerzo competitivo, se reducen las condiciones biomecánicas asociadas a lesiones por sobrecarga y por déficit de activación (Sañudo et al., 2020; Maroto-Izquierdo et al., 2020). En este sentido, el PAPE trasciende su función potenciadora del rendimiento inmediato para convertirse en una herramienta integral dentro del proceso de desarrollo del talento deportivo, contribuyendo tanto a la expresión máxima de las capacidades neuromusculares del deportista como a su disponibilidad física continuada a lo largo de la temporada.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Comparar los efectos de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación, uno con sentadilla en una maquina inercial y otro con saltos pliométricos del tipo drop jumps, sobre la potencia de miembros inferiores, velocidad media de desplazamiento y cambio de dirección en deportistas de la selección femenina de futbol sala de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar el estado actual de la potencia de miembros inferiores, la velocidad media de desplazamiento y la capacidad de cambio de dirección en las jugadoras de la selección femenina de fútbol sala de la Universidad Industrial de Santander, mediante la aplicación de pruebas físicas como el salto contramovimiento (CMJ), el sprint de 30 metros y el test de cambio de dirección 505 (COD 505).
- Aplicar dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación (PAPE): uno con sentadillas en la máquina inercial (flywheel) y otro mediante saltos pliométricos del tipo drop jump (DJ).
- Analizar los efectos de cada protocolo de mejora del rendimiento post-activación sobre el rendimiento en potencia de miembros inferiores, velocidad media de desplazamiento y cambio de dirección, con base en los resultados obtenidos en las pruebas de CMJ, sprint de 30 metros y COD 505

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

La activación neuromuscular precompetitiva comprende un conjunto de estrategias agudas orientadas a optimizar el estado funcional del sistema neuromuscular antes de la competición o el entrenamiento de alta intensidad. En la literatura científica se han descrito múltiples métodos para su inducción, entre los que se destacan: los ejercicios de fuerza dinámica con resistencia externa, como la sentadilla trasera al 80-90% del 1RM, los cuales han demostrado mejoras significativas en el CMJ, el sprint y el cambio de dirección en deportistas de equipo (Genç et al., 2025; Amiri-Khorasani et al., 2024); los protocolos con vector de fuerza horizontal como el hip thrust y el glute bridge (Çabuk e İnce, 2025); las contracciones isométricas máximas a cargas supramáximas ($\geq 110-150\%$ del 1RM), que producen mejoras en el sprint con menor costo metabólico (Krzysztofik et al., 2023; Perenc et al., 2025); los dispositivos inerciales tipo flywheel, que permiten una sobrecarga excéntrica variable e individualizada (Beato et al., 2020; Fu et al., 2023); y los ejercicios pliométricos del tipo drop jumps, fundamentados en la potenciación del ciclo estiramiento-acortamiento (Đurović et al., 2022; Zagatto et al., 2022). La selección del método más adecuado depende de la especificidad biomecánica del gesto deportivo que se desea potenciar, el nivel de fuerza del deportista, la disponibilidad de equipamiento y el tiempo de recuperación disponible entre la activación y la competición. A continuación, se analiza con profundidad la evidencia disponible para los dos métodos comparados en el presente estudio: la sentadilla en máquina inercial tipo flywheel y los saltos pliométricos tipo drop jump.

El fenómeno conocido como mejora del rendimiento post-activación (PAPE) se refiere a la mejora aguda en el rendimiento voluntario tras una actividad condicionante de alta intensidad. A diferencia de la Potenciación Post-Activación (PAP) clásica, que es un evento muscular local de corta duración, el PAPE tiene una ventana temporal más amplia (generalmente >3-5 minutos) y depende de factores como la temperatura muscular, la activación neural y la motivación, además de la fosforilación de las cadenas ligeras de miosina. (Cardona et al, 2025; Gautam et al 2024). A continuación, se analiza la evidencia sobre los efectos de protocolos inerciales y pliométricos en tres variables de suma importancia para el fútbol sala: potencia en miembros inferiores, sprint y cambio de dirección.

PAPE con Máquina Inercial: Efectos sobre CMJ, Sprint y COD

El entrenamiento con dispositivos de volante de inercia del tipo flywheel se ha consolidado como una de las estrategias más investigadas para la inducción de PAPE en el ámbito del rendimiento deportivo, dada su capacidad de generar sobrecarga excéntrica variable y adaptarse a la carga óptima individualizada de cada atleta. Los dispositivos inerciales permiten una resistencia proporcional a la fuerza aplicada durante toda la fase excéntrica, diferenciándose de los métodos tradicionales con barra, lo cual ha sido señalado como un potencial diferenciador en la magnitud y duración del fenómeno de mejora del rendimiento post-activación.

Efectos sobre el CMJ

La evidencia disponible sugiere que el flywheel es eficaz para mejorar el rendimiento en salto con contramovimiento (CMJ), especialmente cuando se aplica una carga inercial individualizada y un volumen adecuado. Maroto-Izquierdo et al. (2020) demostraron que una sola serie de 6 repeticiones máximas con la carga óptima individualizada ($0.083 \pm 0.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) fue suficiente para inducir mejoras significativas en la altura de salto, la potencia pico concéntrica y la velocidad pico concéntrica entre los 4 y los 20 minutos post-activación, alcanzando el pico máximo a los 12 minutos (MD altura = 2.12 cm; ES velocidad = 1.34, efecto grande). En la misma línea, Sun et al. (2024) reportaron en jugadores de voleibol de élite que el protocolo flywheel produjo porcentajes de mejora superiores a la sentadilla con barra en altura de salto (5.35–9.79% vs. 4.13–8.46%) y potencia pico (4.16–6.13% vs. 3.23–4.77%), con mejoras altamente significativas al aplicar el tiempo de recuperación individualizado ($p < 0.01$).

El volumen de la actividad condicionante emerge como un factor determinante en la magnitud del PAPE inducido. Qi et al. (2025) compararon tres volúmenes de sentadilla flywheel (1, 2 y 3 series de 6 repeticiones) en atletas universitarios de deportes colectivos, evidenciando que el protocolo de 2 series fue el más eficaz para mejorar el CMJ, con un pico de mejora a los 8 minutos (Grupo B > Grupo C > Grupo A), y que tanto el volumen insuficiente como el excesivo comprometían el equilibrio entre mejora y fatiga. Adicionalmente, Fu et al. (2023) observaron en hombres entrenados que la carga inercial media-grande ($ML = 0.057 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) y la carga pesada ($P = 0.122 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) mejoraron significativamente el CMJ a los 4 minutos después de la intervención (ES = 0.79 y 1.09, respectivamente), manteniéndose el efecto hasta los 12 minutos.

No obstante, no todos los estudios reportan efectos positivos. Spudić et al. (2023) no encontraron diferencias significativas entre el flywheel y la sentadilla con barra en la altura del CMJ cuando ambas condiciones se aplicaron con una sola serie a la zona de pico de potencia concéntrica individualizada, atribuyendo la ausencia de diferencias al volumen reducido y a la igualación de la intensidad relativa entre protocolos. Del mismo modo, Loturco et al. (2024) reportaron que una serie de 6 repeticiones de flywheel squat no generó cambios significativos en el CMJ en jugadores de rugby del equipo nacional brasileño, destacando que el volumen insuficiente de la actividad condicionante limita el PAPE en deportistas de alto rendimiento.

Efectos sobre el Sprint

Los efectos del flywheel sobre el rendimiento en sprint son más heterogéneos que sobre el CMJ y parecen estar fuertemente modulados por el nivel de fuerza previo del atleta y la carga inercial empleada. Sañudo et al. (2020) demostraron que únicamente los sujetos clasificados como fuertes ($1RM > 2.0 \times$ masa corporal) que realizaron el protocolo flywheel presentaron una mejora significativa en el sprint de 10 m ($ES = 1.484$, $p < 0.001$), siendo estadísticamente superior al grupo fuerte con peso libre ($\eta^2p = 0.221$, efecto grande), lo que evidencia que el nivel de fuerza del individuo es un factor modulador clave en la respuesta al PAPE inercial. Complementariamente, Fu et al. (2023) encontraron que la carga inercial media-grande ($ML = 0.057 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) fue la única condición que mejoró significativamente el tiempo en sprint de 30 m a los 4 minutos ($ES = -0.47$), con el efecto concentrado en el segmento de 10 a 30 metros ($ES = -0.49$), disipándose a los 8 minutos.

Por otro lado, Xie et al. (2022) observaron que el flywheel a alta intensidad mostró mayores valores de impulso y velocidad en sprint respecto a la sentadilla con barra, aunque sin alcanzar significancia estadística global en jugadores de baloncesto universitario. Asimismo, Loturco et al. (2024) confirmaron la ausencia de efectos PAPE en el sprint de 10 y 30 m en rugbistas de élite con un protocolo de volumen bajo, reforzando la idea de que en deportistas de alto rendimiento se requieren protocolos más comprensivos e individualizados.

Efectos sobre el COD

La evidencia sobre el cambio de dirección (COD) como variable de resultado del PAPE inducido por flywheel es limitada. McErlain-Naylor y Beato (2021) demostraron, mediante análisis bayesiano, que el PAPE generado por 3 series de 6 repeticiones de sentadilla flywheel produjo efectos significativos exclusivamente en los parámetros cinéticos verticales del CMJ, sin que se observara ningún efecto en los parámetros anteroposteriores del COD ni en el salto de longitud, evidenciando una especificidad direccional del PAPE determinada por la naturaleza biomecánica del ejercicio condicionante. Cardozo et al. (2024) compararon el RSP Squat inercial con el VertiMax y una condición control en el T-Test de agilidad, encontrando que el período de descanso fue el factor más determinante del efecto ($\eta^2p = 0.31$, $BF_{10} = 184.8$), y que si bien el grupo inercial mostró un 7.8% de mejora en agilidad a los 5 minutos, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de entrenamiento.

PAPE con Saltos Pliométricos y de Cajón: Efectos sobre CMJ, Sprint y COD

Los ejercicios pliométricos, y en particular los drop jumps (saltos de cajón), representan otra de las estrategias comúnmente utilizadas para inducir PAPE, fundamentándose en el alto reclutamiento de unidades motoras rápidas, la potenciación del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) y el incremento de la excitabilidad motoneuronal que generan de forma aguda. A diferencia de los métodos con resistencias externas, los protocolos pliométricos ofrecen la ventaja de no requerir equipamiento especializado y de presentar alta especificidad mecánica con acciones propias del deporte.

Efectos sobre el CMJ

Los drop jumps han mostrado capacidad para inducir PAPE en el CMJ, aunque la magnitud y la dirección del efecto varían considerablemente según la intensidad del estímulo, la población estudiada y el momento de evaluación. Yang et al. (2024) compararon en gimnastas rítmicas de élite dos protocolos pliométricos, encontrando que los drop jumps desde una caja de ~50 cm mejoraron significativamente el CMJ de forma temprana (+0.8 cm a los 30 segundos; ES = 0.25; $p = 0.003$), mientras que el squat jump con carga de potencia óptima individual produjo una mejora de mayor magnitud pero de aparición tardía (+1.02 cm a los 9 minutos; ES = 0.36; $p = 0.005$); en ambos casos, las atletas con mayor nivel de fuerza relativa en sentadilla obtuvieron mayores beneficios ($r = 0.63-0.64$; $p < 0.01$). Lucas et al. (2024) reportaron en futbolistas femeninas universitarias que el protocolo de calentamiento de 3 drop jumps con alturas de 30 y 40 cm, mejoró significativamente el CMVJ (de 25.93 ± 3.84 cm a 28.26 ± 4.91 cm; $d = 0.53$; $p < 0.0001$), aunque sin diferencias significativas respecto a los otros protocolos de calentamiento.

En contraste, Krzysztofik et al. (2024) encontraron que los stiff-legged hops desde una caja de 30 cm realizando 3 series de 10 repeticiones, no produjeron mejoras significativas en el CMJ en velocistas de la selección nacional de Polonia, sugiriendo que una actividad condicionante pliométrica de baja intensidad resulta insuficiente para inducir PAPE en deportistas de alto rendimiento. Đurović et al. (2022) obtuvieron resultados similares en nadadores jóvenes, con una mejora del CMJ del 3.79% tras 3 series de 5 drop jumps desde 40 cm, catalogada por los autores como "posiblemente beneficiosa" pero sin alcanzar significancia estadística, atribuyendo la ausencia de efectos más pronunciados a la experiencia previa de los atletas en saltos.

La diversidad de métodos disponibles para inducir el PAPE subraya la importancia de seleccionar la estrategia de activación en función de la especificidad biomecánica del gesto deportivo que se desea potenciar, el nivel de fuerza del deportista y las condiciones logísticas del contexto de aplicación.

Efectos sobre el Sprint

Los resultados de los estudios que han evaluado el PAPE pliométrico sobre el sprint son también inconsistentes, siendo el tipo de salto, su intensidad y la secuencia de aplicación con otros métodos los factores más influyentes. Zagatto et al. (2022) demostraron en jóvenes jugadores de baloncesto que una única serie de 5 drop jumps desde la altura óptima individual mejoró significativamente el tiempo medio ($\Delta = -0.18$ s; $p = 0.039$), el tiempo total ($\Delta = -1.85$ s; $p = 0.037$) y el tiempo más lento ($\Delta = -0.22$ s; $p = 0.045$) en la prueba de capacidad de sprint repetido (RSA), con un mayor reclutamiento del bíceps femoral ($p = 0.013$) como posible mecanismo explicativo. Silva et al. (2024) evidenciaron que la secuencia estiramiento dinámico

seguido de drop jumps (DS+DJ) produjo una mejora significativa en la fase de aceleración final del sprint de 40 m (20–40 m; 8.79 → 8.91 m/s; $p = 0.015$), mientras que el orden inverso (DJ+DS) empeoró significativamente la aceleración inicial (0–20 m; $p = 0.002$), subrayando la importancia del orden de aplicación y encontrando una correlación negativa entre CMJ y magnitud del PAPE ($r = -0.741$; $p = 0.004$), lo que indica que los atletas con menor potencia de miembros inferiores se benefician más de esta estrategia.

Sin embargo, Krzysztofik et al. (2024) reportaron un deterioro significativo en los tiempos de sprint de 20 m ($p = 0.025$; $\eta^2 = 0.162$) y 30 m ($p = 0.02$; $\eta^2 = 0.172$) tras los stiff-legged hops, asociado a un aumento del tiempo de contacto con el suelo ($p = 0.009$; $\eta^2 = 0.211$), lo que indica que este tipo de pliometría de baja intensidad puede incluso generar fatiga residual que deteriora el rendimiento en velocistas de élite en lugar de potenciarlo. Lucas et al. (2024) corroboraron que los drop jumps no mejoraron el sprint de 20 m en futbolistas femeninas (3.40 s pre vs. 3.39 s post; $p > 0.05$), siendo la isometría máxima el único protocolo eficaz para reducir el tiempo de sprint en dicha muestra.

Efectos sobre el COD

La investigación sobre el PAPE pliométrico y su efecto en el COD es escasa, aunque algunos estudios ofrecen datos indirectos. Cardozo et al. (2024) compararon el protocolo de 8 saltos verticales del tipo Abalakov con VertiMax contra la sentadilla inercial y una condición control en el T-Test de agilidad, encontrando que el grupo VertiMax presentó el mayor porcentaje de cambio (11.4% a los 5 minutos) entre todas las condiciones; no obstante, las diferencias entre grupos no alcanzaron significancia estadística, concluyendo que ambos dispositivos presentan un potencial equivalente para inducir PAPE sobre la agilidad y que el

período de descanso es el factor con mayor influencia práctica ($\eta^2p = 0.31$; $BF_{10} = 184.8$). De igual manera, Atalag et al. (2021) observaron que el entrenamiento complejo (sentadilla al 90% 1RM + drop jumps) fue el único protocolo que mejoró significativamente el Índice de Fuerza Reactiva (RSI) dentro del grupo ($p = 0.004$; $ES = 0.48$), variable relacionada con la capacidad de redirigir fuerzas durante cambios de dirección, aunque sin diferencias significativas entre los tres protocolos comparados.

2.2 Método.

Tipo de estudio

Se empleó un diseño cruzado (*crossover design*) con el fin de comparar los efectos agudos de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación sobre el rendimiento físico en jugadoras pertenecientes a la selección de fútbol sala de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Las participantes fueron evaluadas una vez por semana durante dos semanas consecutivas, aplicando en cada sesión un protocolo diferente de mejora del rendimiento post-activación (PAPE): uno con dispositivo inercial tipo flywheel y otro con saltos pliométricos del tipo drop jumps. El estudio se llevó a cabo en la pista atlética Primero de Marzo de la Universidad Industrial de Santander, sede principal en Bucaramanga, Colombia.

El paradigma de la investigación fue positivista, dado que este enfoque respalda investigaciones cuyo objetivo es comprobar hipótesis a través de métodos estadísticos o determinar parámetros de una variable específica mediante la expresión numérica (Ricoy, 2006). El enfoque fue cuantitativo, ya que la recolección de datos numéricos a partir de pruebas estandarizadas como el CMJ, Sprint 30 metros y COD 505, constituyeron el medio para verificar la hipótesis planteada (Sampieri, 2014).

Población y muestra

La población estuvo conformada por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander pertenecientes a las selecciones deportivas de la institución. La muestra fue de tipo no probabilística intencional, dado que los participantes fueron seleccionados de manera deliberada y no aleatoria, bajo el criterio de pertenecer a la selección oficial de fútbol sala femenino de la UIS. La muestra final estuvo compuesta por 15 jugadoras mayores de edad de fútbol sala femenino, activas en la selección oficial de la Universidad Industrial de Santander, con al menos un año de experiencia competitiva y entrenamiento regular. Las mediciones antropométricas fueron realizadas al inicio del estudio mediante una báscula de bioimpedancia eléctrica TANITA BC-1500 InnerScan PRO. La talla fue medida con un tallímetro portátil marca Seca, con las participantes descalzas, en posición anatómica y con la cabeza en el plano de Frankfurt. Los datos fueron registrados en formatos físicos con codificación alfanumérica para garantizar el anonimato de las participantes y posteriormente transcritos a una hoja de cálculo protegida con contraseña en un computador personal sin conexión a internet.

Criterios de inclusión

Para participar en el estudio, las jugadoras debieron cumplir con los siguientes criterios: ser mayores de edad y pertenecer activamente a la selección femenina de fútbol sala de la UIS durante el periodo de evaluación. Además, debían contar con disponibilidad para asistir a las dos sesiones de evaluación programadas, no presentar lesiones musculoesqueléticas en los tres meses previos al inicio del estudio y firmar voluntariamente el consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética en Investigación Científica de la UIS.

Criterios de exclusión

Fueron excluidas del estudio las participantes que presentaron alguna enfermedad o condición médica que impidiera la realización de actividad física de alta intensidad, o que se encontraban en periodo de recuperación activa por lesión musculoesquelética al momento de iniciar el estudio. De igual forma, se excluyeron aquellas que no completaron alguna de las dos sesiones de evaluación establecidas en el protocolo, así como quienes realizaron ejercicio físico intenso durante las 24 horas previas a alguna de las sesiones de medición.

Métodos empleados en la investigación

El método empleado fue el experimental, mediante la aplicación de un diseño cruzado (*crossover design*), en el cual cada participante fue sometida a los dos protocolos de activación en sesiones separadas por diez días, con el fin de garantizar la recuperación completa entre sesiones y minimizar los efectos residuales de entrenamiento. La primera sesión se induce la mejora del rendimiento post-activación mediante saltos pliométricos del tipo drop jumps y en el segundo encuentro con dispositivo inercial tipo flywheel

Las variables dependientes evaluadas fueron: (1) potencia en miembros inferiores mediante la prueba de salto con contramovimiento (CMJ), (2) velocidad media de desplazamiento mediante el test de sprint de 30 metros en línea recta, y (3) capacidad de cambio de dirección mediante el test COD 505. Las variables independientes correspondieron a los dos protocolos PAPE aplicados: seis repeticiones de media sentadilla con dispositivo inercial tipo flywheel y seis repeticiones de salto de cajón del tipo drop jump.

Estrategia de búsqueda de los artículos relacionados con la investigación

Se llevo a cabo una búsqueda sistemática de artículos científicos publicada entre los años 2019 y 2025. Los términos de búsqueda utilizados en ingles fueron: “*post-activation performance enhancement*” (PAPE), “*post-activation potentiation*” (PAP), “*flywheel training*”, “*inertial device*”, “*drop jump*”, “*countermovement jump*”, “*sprint performance*”, “*change of direction*”, “*COD 505*”, “*futsal*” y “*warm-up protocols*”. Los términos fueron combinados mediante los operadores booleanos AND y OR.

Se da prioridad a los artículos originales de investigación con diseño experimental o cuasi-experimental, publicados en revistas indexadas con arbitraje científico.

Bases de datos consultadas

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos especializadas en ciencias del deporte y ciencias de la salud. PubMed/MEDLINE, referente en ciencias biomédicas y del ejercicio, permitió acceder a estudios sobre fisiología del ejercicio, rendimiento deportivo y entrenamiento neuromuscular. SPORTDiscus, especializada en ciencias del deporte, el ejercicio y la medicina deportiva, complementó dicha búsqueda. Scopus, herramienta multidisciplinar de alcance mundial, aportó resúmenes, referencias e índices de literatura científica, técnica y médica, además de recursos bibliométricos como perfiles de autor, rastreador de citas e índice h. Finalmente, Web of Science (WoS), base de datos líder en citación editada por el Institute for Scientific Information (ISI), proporcionó acceso referencial a revistas de alto impacto en todas las áreas del conocimiento, así como cobertura de procedimientos internacionales de conferencias.

Procedimiento (fases del estudio)

El estudio se desarrolló en cuatro fases secuenciales:

Fase 1 – Reclutamiento y consentimiento informado: El reclutamiento de las participantes se realizó mediante una invitación verbal durante los entrenamientos del equipo, en la que se explicaron el objetivo, la metodología, los riesgos y los beneficios del estudio. Posteriormente, se entregó el consentimiento informado para su lectura y firma. Se garantizó en todo momento que la participación fue voluntaria, anónima y sin ningún tipo de relación jerárquica entre el investigador y las participantes.

Fase 2 – Valoración antropométrica inicial: Previo al inicio de las sesiones experimentales, se realizó una única sesión de medición antropométrica bajo condiciones controladas, tal como se describe en el apartado *población y muestra*.

Fase 3 – Sesiones experimentales: Cada participante asistió a dos sesiones de evaluación separadas por diez días. En cada sesión se aplicó un protocolo diferente de PAPE, la primera sesión salto de cajón tipo drop jumps y en el segundo encuentro media sentadilla tipo flywheel. En ambas sesiones, las pruebas de rendimiento, CMJ, Sprint 30m y COD 505, fueron aplicadas antes y después del protocolo de activación, siguiendo un tiempo de recuperación estandarizado de dos minutos entre el final del protocolo y la prueba de rendimiento. Ambas sesiones fueron realizadas a la misma hora del día para controlar los efectos circadianos sobre el rendimiento.

Fase 4 – Análisis estadístico y redacción de resultados: Los datos recolectados fueron procesados y analizados mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 27. Se verificó el supuesto de distribución normal de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk,

recomendada para muestras inferiores a 30 sujetos ($n = 15$). Dado que la totalidad de las variables cumplió el supuesto de normalidad ($p > .05$), se procedió con estadística inferencial paramétrica. Para la comparación entre condiciones (pre vs. post) y entre protocolos (Flywheel vs. Drop Jump), se aplicó un ANOVA de medidas repetidas con diseño factorial 2×2 (factor PROTOCOLO \times factor TIEMPO) para cada variable dependiente, previa verificación del supuesto de esfericidad mediante la prueba de Mauchly. Se estableció un nivel de significancia de $\alpha = .05$ y el tamaño del efecto se cuantificó mediante el eta cuadrado parcial (η^2p), interpretado como efecto pequeño ($\eta^2p \geq .01$), mediano ($\eta^2p \geq .06$) o grande ($\eta^2p \geq .14$), siguiendo los criterios de Cohen (1988).

2.3 Técnicas e instrumentos

Protocolo de Activación con Dispositivo Inercial (Flywheel)

El protocolo de activación con flywheel consistió en una serie de seis repeticiones de media sentadilla utilizando un dispositivo inercial tipo flywheel marca Wheeler, equipado con un arnés de cuerpo superior con fijación en hombros y cintura y un disco estandarizado que proporcionó un momento de inercia de $900 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ (Wheeler, 2022) sin masas externas adicionales. La ejecución se inició con una fase excéntrica controlada hasta que la rodilla alcanzó un ángulo de 90° , seguida de una fase concéntrica explosiva hasta la extensión completa de las piernas. Las manos permanecieron en la cintura, el tronco erguido y la mirada al frente durante toda la ejecución. Cada repetición fue realizada a la máxima velocidad posible tanto en la fase excéntrica como en la concéntrica, con el fin de maximizar el estímulo neuromuscular.

Protocolo de Activación con Saltos de Cajón (Drop Jumps)

El protocolo de drop jumps consistió en una serie de seis repeticiones desde una plataforma de 45 cm de altura (Loturco et al., 2024). Cada repetición inició desde la parte superior del cajón con la pierna dominante al frente, en posición estática y con las manos ubicadas a los lados de la cintura. Desde esta posición, la atleta se dejó caer de forma vertical sin impulso previo, buscando un contacto rápido y reactivo con el suelo. En la fase de contacto, las rodillas no sobrepasaron los 90° de flexión, manteniendo el tronco ligeramente inclinado hacia adelante. La fase concéntrica fue inmediata, con un salto vertical lo más explosivo posible, extendiendo completamente las piernas y llevando las puntas de los pies hacia arriba para optimizar la potencia vertical. Durante toda la ejecución, las participantes mantuvieron la vista al frente, el tronco alineado y las manos en la cintura, evitando movimientos compensatorios con los brazos.

Ambos protocolos fueron precedidos por un calentamiento estandarizado de 10 minutos que incluyó movilidad articular, carrera suave y ejercicios de activación neuromuscular. Un profesional en Ciencias del Deporte estuvo presente durante toda la ejecución para supervisar, corregir la técnica y garantizar la seguridad de las participantes. En caso de presentarse cualquier molestia física o lesión, la participación es suspendida de forma inmediata.

Prueba de Salto con Contramovimiento (CMJ)

La potencia de los miembros inferiores fue valorada mediante la prueba de salto con contramovimiento (CMJ). La ejecución se realizó desde una posición erguida, con el tronco recto, la mirada al frente y las manos ubicadas en la cintura. Desde esa posición, se realizó una flexión rápida de rodillas hasta alcanzar un ángulo de 90°, seguida de una extensión explosiva de

las piernas sin pausa entre la fase excéntrica y la concéntrica, aprovechando el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA). Las variables registradas fueron altura de salto mediante la plataforma de fuerza Valkyria Trainer Balance VT 6.0 y posteriormente se calculó la potencia con la fórmula de SAYERS (Amador et al., 2004). Los datos fueron almacenados en un computador portátil protegido con contraseña, de uso exclusivo del investigador principal.

Test de Sprint de 30 Metros

La velocidad media de desplazamiento fue evaluada mediante el test de sprint de 30 metros en línea recta. Se delimitó una línea de partida y una línea de llegada ubicada 30 metros. Se colocó sistema de fotocélulas marca OVR (Multhauptff et al. 2023) en la línea de salida para activar el cronómetro al inicio de la carrera y otra fotocélula en la línea de llegada para detenerlo al finalizar el recorrido. Adicionalmente, un profesional en Ciencias del Deporte estuvo presente durante la prueba con un silbato para dar la señal de salida, garantizando la confiabilidad y seguridad en la ejecución.

Test de Cambio de Dirección COD 505

La capacidad de cambio de dirección fue evaluada mediante el test COD 505. Cada jugadora corrió desde la línea de salida hasta la marca de 15 metros, sobrepasó esta referencia con al menos un pie y realizó un cambio de dirección de 180° para regresar rápidamente hasta la marca de 10 metros, donde finalizó la prueba. Se ubicó un sistema de fotocélulas marca OVR en la marca de 10 metros para registrar el tiempo empleado en el cambio de dirección. El inicio de cada prueba fue señalado mediante un silbato por parte del profesional responsable, quien también supervisó la correcta ejecución técnica y el cumplimiento del protocolo establecido.

Aspectos éticos

Este estudio se acoge a los principios éticos fundamentales en investigación con seres humanos, conforme a la Declaración de Helsinki, la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, la Ley Estatutaria 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013. El objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto agudo de dos protocolos de activación sobre el rendimiento físico inmediato en jugadoras universitarias de fútbol. En concordancia con este fin, se observan y aplican los siguientes principios éticos:

1. Principio de Beneficencia: Se busca maximizar los beneficios esperados, optimizando el rendimiento físico agudo mediante estrategias de mejora del rendimiento (PAPE). El estudio ha sido diseñado para contribuir al conocimiento aplicado en el entrenamiento deportivo y a mejorar el rendimiento inmediato de las deportistas. Además, se implementarán medidas de seguridad como calentamientos estructurados, pausas adecuadas y supervisión profesional constante durante todo el procedimiento.

2. Principio de No Maleficencia: El estudio ha sido clasificado como de riesgo mínimo. Aunque se podrían presentar molestias musculares o fatiga transitoria debido a la naturaleza física de las pruebas, estos riesgos se encuentran debidamente contemplados y serán mitigados mediante el cumplimiento de protocolos de seguridad, hidratación, monitoreo constante por personal calificado, y atención inmediata en caso de cualquier incomodidad. Este principio se relaciona directamente con el objetivo del estudio al priorizar la integridad física de las participantes durante la intervención.

3. Principio de Justicia: La selección de participantes se hará de manera equitativa, sin sesgos ni discriminación. Todas las jugadoras activas del equipo de fútbol femenino de la Universidad Industrial de Santander tendrán las mismas oportunidades de participar, asegurando una distribución justa de los beneficios derivados del estudio.

4. Principio de Autonomía: Cada participante será informada sobre el propósito, los procedimientos, los beneficios y los riesgos de la investigación mediante un consentimiento informado claro y detallado. Las jugadoras podrán aceptar o rechazar su participación de manera libre y voluntaria, y podrán retirarse en cualquier momento sin ninguna consecuencia académica o deportiva.

5. Tratamiento y Custodia de Datos: La información personal y los datos obtenidos serán tratados de manera confidencial y almacenados en el computador del profesor titular vinculado al estudio, dentro de una carpeta protegida que requiere contraseña para su acceso. Las fotos y videos tomados serán utilizados exclusivamente con fines académicos y de investigación. En publicaciones científicas o presentaciones no se revelará información que permita identificar a los participantes. La custodia de la información estará a cargo de dicho profesor titular. Además, si se requiere la participación de terceros para la recolección de datos (asistentes, estudiantes en formación, etc.), estos firmarán un acuerdo de confidencialidad previamente aprobado por el comité ético. Los datos serán eliminados después de un periodo de cinco años de forma segura.

6. Supervisión Ética: El protocolo completo del estudio será presentado para su revisión y aprobación por el Comité de Ética en Investigación Científica (CEINCI) de la Universidad Industrial de Santander, garantizando el cumplimiento de todas las normativas éticas y legales vigentes. Asimismo, cualquier modificación posterior al protocolo deberá ser informada al comité correspondiente.

2.4 Resultados.

El procesamiento estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el software IBM SPSS Statistics (versión 27). La muestra estuvo conformada por 15 jugadoras de futsal, quienes participaron en ambas sesiones experimentales bajo un diseño cruzado (crossover design). Los datos de cada participante fueron ingresados en SPSS organizando una fila por sujeto y una columna por cada condición de medición, resultando en cuatro variables por prueba: valor pre y post para el protocolo de salto desde cajón tipo drop jump de 45 cm y valor pre y post para el protocolo de media sentadilla en máquina inercial tipo flywheel.

Características de las participantes

Perfil general del grupo: Las jugadoras presentan una edad media de 21.00 ± 2.14 años (rango 18–25), lo que las clasifica como adultas jóvenes en plena etapa competitiva. La estatura media fue de 159.09 ± 5.99 cm y el peso de 62.87 ± 7.60 kg, valores consistentes con el perfil típico de futbolistas sala femeninas reportado en la literatura. Composición corporal: El IMC medio de 24.79 ± 2.20 kg/m² se sitúa dentro del rango normopeso (18.5–24.9), aunque dos jugadoras alcanzan 28.70, próximo al límite de sobrepeso. El porcentaje de grasa ($27.75 \pm 5.02\%$) es esperable en deportistas femeninas de conjunto, y la grasa visceral media de 2.07 ± 0.94 indica bajo riesgo metabólico.

Tabla 1

Perfil antropométrico de las participantes.

	Edad	Estatura (CM)	Peso (KG)	IMC	% Grasa	Masa Grasa (KG)	Masa libre de grasa (KG)	Grasa Visceral	Masa Muscular (KG)
1	22	162	60,7	23,1	30,8	18,7	42	2	39,9
2	25	155	61,6	25,6	28,6	17,6	44	2,5	41,7
3	19	158	62,8	25,2	26,8	16,8	46	1,5	43,7
4	25	158,3	60,2	24	19,2	11,6	48,6	1	46,2
5	20	160,5	61	23,7	30	18,3	42,7	2	40,5
6	20	157	65,2	26,3	30,6	20	45,2	2,5	42,9
7	23	167,5	75	26,7	28,9	21,7	53,3	2,5	50,6
8	21	154	65	27,4	32	20,8	44,2	3	41,9
9	21	153,2	53,6	22,8	28	15	38,6	1,5	36,6
10	20	169,8	61,9	21,5	21	13	48,9	1	46,4
11	18	154,5	57	23,9	32,6	18,6	38,4	2	36,4
12	20	168,7	81,6	28,7	35	28,6	53	4	50,4
13	18	162,3	58	22	21	12,8	45,2	1	42,9
14	22	156	67,5	27,7	31,5	21,3	46,2	3,5	43,9
15	21	149,6	52	23,2	20,3	10,6	41,4	1	39,3
Media	21	159,09	62,87	24,79	27,75	17,69	45,18	2,07	42,89
DE	2,14	5,99	7,60	2,20	5,02	4,68	4,44	0,94	4,25

Nota: CM: centímetros; KG: kilogramos; DE: Desviación estándar.

Verificación de Normalidad

Previo al análisis inferencial, se verificó el supuesto de distribución normal de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados indicaron que todas las variables presentaron una distribución normal ($p > .05$): POTpreDJ ($W = .970$, $p = .851$), POTpostDJ ($W = .988$, $p = .998$), VelMedPreDJ ($W = .972$, $p = .887$), VelMedPostDJ ($W = .951$, $p = .546$), CODpreDJ ($W = .948$, $p = .495$), CODpostDJ ($W = .950$, $p = .519$), POTpreFL ($W = .950$, $p = .518$), POTpostFL ($W = .972$, $p = .887$), VelMedPreFL ($W = .957$, $p = .642$), VelMedPostFL ($W = .966$, $p = .793$), CODpreFL ($W = .929$, $p = .262$) y CODpostFL ($W = .964$, $p = .757$). Después de cumplir el supuesto de normalidad en la totalidad de las variables, se procedió con pruebas paramétricas para el análisis inferencial.

Tabla 2

Prueba de normalidad de Shapiro Wilks

Variable	S-W Estadístico	S-W gl	S-W Sig.
CODpreDJ	0,948	15	0,495
CODpostDJ	0,950	15	0,519
CODpreFL	0,929	15	0,262
CODpostFL	0,964	15	0,757
POTpreDJ	0,970	15	0,851
POTpostDJ	0,988	15	0,998
VelMedPreDJ	0,972	15	0,887
VelMedPostDJ	0,951	15	0,546
POTpreFL	0,950	15	0,518
POTpostFL	0,972	15	0,887
VelMedPreFL	0,957	15	0,642
VelMedPostFL	0,966	15	0,793

Nota: *S-W*: Shapiro Wilks; *Gl*: Grados de libertad; *Sig*: significancia.

Diseño del Análisis

Se aplicó un ANOVA de medidas repetidas con diseño factorial 2×2 (intra-sujeto × intra-sujeto) para cada prueba, donde el factor PROTOCOLO incluyó dos niveles (DJ y FL) y el factor TIEMPO incluyó dos niveles (pre-activación y post-activación). Previamente, se verificó el supuesto de esfericidad mediante la prueba de Mauchly, la cual indicó que dicho supuesto se cumplía perfectamente para todos los efectos evaluados en los tres modelos ($W = 1.000$), el nivel de significancia estadística se estableció en $\alpha = .05$ y el tamaño del efecto se reportó mediante el eta cuadrado parcial (η^2p), interpretándose como efecto pequeño ($\eta^2p \geq .01$), mediano ($\eta^2p \geq .06$) o grande ($\eta^2p \geq .14$).

Resultados del CMJ

Los estadísticos descriptivos mostraron los siguientes valores medios para la potencia máxima obtenida en el CMJ: protocolo DJ pre-activación ($M = 2217.64$ W, $DE = 410.39$), protocolo DJ post-activación ($M = 2304.69$ W, $DE = 401.27$), protocolo FL pre-activación ($M = 2225.19$ W, $DE = 392.51$) y protocolo FL post-activación ($M = 2303.18$ W, $DE = 401.59$).

El ANOVA de medidas repetidas reveló un efecto principal significativo del factor TIEMPO ($F(1,14) = 21.553$, $p < .001$, $\eta^2p = .606$), con un tamaño del efecto grande, indicando que los valores de potencia máxima post-activación fueron significativamente superiores a los pre-activación con independencia del protocolo empleado, con potencia estadística observada de .990. El efecto principal del factor PROTOCOLO no fue estadísticamente significativo ($F(1,14) = 0.018$, $p = .894$, $\eta^2p = .001$). La interacción PROTOCOLO × TIEMPO tampoco alcanzó significancia estadística ($F(1,14) = 0.151$, $p = .703$, $\eta^2p = .011$). El protocolo DJ produjo un incremento medio de +87.05 W (+3.93%), mientras que el protocolo FL produjo +77.99 W

(+3.50%), sin diferencia estadísticamente significativa. Por tanto, para la potencia máxima en CMJ, ambos protocolos demostraron ser equivalentes en la inducción del PAPE.

Tabla 3

Comparación entre los 2 métodos PAPE de la altura de salto y potencia en salto contramovimiento.

	DJ 45 cm				Flywheel			
	Pre-PAPE		Post-PAPE		Pre-PAPE		Post-PAPE	
	Altura (CM)	Potencia (W)	Altura (CM)	Potencia (W)	Altura (CM)	Potencia (W)	Altura (CM)	Potencia (W)
1	25,58	2288,83	24,33	2223,95	25,60	2289,87	25,78	2299,21
2	21,9	2141,85	22,21	2157,93	22,64	2180,26	22,85	2191,16
3	23,43	2279,93	25,50	2387,37	24,44	2332,36	24,51	2335,99
4	33,5	2675,43	34,15	2709,16	32,83	2640,66	32,69	2633,39
5	17,67	1892,97	20,63	2046,59	15,63	1787,10	17,90	1904,91
6	17,12	2069,80	23,04	2377,05	23,31	2391,07	24,60	2458,02
7	23,34	2871,84	25,41	2979,27	22,13	2809,05	25,47	2982,39
8	21,63	2294,09	22,62	2345,47	19,81	2199,64	20,25	2222,48
9	17,82	1538,89	17,98	1547,20	19,56	1629,20	19,50	1626,09
10	27,9	2467,92	30,58	2607,01	26,38	2389,03	28,10	2478,30
11	20,3	1833,87	22,50	1948,05	20,34	1835,95	22,39	1942,34
12	16,42	2835,43	17,21	2876,43	17,07	2869,17	19,92	3017,09
13	21,9	1965,81	24,71	2111,64	20,38	1886,92	25,39	2146,94
14	23,3	2503,02	23,60	2518,59	22,32	2452,16	23,89	2533,64
15	20,6	1604,94	23,10	1734,69	22,15	1685,39	23,89	1775,69
Media	22,16	2217,64	23,83	2304,69	22,31	2225,19	23,81	2303,18
DE	4,48	410,39	4,26	401,27	4,12	392,51	3,70	401,59

Nota: CM: Centímetros; W: Vatios; DE: Desviación estándar; DJ: Drop jumps.

Resultados del COD 505

Los estadísticos descriptivos mostraron los siguientes valores medios para el test de cambio de dirección 505: protocolo DJ pre-activación (M = 2.634 s, DE = .160), protocolo DJ post-activación (M = 2.639 s, DE = .154), protocolo FL pre-activación (M = 2.691 s, DE = .129) y protocolo FL post-activación (M = 2.632 s, DE = .159).

El efecto principal del factor PROTOCOLO no fue estadísticamente significativo ($F(1,14) = 0.903$, $p = .358$, $\eta^2p = .061$), al igual que el efecto principal del factor TIEMPO ($F(1,14) = 1.914$, $p = .188$, $\eta^2p = .120$). Sin embargo, la interacción PROTOCOLO \times TIEMPO resultó estadísticamente significativa ($F(1,14) = 5.494$, $p = .034$, $\eta^2p = .282$), con un tamaño del efecto mediano-grande. Este resultado indica que la magnitud del cambio pre \rightarrow post fue significativamente diferente entre los dos protocolos de activación. El protocolo FL produjo una reducción media de 0.059 s (de 2.691 s a 2.632 s), lo que representa una mejora en el rendimiento del COD 505, mientras que el protocolo DJ no generó cambios relevantes (de 2.634 s a 2.639 s). El hecho de que el efecto de TIEMPO global no fuera significativo se explica porque la mejora de un protocolo y la ausencia de cambio en el otro se compensan estadísticamente. Por tanto, para la prueba de COD 505, el protocolo de media sentadilla en máquina inercial (FL) demostró ser significativamente superior al salto desde cajón (DJ) para la inducción del PAPE.

Tabla 4

Comparación entre los 2 métodos PAPE del cambio de dirección 505

	DJ 45 cm		Flywheel	
	Pre-PAPE	Post-PAPE	Pre-PAPE	Post-PAPE
	Tiempo (S)	Tiempo (S)	Tiempo (S)	Tiempo (S)
1	2,77	2,75	2,82	2,77
2	2,65	2,53	2,73	2,63
3	2,46	2,54	2,55	2,56
4	2,59	2,61	2,86	2,70
5	2,55	2,47	2,76	2,54
6	2,80	2,68	2,67	2,70
7	2,59	2,56	2,67	2,54
8	2,71	2,75	2,79	2,76
9	2,88	2,93	2,78	2,76
10	2,40	2,42	2,63	2,37
11	2,79	2,78	2,69	2,61
12	2,83	2,86	2,82	2,81
13	2,39	2,47	2,48	2,50
14	2,63	2,71	2,70	2,89
15	2,47	2,53	2,41	2,34
Media	2,63	2,64	2,69	2,63
DE	0,16	0,15	0,13	0,16

Nota: DJ: Drop jumps; S: segundos; DE: desviación estándar.

Resultados del Sprint 30 metros

Los estadísticos descriptivos mostraron: protocolo DJ pre-activación (M = 5.785 m/s, DE = .410), protocolo DJ post-activación (M = 5.942 m/s, DE = .434), protocolo FL pre-activación (M = 5.823 m/s, DE = .377) y protocolo FL post-activación (M = 6.001 m/s, DE = .349).

El ANOVA de medidas repetidas reveló un efecto principal significativo del factor TIEMPO ($F(1,14) = 35.154$, $p < .001$, $\eta^2p = .715$), el mayor tamaño del efecto registrado entre las tres variables analizadas, con potencia estadística observada de 1.000. El efecto del factor PROTOCOLO no fue significativo ($F(1,14) = 0.783$, $p = .391$, $\eta^2p = .053$), ni lo fue la interacción PROTOCOLO \times TIEMPO ($F(1,14) = 0.085$, $p = .775$, $\eta^2p = .006$). El protocolo DJ

produjo +0.157 m/s (+2.71%) y el FL +0.178 m/s (+3.06%), sin diferencia estadísticamente significativa. En consecuencia, ambos protocolos resultaron equivalentes en la mejora de la velocidad media de desplazamiento.

Los resultados del presente estudio permiten establecer que ambos protocolos de activación PAPE, el salto desde cajón de 45 cm y la media sentadilla en máquina inercial, fueron efectivos para mejorar el rendimiento en pruebas específicas de fútbol, aunque con diferencias según la capacidad evaluada. Tanto el protocolo DJ como el FL indujeron mejoras significativas en el CMJ ($p < .001$, $\eta^2p = .606$) y en la velocidad media de desplazamiento ($p < .001$, $\eta^2p = .715$) sin que existiera diferencia estadísticamente significativa entre ellos en ninguna de estas dos pruebas. No obstante, en la prueba de COD 505, el protocolo FL demostró una superioridad estadísticamente significativa sobre el protocolo DJ (interacción PROTOCOLO \times TIEMPO: $F(1,14) = 5.494$, $p = .034$, $\eta^2p = .282$), siendo el único protocolo que generó una mejora real en el cambio de dirección.

Estos hallazgos sugieren que la media sentadilla en máquina inercial podría ser el protocolo de activación PAPE preferente para jugadoras de fútbol cuando el objetivo es mejorar la capacidad de cambio de dirección, mientras que ambos protocolos son igualmente válidos para la potenciación de la capacidad de salto vertical y la velocidad lineal. La especificidad biomecánica del ejercicio de activación podría explicar esta diferencia, dado que la sentadilla en máquina inercial comparte mayores demandas musculares excéntricas con los patrones de frenado y reaceleración propios del COD 505, en comparación con el salto desde cajón.

Tabla 5

Comparación entre los 2 métodos PAPE del tiempo y la velocidad media de desplazamiento en Sprint 30 metros.

	DJ 45 cm				Flywheel			
	Pre-PAPE		Post-PAPE		Pre-PAPE		Post-PAPE	
	Tiempo (S)	Velocidad (m/s)	Tiempo (S)	Velocidad (m/s)	Tiempo (S)	Velocidad (m/s)	Tiempo (S)	Velocidad (m/s)
1	5,15	5,83	5,07	5,92	5,19	5,78	4,93	6,09
2	5,08	5,91	5,00	6,00	5,25	5,71	4,96	6,05
3	4,63	6,48	4,68	6,41	5,15	5,83	5,09	5,89
4	5,50	5,45	4,77	6,29	4,95	6,06	4,95	6,06
5	5,47	5,48	5,50	5,45	5,51	5,44	5,55	5,41
6	5,43	5,52	5,46	5,49	5,70	5,26	5,28	5,68
7	5,15	5,83	5,03	5,96	5,07	5,92	4,85	6,19
8	5,23	5,74	5,08	5,91	5,14	5,84	4,98	6,02
9	5,91	5,08	5,77	5,20	5,79	5,18	5,55	5,41
10	4,74	6,33	4,67	6,42	4,78	6,28	4,63	6,48
11	5,63	5,33	5,51	5,44	5,20	5,77	5,18	5,79
12	5,57	5,39	5,42	5,54	5,54	5,42	5,20	5,77
13	4,77	6,29	4,51	6,65	4,68	6,41	4,57	6,56
14	4,97	6,04	4,84	6,20	4,79	6,26	4,72	6,36
15	4,92	6,10	4,81	6,24	4,85	6,19	4,79	6,26
Media	5,21	5,79	5,07	5,94	5,17	5,82	5,02	6,00
DE	0,37	0,41	0,38	0,43	0,34	0,38	0,30	0,35

Nota: S: segundos; m/s: metros sobre segundos; DJ: drop jumps; DE: desviación estándar.

2.5 Discusión.

Los resultados del presente estudio contribuyen a evidenciar sobre la efectividad de la mejora del rendimiento Post-activación (PAPE) como estrategia de mejora aguda del rendimiento explosivo en deportistas de fútbol, confirmando parcialmente las hipótesis planteadas. Ambos protocolos de activación, tanto el salto desde cajón de 45 cm (DJ) y la media sentadilla en máquina inercial (FL), fueron eficaces para mejorar el rendimiento en salto vertical y velocidad de desplazamiento, aunque el protocolo FL demostró una superioridad específica y estadísticamente significativa sobre el DJ en la prueba de cambio de dirección (COD) 505. Estos hallazgos se adecuan con la perspectiva teórica que postula la especificidad biomecánica del ejercicio condicionante es un determinante central de la respuesta PAPE (McErlain-Naylor & Beato, 2021).

La mejora significativa en la altura del salto con contramovimiento (CMJ) observada tras ambos protocolos ($p < .001$, $\eta^2p = .606$) es consistente con la evidencia previa que respalda la capacidad de los ejercicios pliométricos e inerciales para inducir PAPE sobre el rendimiento vertical explosivo. En este sentido, Maroto-Izquierdo et al. (2020) ya demostraron que una única serie de 6 repeticiones de sentadilla media con volante de inercia a carga individualizada fue suficiente para generar incrementos significativos en la altura de salto CMJ durante hasta 20 minutos post-activación (MD = 2.12 cm; ES velocidad = 1.34), resaltando que protocolos de bajo volumen y alta intensidad isoinercial pueden ser particularmente eficaces. En una línea similar, Sun et al. (2024) reportaron mejoras altamente significativas en CMJ en voleibolistas de élite con ambos protocolos de sentadilla (flywheel y tradicional), con porcentajes de potenciación superiores para el flywheel (5.35–9.79% vs. 4.13–8.46%), lo que sugiere que la sobrecarga

excéntrica propia del entrenamiento inercial podría conferir una ventaja adicional sobre la potenciación del salto vertical.

La ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los protocolos DJ y FL en la mejora del CMJ también encuentra respaldo en la literatura. Sañudo et al. (2020) reportaron mejoras equivalentes en CMJ tanto con flywheel ($d = 1.19$) como con sentadilla con peso libre ($d = 0.88$), sin diferencias entre condiciones para esta variable. Del mismo modo, Lucas et al. (2024), en un estudio con atletas femeninas universitarias de fútbol encontraron que tanto el protocolo de drop jumps como el de isometría máxima mejoraron el CMJ de forma similar ($p < .0001$), sin diferencias significativas entre grupos, lo que indica que diversas modalidades de activación pueden ser igualmente efectivas para potenciar el salto vertical. Asimismo, Yang et al. (2024), en una muestra de gimnastas rítmicas de élite femeninas, confirmaron que tanto los drop jumps como el squat jump con carga óptima individualizada inducen PAPE significativo en el CMJ, aunque con diferente curso temporal, siendo el DJ más precoz (30 s post-ejercicio) y el squat jump más tardío (9 min), lo que refuerza la equivalencia funcional de ambos tipos de ejercicio para la potenciación vertical.

La mejora significativa en la velocidad media de desplazamiento tras ambos protocolos ($p < .001$, $\eta^2p = .715$), sin diferencias entre DJ y FL, complementa los hallazgos anteriores sobre la eficacia general del PAPE en capacidades explosivas. Fu et al. (2023) demostraron que la sentadilla flywheel con carga inercial media-grande indujo mejoras significativas en el sprint de 30 m a los 4 minutos post-activación ($ES = -0.47$), concentradas en el segmento de 10 a 30 m ($ES = -0.49$), sugiriendo que la sobreactivación excéntrica del tren inferior mediante máquina inercial tiene un impacto real sobre la capacidad de producción de fuerza en acciones de alta velocidad. En contraste, Qi et al. (2025) advirtieron que el efecto del PAPE inducido por

sentadilla flywheel sobre el sprint horizontal de 30 m fue de menor magnitud que sobre el CMJ, apuntando a una mayor especificidad biomecánica del ejercicio inercial con las tareas de desplazamiento vertical.

Por su parte, la efectividad del protocolo DJ en la mejora de la velocidad lineal también encuentra antecedentes en la literatura, aunque con resultados heterogéneos. Zagatto et al. (2022) reportaron que una serie de 5 drop jumps mejoró significativamente el sprint repetido en jóvenes basquetbolistas, sugiriendo que el estímulo pliométrico de alta intensidad activa mecanismos neuromusculares que favorecen la velocidad de desplazamiento. Sin embargo, Silva et al. (2024) observaron que la secuencia drop jumps seguida de estiramiento dinámico no mejoró el sprint total de 40 m, aunque sí la fase de aceleración tardía (20–40 m), evidenciando que los efectos del DJ sobre la velocidad lineal dependen en gran medida del protocolo específico y del momento de evaluación.

El hallazgo más relevante del presente estudio fue la superioridad estadísticamente significativa del protocolo FL sobre el DJ en la mejora del rendimiento en el COD 505 ($F(1,14) = 5.494$, $p = .034$, $\eta^2p = .282$), siendo el único protocolo que generó una mejora real en esta variable. Este resultado tiene un sólido respaldo teórico en el principio de especificidad biomecánica del PAPE, que establece que el efecto de potenciación es máximo cuando el ejercicio condicionante comparte los patrones de activación muscular y las demandas de fuerza de la tarea objetivo (McErlain-Naylor & Beato, 2021). Específicamente, McErlain-Naylor y Beato (2021) demostraron que el PAPE inducido por sentadilla con volante de inercia tuvo efectos significativos exclusivamente en los parámetros cinéticos verticales del CMJ, sin que se observaran efectos sobre las variables anteroposteriores del cambio de dirección cuando el ejercicio condicionante no compartía la especificidad direccional de la tarea, hallazgo que

paradójicamente subraya que la especificidad mecánica en el plano y dirección correctos es imprescindible para transferir el efecto potenciador.

La superioridad del protocolo FL en el COD 505 puede explicarse, en parte, por las demandas excéntricas aumentadas que caracterizan al entrenamiento con máquina inercial. Beato et al. (2020) reportaron que tanto la sentadilla como el peso muerto con volante de inercia generaron incrementos significativos en el par pico excéntrico de isquiotibiales (+14 Nm y +13 Nm respectivamente; $d = 0.75$ y 0.68), señalando que esta influencia selectiva sobre la fuerza excéntrica de la musculatura posterior del muslo podría tener implicaciones relevantes en la preparación neuromuscular previa a tareas que implican frenado y reaceleración, como el cambio de dirección. El COD 505 exige precisamente ciclos de estiramiento-acortamiento de alta demanda excéntrica durante la fase de desaceleración previa al giro, lo que hace que la activación previa del componente excéntrico mediante flywheel sea funcionalmente específica a esta tarea de una manera que el drop jump, centrado predominantemente en la potencia reactiva vertical, no logra replicar de forma equivalente.

Este argumento se ve respaldado por los hallazgos de Cardozo et al. (2024), quienes compararon un protocolo de sentadilla con dispositivo inercial (RSP Squat, 6 repeticiones) frente a saltos verticales con VertiMax sobre la agilidad medida con el T-Test, encontrando que ambos dispositivos presentaron un potencial equivalente para inducir PAPE en la agilidad, aunque el período de descanso resultó ser el factor determinante de la magnitud del efecto ($\eta^2p = 0.31$, efecto grande). Si bien este estudio no encontró diferencias significativas entre condiciones, la tendencia favorable al protocolo inercial (7.8% de cambio frente al 11.4% del VertiMax) en una tarea de agilidad multidireccional sugiere que la modalidad de activación influye

diferencialmente sobre capacidades que involucran cambios de dirección, en consonancia con los resultados del presente trabajo.

Resulta pertinente discutir el hecho de que el protocolo aplicado en el presente estudio utilizó una sola serie tanto para el DJ como para el FL. Este diseño de bajo volumen fue suficiente para inducir PAPE significativo en CMJ y velocidad, pero podría haber limitado la magnitud del efecto en ambas condiciones. Loturco et al. (2024), empleando exactamente el mismo diseño comparativo de 1 serie de 6 repeticiones de drop jumps desde 45 cm contra 1 serie de 6 repeticiones de sentadilla flywheel, en jugadores de rugby de élite, no hallaron cambios estadísticamente significativos en ninguna variable de rendimiento, atribuyendo esta ausencia de PAPE principalmente al volumen insuficiente de la actividad condicionante. Sin embargo, los resultados del presente estudio contrastan favorablemente con este precedente, sugiriendo que el nivel de rendimiento de la población y el tipo de tarea evaluada son moderadores relevantes de la respuesta al PAPE con protocolos de bajo volumen. En este sentido, Qi et al. (2025) identificaron que el protocolo de 2 series y 6 repeticiones de sentadilla flywheel resultó óptimo para el equilibrio entre potenciación y fatiga, y que tanto el volumen insuficiente (1 serie) como el excesivo (3 series) comprometían la magnitud del efecto, lo que invita a futuras investigaciones a explorar si un mayor volumen de activación FL incrementaría la ventaja observada sobre el COD 505 en jugadoras de futsal.

Spudić et al. (2023) también advirtieron que el uso de una única serie podría ser insuficiente para diferenciar los efectos PAP/PAPE entre el flywheel y los métodos tradicionales, señalando que la ejecución acoplada excéntrico-concéntrica propia de ambos tipos de ejercicio tiende a homogeneizar las respuestas cuando el volumen es bajo. Este planteamiento es especialmente relevante para interpretar por qué, en el presente estudio, no emergieron

diferencias entre protocolos en CMJ y velocidad, mientras que sí lo hicieron en el COD 505, una tarea cuya mayor especificidad biomecánica con el flywheel pudo haber amplificado una diferencia que en otras condiciones habría permanecido enmascarada por el bajo volumen de activación.

Investigaciones futuras deberían explorar el efecto de diferentes volúmenes de activación FL sobre el COD en futsal femenino, comparar múltiples puntos de medición post-activación para caracterizar la ventana óptima de PAPE según el tipo de tarea, e incorporar medidas neuromusculares directas como la electromiografía de superficie o la tensiomiografía para identificar los mecanismos subyacentes a la diferencia observada entre protocolos en el cambio de dirección.

3. Conclusiones

La literatura actual evidencia que el fenómeno de mejora del rendimiento post-activación (PAPE) puede ser inducido mediante una amplia variedad de métodos, incluyendo ejercicios con cargas libres, plataformas de salto, sentadillas, sprint resistido y dispositivos de resistencia inercial, con resultados variables en función del volumen, la intensidad y el perfil de fuerza de los deportistas evaluados (Beato et al., 2021; McErlain-Naylor & Beato, 2021; Saudo et al., 2020). En este marco, los resultados del presente estudio permiten concluir que en las jugadoras pertenecientes al equipo de fútbol femenino evaluado, un volumen reducido de tan solo seis repeticiones, ya sea en el protocolo de Drop Jump desde cajón de 45 cm o en el protocolo de media sentadilla en máquina inercial Flywheel, resultó suficiente para inducir el fenómeno PAPE de forma estadísticamente significativa, con mejoras de magnitud grande en la potencia máxima del CMJ ($\eta^2p = .606$) y en la velocidad media de desplazamiento ($\eta^2p = .715$). Este hallazgo es relevante desde el punto de vista práctico, ya que demuestra que no se requieren protocolos de alto volumen para obtener beneficios neuromusculares agudos en esta población. No obstante, cuando el objetivo del entrenador sea potenciar específicamente la capacidad de cambio de dirección, acción determinante en el rendimiento del fútbol, los resultados indican que el protocolo de media sentadilla en máquina inercial (Flywheel) representa la opción más adecuada, dado que fue el único método que generó una mejora significativa y de efecto mediano-grande en esta capacidad ($F(1,14) = 5.494$, $p = .034$, $\eta^2p = .282$), posiblemente por la mayor transferencia de sus demandas excéntricas a los patrones de frenado y reaceleración propios del cambio de dirección.

4. Limitaciones

El presente estudio muestra limitaciones de carácter metodológico que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, el tamaño muestral reducido ($n = 15$) limita la potencia estadística para detectar diferencias de menor magnitud entre protocolos, particularmente en las variables de CMJ y velocidad donde los efectos fueron equivalentes entre condiciones. En segundo lugar, la ausencia de una condición control sin activación impide cuantificar con precisión la magnitud real del PAPE inducido por cada protocolo sobre los valores basales, ya que no es posible descartar completamente el efecto del calentamiento general previo sobre el rendimiento post. En tercer lugar, la muestra estuvo compuesta exclusivamente por jugadoras de fútbol femeninas universitarias de una sola institución, lo que limita la generalización de los hallazgos a otras poblaciones, niveles competitivos o al sexo masculino. En cuarto lugar, el orden de aplicación de los protocolos no fue aleatorizado, todas las participantes realizaron primero el Drop Jump y luego el Flywheel, lo que introduce un posible efecto de orden o aprendizaje entre sesiones que no puede descartarse completamente, a pesar de los diez días de separación entre mediciones. Finalmente, la evaluación se realizó en un único punto temporal post-activación de dos minutos, sin explorar la cinética completa del efecto PAPE, que estudios como el de Yang et al. (2024) y Maroto-Izquierdo et al. (2020) han demostrado ser variable según el tipo de ejercicio condicionante, alcanzando su pico entre los 8 y los 12 minutos post-activación en algunos protocolos.

Desde una perspectiva práctica, el dispositivo inercial tipo flywheel presenta restricciones que pueden limitar su implementación en programas deportivos universitarios con recursos limitados. En primer lugar, su costo de adquisición es considerablemente superior al de los cajones utilizados en el protocolo de drop jumps, lo que restringe su disponibilidad a instituciones con mayor capacidad de inversión en infraestructura deportiva. En segundo lugar, el transporte y montaje del dispositivo en distintos escenarios de competencia o entrenamiento representa una desventaja logística considerable, dado su peso, volumen y la necesidad de superficies adecuadas para su correcta fijación. En tercer lugar, la implementación segura y eficaz del protocolo requiere un proceso previo de familiarización técnica tanto del deportista como del profesional a cargo, incluyendo la correcta configuración del arnés, la regulación del momento de inercia y la supervisión continua de la técnica de ejecución. Estas limitaciones adquieren relevancia en el contexto universitario colombiano, donde la disponibilidad de equipamiento especializado y de personal capacitado para su uso puede no estar garantizada en todos los programas deportivos. En contraste, el protocolo de drop jumps representa una alternativa económica, de fácil implementación en cualquier espacio deportivo con equipamiento mínimo y transferible a otras disciplinas de características intermitentes, lo que amplía considerablemente su aplicabilidad práctica y su potencial de replicación en entornos con recursos limitados.

5. Recomendaciones

Con base en los hallazgos del presente estudio y sus limitaciones metodológicas, se formulan las siguientes recomendaciones dirigidas a entrenadores, preparadores físicos, investigadores e instituciones del deporte en el contexto del fútbol femenino.

Desde una perspectiva aplicada, se recomienda a los entrenadores y preparadores físicos incorporar el protocolo de media sentadilla en máquina inercial (Flywheel) dentro del calentamiento pre-competitivo de equipos de fútbol femenino, especialmente en aquellos contextos de juego que demanden acciones frecuentes de cambio de dirección, dado que fue el único protocolo que generó una mejora estadísticamente significativa en esta capacidad. En situaciones donde no se disponga de máquina inercial, el protocolo de Drop Jump desde cajón de 45 cm constituye una alternativa igualmente válida para la inducción del PAPE sobre la potencia máxima de salto y la velocidad lineal, sin requerir equipamiento especializado. Adicionalmente, se sugiere que el volumen y la intensidad del protocolo de activación sean individualizados en función del perfil de fuerza, el nivel de entrenamiento y el estado de fatiga de cada jugadora, ya que la respuesta al PAPE es inherentemente individual y una carga óptimamente ajustada podría tanto maximizar la magnitud del efecto potenciador como prolongar su duración. Asimismo, se recomienda respetar el tiempo de recuperación post-activación establecido antes del esfuerzo competitivo, puesto que una recuperación insuficiente podría revertir el efecto potenciador al prevalecer la fatiga aguda sobre la potenciación neuromuscular.

En cuanto a la proyección investigativa, se recomienda que futuros estudios amplíen el tamaño muestral a un mínimo de 30 participantes, con el fin de incrementar la potencia estadística y favorecer la generalización de los resultados a otras poblaciones de fútbol femenino a nivel nacional e internacional. Igualmente, se sugiere explorar diferentes tiempos de

recuperación post-activación, entre 2 y 8 minutos, para identificar la ventana temporal óptima del efecto PAPE en esta población específica, dado que este factor puede variar considerablemente en función del nivel de rendimiento individual. Se propone también controlar y registrar variables moduladoras del PAPE frecuentemente omitidas en la literatura, tales como el nivel de fuerza máxima relativa (1RM), la fase del ciclo menstrual, la carga de entrenamiento acumulada y la calidad del sueño previo a la evaluación, ya que estas pueden influir de manera significativa en la magnitud y reproducibilidad del fenómeno. De igual forma, la incorporación de registros electromiográficos o dinamometría isocinética en estudios posteriores permitiría identificar los mecanismos neuromusculares subyacentes que explican la superioridad del protocolo Flywheel en la mejora del cambio de dirección, aspecto que el presente estudio no abordó. Por último, se recomienda el desarrollo de estudios longitudinales que evalúen si la aplicación sistemática de protocolos PAPE con máquina inercial a lo largo de una temporada genera adaptaciones crónicas en la capacidad de cambio de dirección, complementando la evidencia sobre sus efectos agudos documentada en este trabajo.

Referencias Bibliográficas

Amador, J., Sánchez, L., Abián Vicén, J., Alegre Durán, L. M., Jiménez Linares, L., & Aguado Jódar, X. (2004). Medición directa de la potencia con tests de salto en voleibol femenino. *Motricidad: European Journal of Human Movement*, *12*, 89–101.

Amiri-Khorasani, M., Ferdinands, R. E. D., & AmiriKhorasani, A. (2024). Effect of eccentric and concentric overload bouts as post-activation performance enhancement on knee biomechanics of soccer heading. *Sport Sciences for Health*, *20*, 585–592. <https://doi.org/10.1007/s11332-023-01120-5>

Atalag, O., Kurt, C., Huebner, A., Galimba, M., & Uson, J. K. (2021). Is complex training superior to drop jumps or back squats for eliciting a post activation potentiation enhancement response? *Journal of Physical Education and Sport*, *21*(3), 2228–2236. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.s3283>

Beato, M., Coratella, G., & Schena, F. (2016). Brief review of the state of art in futsal. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *56*(4), 428–432.

Beato, M., de Keijzer, K. L., Fleming, A., Coates, A., La Spina, O., Coratella, G., & McErlain-Naylor, S. A. (2020). Post flywheel squat vs. flywheel deadlift potentiation of lower limb isokinetic peak torques in male athletes. *Sports Biomechanics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1810750>

Çabuk, S. and İnce, İ. (2025), The Acute Effects Of Hip Thrust and Glute Bridge Exercises With Different Loads on Sprint Performance and Horizontal Force–Velocity Profile in Adolescent Soccer Players: A Post-Activation Performance Enhancement Approach. *Eur J Sport Sci*, *25*: e12255. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12255>

Cardona Gómez, J. S., & Rojas Jaramillo, A. (2025). Does Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) occur with strength exercises on unstable surfaces? Effects on jump and sprint performance in a randomized crossover trial. *Retos*, *67*, 182–195. <https://doi.org/10.47197/retos.v67.110599>

Cardozo, L. A., Reina-Monroy, J. L., Salazar Guzmán, L. D., Cardona Bello, J. O., Merchán Vásquez, M. Á., & Peña-Ibagón, J. C. (2024). Effects of post-activation performance enhancement with inertial device and VertiMax on agility: Frequentist and Bayesian analyses. *Trends in Sport Sciences*, *31*(2), 99–107. <https://doi.org/10.23829/TSS.2024.31.2-5>

Dos Santos Silva, D., Boullosa, D., Moura Pereira, E. V., de Jesus Alves, M. D., de Sousa Fernandes, M. S., Badicu, G., Yagin, F. H., Aidar, F. J., Dos Santos, L. F., do Nascimento, H. R., Ardigò, L. P., & de Souza, R. F. (2023). Post-activation performance enhancement effect of drop jump on long jump performance during competition. *Scientific Reports*, *13*(1), 16993. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44075-w>

Dos Santos Silva, D., Boullosa, D., Pereira, E. V. M., Alves, M. D. J., Fernandes, M. S. S., Aidar, F. J., Dos Santos, L. F., & de Souza, R. F. (2024). Does the sequence of plyometric and dynamic stretching exercises influence subsequent sprint performance? A randomized crossover intervention study. *Biology of Sport*, *41*(2), 13–18. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2024.129485>

Đurović, M., Stojanović, N., Stojiljković, N., Karaula, D., & Okičić, T. (2022). The effects of post-activation performance enhancement and different warm-up protocols on swim start performance. *Scientific Reports*, *12*(1), 9038. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13003-9>

Fu, K., Chen, L., Poon, E. T.-C., Wang, R., Li, Q., Liu, H., & Ho, I. M. K. (2023). Post-activation performance enhancement of flywheel training on lower limb explosive power performance. *Frontiers in Physiology, 14*, 1217045. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1217045>

Gautam, A., Singh, P., & Varghese, V. (2024). Effects of postactivation potentiation enhancement on sprint and change-of-direction performance in athletes: A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies, 39*, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.02.006>

Genç S, Günay AR, Günay E (2025) The effects of resistance based post-activation performance enhancement on reaction time and change of direction in basketball players. *PLoS ONE 20(3): e0320437*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320437>

Krzysztofik, M., Jopek, M., Mroczek, D., Matusinski, A., & Zajac, A. (2024). Sprint performance following plyometric conditioning activity in elite sprinters. *Baltic Journal of Health and Physical Activity, 16(1)*, Article 7. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.16.1.07>

Krzysztofik, M., Spieszny, M., Trybulski, R., Wilk, M., Pisz, A., Kolinger, D., Filip-Stachnik, A., & Stastny, P. (2023). Acute Effects of Isometric Conditioning Activity on the Viscoelastic Properties of Muscles and Sprint and Jumping Performance in Handball Players. *Journal of strength and conditioning research, 37(7)*, 1486–1494. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004404>

Loturco, I., Pereira, L. A., Zabaloy, S., Mercer, V. P., Moura, T. B. M. A., Freitas, T. T., & Boulosa, D. (2024). No post-activation performance enhancement following a single set of plyometric or flywheel exercises in National Team rugby players. *Applied Sciences, 14(21)*, 9786. <https://doi.org/10.3390/app14219786>

Lucas, G., Sá, A. M., Pinheiro, B. N., Godinho, I., Casanova, F., Reis, V. M., et al. (2024). Comparison between warm-up protocols in post-activation potentiation enhancement (PAPE) of sprint and vertical jump performance in a female futsal team. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/02701367.2024.2434142>

Maroto-Izquierdo, S., Bautista, I. J., & Martín Rivera, F. (2020). Post-activation performance enhancement (PAPE) after a single bout of high-intensity flywheel resistance training. *Biology of Sport*, 37(4), 343–350. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.96318>

McErlain-Naylor, S. A., & Beato, M. (2021). Post flywheel squat potentiation of vertical and horizontal ground reaction force parameters during jumps and changes of direction. *Sports*, 9, 5. <https://doi.org/10.3390/sports9010005>

Polidoro, L., Bianchi, F., Di Tore, P. A., & Raiola, G. (2013). Futsal training by video analysis. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(2 proc), S290–S296. <https://doi.org/10.4100/jhse.2012.8.proc2.31>

Qi, H., Hao, M., Qu, B., Zhao, L., & Han, W. (2025). Acute effects of optimal power load flywheel half-squat training on lower limb explosive power under different load volumes. *PeerJ*, 13, e19321. <https://doi.org/10.7717/peerj.19321>

Ricoy-Lorenzo, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Educação*, 31(1), 11-22.

Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación. Mexico D.F.: McGraw-Hill. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Sañudo, B., de Hoyo, M., Haff, G. G., & Muñoz-López, A. (2020). Influence of strength level on the acute post-activation performance enhancement following flywheel and free weight resistance training. *Sensors*, 20(24), 7156. <https://doi.org/10.3390/s20247156>

Špudič, D., Dakskobler, J., & Štirn, I. (2023). Differences in post-activation potentiation and post-activation performance enhancement between flywheel and barbell squat protocols. *Kinesiologia Slovenica*, 29(1), 5–29. <https://doi.org/10.52165/kinsi.29.1.5-29>

Sun, S., Yu, Y., Niu, Y., Ren, M., Wang, J., & Zhang, M. (2024). Post-activation performance enhancement of flywheel and traditional squats on vertical jump under individualized recovery time. *Frontiers in Physiology*, 15, 1443899. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1443899>

Wheeler, C. [Wheeler Sports Tech]. (2022, 9 de marzo). *¿Cómo encontrar la carga óptima de entrenamiento en la YO-YO Isoinercial WHEELER?* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/UkJUjuAmZMc>

Xie, H., Zhang, W., Chen, X., He, J., Lu, J., Gao, Y., Li, D., Li, G., Ji, H., & Sun, J. (2022). Flywheel eccentric overload exercises versus barbell half squats for basketball players: Which is better for induction of post-activation performance enhancement? *PLOS ONE*, 17(11), e0277432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277432>

Yang, C., Shi, L., Lu, Y., Wu, H., & Yu, D. (2024). Post-activation Performance Enhancement of Countermovement Jump after Drop Jump versus Squat Jump Exercises in Elite Rhythmic Gymnasts. *Journal of sports science & medicine*, 23(1), 611–618. <https://doi.org/10.52082/jssm.2024.611>

Apéndices

Apéndice A: Consentimiento informado.

PAPE con Flywheel vs Drop Jumps.



Consentimiento Informado

Título del estudio:

Efectos de dos protocolos de mejora del rendimiento post-activación en pruebas motrices específicas en jugadoras universitarias de fútbol sala

Investigador responsable:

Juan Sebastián Del Villar Nieto



09-09-2025

Introducción

Le invitamos a participar de forma voluntaria en una investigación que tiene como propósito evaluar los efectos inmediatos de dos métodos de activación muscular sobre el rendimiento físico en jugadoras universitarias de fútbol sala. Este estudio forma parte del trabajo de grado de la Maestría en Desarrollo del Talento Deportivo de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y ha sido aprobado por el Comité de Ética en Investigación Científica (CEINCI).

¿En qué consiste la investigación?

Como participante, usted asistirá a dos sesiones prácticas, separada una de la otra por diez días, con una duración aproximada de 60 a 90 minutos cada una. En cada sesión se aplicará un protocolo diferente de activación muscular, seguido de tres pruebas físicas. El orden de los protocolos será fijo.

Protocolos de activación (uno por sesión):

Flywheel (media sentadilla): Se utilizará un dispositivo inercial (flywheel) con un arnés en hombros y cintura. Usted realizará una serie de 6 repeticiones de media sentadilla, bajando hasta los 90° de flexión de rodilla y subiendo de forma explosiva. El movimiento se realiza a la máxima velocidad posible para activar el sistema neuromuscular. Las manos deben permanecer en la cintura y la postura debe mantenerse alineada durante todo el ejercicio.

Drop Jumps (saltos en caída): De pie sobre un cajón de 45 cm, usted realizará 6 repeticiones, dejándose caer sin impulso y ejecutando un salto vertical lo más rápido y explosivo posible tras tocar el suelo. El contacto con el suelo debe ser breve y las rodillas no deben flexionarse más allá de los 90°. Las manos permanecerán en la cintura.

Antes de cada protocolo se realizará un calentamiento estandarizado de 10 minutos, que incluirá movilidad articular, carrera suave y ejercicios de activación muscular. Todo será supervisado por un profesional en deportes.

Pruebas físicas (antes y después de cada protocolo):

Salto con contramovimiento (CMJ): Medirá la potencia de sus piernas mediante un salto vertical con flexión rápida de rodillas seguida de una extensión explosiva. Se usará la plataforma de fuerza Valkyria Trainer Balance VT 6.0 para registrar altura junto con la fórmula de Sayers.

Sprint de 30 metros: Carrera a máxima velocidad en línea recta. El tiempo de ejecución será tomado con las fotocélulas marca OVR, herramienta validada para medir tiempos y velocidad de desplazamiento por tramos.

Prueba COD 505 (cambio de dirección): Correrá 15 metros, realizará un giro de 180° y regresará hasta los 10 metros. Se registrarán los tiempos de ejecución con las fotocélulas marca OVR.

Las pruebas y protocolos se realizarán en la pista atlética primero de marzo de la UIS. La información se registrará con cronómetros, formatos físicos y aplicaciones móviles, y será almacenada en un computador personal protegido con contraseña.

Principios éticos aplicados

Beneficencia: Este estudio busca aportar al conocimiento deportivo y ofrecerle una experiencia segura y útil para su rendimiento físico.

No maleficencia:

Los riesgos son mínimos, asociados principalmente a la fatiga muscular o molestias físicas leves. Existe un riesgo potencial de lesión osteomuscular, el cual se mitigará mediante calentamiento previo, pausas activas, adecuada supervisión técnica, hidratación disponible y uso de implementos seguros. En caso de presentarse alguna molestia o lesión, se suspenderá la participación y se brindará atención médica institucional a través del servicio de salud de la UIS.

Justicia:

La participación está abierta a todas las jugadoras activas del equipo femenino de fútbol sala UIS, sin distinción alguna.

Autonomía:

Su participación es completamente voluntaria. Podrá retirarse en cualquier momento del estudio sin ningún tipo de consecuencia personal, académica o deportiva. Además, podrá solicitar el retiro de sus datos en cualquier momento.

Confidencialidad y tratamiento de datos

Sus datos personales y resultados serán tratados con estricta confidencialidad conforme a la Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013. La información será almacenada en el computador del profesor titular, dentro de una carpeta protegida que requiere contraseña para su acceso y resguardada durante cinco años. Luego de ese tiempo, será eliminada de forma segura.



Durante las sesiones, se podrán tomar fotografías y videos exclusivamente con fines académicos, científicos y metodológicos. No se hará identificación directa en ningún caso. Con su firma, usted autoriza el uso de dicho material bajo estas condiciones.

Compromiso del investigador

Durante toda la investigación, usted podrá resolver cualquier duda o inquietud relacionada con los procedimientos, riesgos, beneficios u otros aspectos del estudio. Para ello, podrá comunicarse directamente con el investigador responsable:
Juan Sebastián Del Villar Nieto

En caso de surgir nueva información durante el desarrollo del estudio que pueda afectar su decisión de continuar, se le comunicará de inmediato.

Información del Comité de Ética

Si tiene preguntas sobre sus derechos como participante, puede comunicarse con el Comité de Ética en Investigación Científica (CEINCI) de la UIS:
Correo: ceinci@uis.edu.co
Teléfono: +57 (607) 634 4000 Ext. 3808

Declaración del Participante

Yo, _____, identificado/a con CC No. _____, declaro que he leído y comprendido este consentimiento informado. Acepto participar voluntariamente en esta investigación y autorizo el uso académico de mis datos, fotografías y videos según lo aquí descrito. Entiendo que puedo retirarme en cualquier momento sin ninguna consecuencia.

Además, autorizo el uso de mis datos para futuras investigaciones relacionadas con el presente estudio.

Nombre completo: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Teléfono: _____



09-09-2025

Firma del Investigador Responsable

Juan Sebastián Del Villar Nieto

Firma del testigo 1: _____

Firma del testigo 2: _____

