



Universidad de Granada  
Facultad de Ciencias del Deporte

**DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA**

PROGRAMA DE DOCTORANDO EN BIOMEDICINA  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

**UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE  
SALTOS VERTICALES SOBRECARGADOS  
SOBRE PLATAFORMA DE FUERZA**

Tesis Doctoral Internacional presentada por:  
**ALEJANDRO PÉREZ CASTILLA**

Tesis Doctoral Internacional dirigida por:  
**Dr. FRANCISCO JAVIER ROJAS RUIZ**  
**Dr. AMADOR GARCÍA RAMOS**

Granada, 2020

# UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SALTOS VERTICALES SOBRECARGADOS SOBRE PLATAFORMA DE FUERZA

---

**ALEJANDRO PÉREZ CASTILLA**

Programa de Doctorado en Biomedicina

Línea de Investigación en Actividad Física y Deporte



DIRECTORES:

Dr. FRANCISCO JAVIER ROJAS RUIZ

Dr. AMADOR GARCÍA RAMOS

Facultad de Ciencias del Deporte

Departamento de Educación Física y Deportiva

Universidad de Granada

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Alejandro Pérez Castilla  
ISBN: 978-84-1306-676-9  
URI: <http://hdl.handle.net/10481/64067>





## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>BECAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE PUBLICACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN / ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Identificación del procedimiento más fiable para determinar la altura de salto: velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo.....	15
1.2. Influencia del umbral utilizado para determinar el inicio del movimiento sobre las distintas variables de rendimiento en el ejercicio salto vertical.....	16
1.3. Optimización del procedimiento utilizado para evaluar la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical: método de dos puntos .....	18
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....</b>	<b>19</b>
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos e hipótesis específicos .....	19
<b>3. MATERIAL Y MÉTODO .....</b>	<b>22</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>77</b>
<b>6. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS.....</b>	<b>89</b>
<b>7. LÍMITACIONES Y PERPECTIVAS FUTURAS DE ESTUDIO.....</b>	<b>94</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>104</b>

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar unas palabras de agradecimiento a todas y cada una de las personas que de un modo u otro han contribuido al logro de la presente Tesis Doctoral a lo largo de estos cuatro años:

- A mis padres y hermano, **Francisco Pérez Espinosa, Antonia Castilla López y Santiago Pérez Castilla**, por inculcarme los valores de esfuerzo y constancia para la consecución del éxito desde el respecto y la humildad. Os estaré eternamente agradecido.
- A mi novia, **Ainara Jiménez Alonso**, por aguatarme y aconsejarme en los buenos y sobretodo malos momentos a lo largo de este ciclo de formación. Qué sería de mí vida sin tenerte a mi lado. Gracias por todo.
- A mi mentor y amigo, **Amador García Ramos**, por influir en mí destino y formación hasta el punto de realizar la presente Tesis Doctoral. Gracias por estar siempre predispuesto a ayudarme y ser un apoyo donde refugiarme ante las adversidades. Sobretodo agradecer tu amistad y los buenos momentos vividos (que no han sido pocos). Para mí siempre serás como un hermano mayor.
- A mi director de Tesis, **F. Javier Rojas Ruiz**, por ciegamente acogerme ante una situación nada grata. Tu bondad, altruismo y empatía han sido primordiales en la consecución de la presente Tesis Doctoral en momentos complicados en los que sólo pensaba en abandonar. Eres todo un ejemplo para las personas que nos estamos iniciando. Sólo me queda decirte, gracias.
- A mis compañeros de carrera (**Gabriel Ruíz Palomares, David Poyatos Ruíz, Carlos Morales Morales y Samuel Novo Calvo**) y amigos (**Alberto González Béjar, Juan Silverio García Mingorance, Antonio M. Segura Venegas, Francisco Ortiz Béjar**, etc.) por apoyarme y aconsejarme en este duro proceso de formación. Pese a la distancia, siempre os tendré presentes. Del mismo modo, a mis compañeros de trabajo, **Jesús Vera Vilchez y Francisco Pestaña Melero**, por hacerme más ameno el día a día. Con vosotros resulta más fácil y divertido ir a “trabajar”.
- Finalmente, me gustaría agradecer a todas las personas que he conocido e hicieron más llevaderas mis estancias de investigación en Belgrado (**Dragan M. Mirkov, Danica Janicijevic, Olivera M. Knezevic y Milos Petrovic**) y en Concepción (**Jesualdo Cuevas Aburto, David Ulloa Díaz, Paola Barboza González**, etc.).

**¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Participante realizando un salto vertical sobrecargado con barra libre sobre una plataforma de fuerza .....	16
<b>Figura 2.</b> Curva fuerza-tiempo de un participante representativo que muestra los cinco umbrales de inicio del movimiento durante un salto vertical sin contramovimiento realizado contra una carga externa de 0,5, 30 y 60 kg.....	34
<b>Figura 3.</b> Curva fuerza-tiempo de un participante representativo que muestra los cinco umbrales diferentes de inicio del movimiento durante una prueba de salto vertical con contramovimiento realizada contra una carga externa de 17 kg.....	37
<b>Figura 4.</b> Relación fuerza-velocidad obtenida a partir de los datos promediados entre los participantes que son modelados por el método de múltiples puntos y los métodos de dos puntos seleccionados durante los ejercicios de salto vertical sin contramovimiento y salto vertical con contramovimiento .....	43
<b>Figura 5.</b> Comparación del rendimiento de la altura de salto observada para los procedimientos basados en la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo entre el salto vertical sin contramovimiento sobrecargado realizado con una barra libre o con un pórtico guiado .....	49
<b>Figure 6.</b> Gráficos Bland–Altman mostrando las diferencias entre el rendimiento de la altura de salto calculado por los procedimientos basados en la velocidad de despegue y en el tiempo de vuelo.....	50
<b>Figura 7.</b> Comparación del rendimiento de la altura de salto observado para los procedimientos basados en la velocidad de despegue y tiempo de vuelo entre el salto vertical con contramovimiento sobrecargado realizado con una barra libre o con un pórtico guiado .....	52
<b>Figure 8.</b> Gráficos Bland–Altman mostrando las diferencias entre el rendimiento de la altura de salto calculado por los procedimientos basados en la velocidad de despegue y en el tiempo de vuelo.....	53
<b>Figura 9.</b> Relación entre los cambios en la altura de salto sin carga y la fuerza máxima, la velocidad máxima y la potencia máxima durante los ejercicios de salto vertical sin contramovimiento y salto vertical con contramovimiento.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resumen de los principales aspectos metodológicos de los diferentes estudios que componen la presente Tesis Doctoral. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Valores descriptivos de cada umbral usado para determinar el inicio del movimiento durante un salto vertical sin contramovimiento en función de la carga evaluada. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Valores descriptivos de cada umbral usado para determinar el inicio del movimiento durante un salto vertical con contramovimiento en función de la carga evaluada. ....	38
<b>Tabla 4.</b> Resumen de los resultados principales obtenidos en cada uno de los cinco estudios que componen la presente Tesis Doctoral. ....	45
<b>Tabla 5.</b> Fiabilidad de la altura de salto calculada a partir de los procedimientos basados en la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo en el ejercicio del salto vertical sin contramovimiento sobrecargado. ....	48
<b>Tabla 6.</b> Fiabilidad de la altura de salto calculada a partir de los procedimientos basados en la velocidad de despegue y en el tiempo de vuelo en el ejercicio de salto vertical con contramovimiento sobrecargado. ....	51
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de variación e intervalo de confianza al 95% obtenido para cada variable separadamente para cada umbral de inicio del movimiento de salto. ....	55
<b>Tabla 8.</b> Coeficiente de correlación intraclase e intervalo de confianza al 95% obtenido para cada variable separadamente para cada umbral de inicio del movimiento de salto. ....	57
<b>Tabla 9.</b> Mínimo cambio detectable obtenido para cada variable separadamente para cada umbral de inicio del movimiento de salto. ....	59
<b>Tabla 10.</b> Magnitud de las variables del salto sin contramovimiento usando diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto. ....	61
<b>Tabla 11.</b> Fiabilidad de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase descendente. ....	64
<b>Tabla 12.</b> Fiabilidad de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase ascendente. ....	66
<b>Tabla 13.</b> Magnitud de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase descendente. ....	68

**Tabla 14.** Magnitud de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase ascendente. ....70

**Tabla 15.** Magnitud y fiabilidad de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por el método de múltiples puntos y los métodos de dos puntos seleccionados durante el ejercicio de salto vertical sin contramovimiento. ....73

**Tabla 16.** Magnitud y fiabilidad de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por el método de múltiples puntos y los métodos de dos puntos seleccionados durante el ejercicio de salto vertical sin contramovimiento. ....74

**Tabla 17.** Comparación de los parámetros de la relación fuerza-velocidad entre el método de múltiples puntos y los métodos de dos puntos seleccionados durante los ejercicios de salto vertical sin contramovimiento y salto vertical con contramovimiento. ....75

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

## **BECAS DE INVESTIGACIÓN**

La presente Tesis Doctoral ha sido posible gracias a las siguientes ayudas de investigación:

- i. Programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU15/03649). Ministerio de Educación y Formación Profesional. Convocatoria 2015.
- ii. Ayudas a la Movilidad para Estancias Breves y Traslados Temporales. Ministerio de Educación y Formación Profesional. Convocatoria 2017.
- iii. Programa de Movilidad Internacional para Estudiantes de Doctorado. Vicerrectorado de Internalización de la Universidad de Granada. Curso académico 2018/2019.

## LISTA DE PUBLICACIONES

La presente Tesis Doctoral está compuesta por las siguientes publicaciones científicas:

- i. **Pérez-Castilla, A.**, McMahon, J.J., Comfort, P., & García-Ramos, A. (2020). Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(1), 671-677. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002166
- ii. **Pérez-Castilla, A.**, & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(7): 2025-2030. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002583.
- iii. **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2019). Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provides more reliable outcomes? *Journal of Biomechanics*, 92, 19-28. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2019.05.022.
- iv. **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation. *Sports Biomechanics*, epub ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2019.1682649.
- v. García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, & Jaric, S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports Biomechanics*, epub ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2018.1545044.

## ABREVIATURAS

$a$ , pendiente de la relación fuerza-velocidad	$F_0$ , fuerza máxima teórica
ANOVA, análisis de la varianza	iRFD, índice de ratio de desarrollo de fuerza
aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza	MCD, mínimo cambio detectable
CCI, coeficiente de correlación intraclase	$P_{max}$ , potencia máxima teórica
CMJ, salto vertical con contramovimiento	pRFD, ratio máxima de desarrollo de fuerza
CV, coeficiente de variación	PS, peso del sistema
DME, diferencias de medias estandarizada	$r$ , coeficiente de correlación de Pearson
DS, desviación estándar	SJ, salto vertical sin contramovimiento
EEM, error estándar de la medida	$V_0$ , velocidad máxima teórica
FRVS, fuerza de reacción vertical del suelo	$\eta^2$ , tamaño del efecto eta cuadrado

## **RESUMEN / ABSTRACT**

El salto vertical es una de las habilidades motoras que se utiliza más comúnmente para entrenar y evaluar el rendimiento de los miembros inferiores en diversas poblaciones. El salto vertical sin contramovimiento (SJ) y el salto vertical con contramovimiento (CMJ) son dos de las modalidades de salto que han recibido una mayor atención científica. La altura de salto se considera el principal indicador de rendimiento de los saltos verticales. Sin embargo, existen diversos procedimientos que se utilizan indistintamente en la literatura científica para estimar la altura de salto. En este sentido, el primer tópico de la presente Tesis Doctoral consiste en la *“identificación del procedimiento más fiable para determinar la altura de salto: velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo”*.

El análisis de los datos de fuerza de reacción vertical del suelo (FRVS) registrados por una plataforma de fuerza permite obtener otras variables relevantes de rendimiento como los valores medios, máximos y tiempo hasta los valores máximos de fuerza, potencia y velocidad, la ratio de desarrollo de fuerza, el impulso, o la duración de las diferentes fases del salto. Sin embargo, uno de los principales aspectos metodológicos que se debe considerar al determinar las distintas variables de rendimiento de los saltos verticales a partir de los datos de fuerza-tiempo registrados por una plataforma de fuerza es cómo seleccionar el umbral de inicio del movimiento. Por lo tanto, el segundo tópico de la presente Tesis Doctoral pretende examinar la *“influencia del umbral utilizado para determinar el inicio del movimiento sobre las variables de rendimiento en el ejercicio de salto vertical”*.

Finalmente, los saltos verticales se han utilizado más recientemente para evaluar la función muscular de los miembros inferiores. La relación fuerza-velocidad debe modelarse para determinar las capacidades máximas para producir fuerza, velocidad y potencia. Este procedimiento de evaluación consiste en la aplicación de múltiples cargas externas (entre 5 y 9 cargas) que permite obtener una amplia gama de datos de fuerza y velocidad. Posteriormente, los datos son tratados a partir de un modelo de regresión lineal simple para determinar los parámetros de la relación fuerza-velocidad. Sin embargo, dado que la relación fuerza-velocidad es altamente lineal, se ha propuesto que esta relación podría determinarse a través de un procedimiento más rápido que consiste en la aplicación de sólo dos cargas (método de 2 puntos). En este contexto, el último tópico de la presente Tesis Doctoral versa sobre la *“optimización del procedimiento utilizado para evaluar la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical: método de dos puntos”*.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

En base a los tres tópicos expuestos, el objetivo principal de la presente Tesis Doctoral fue establecer una base de conocimiento que mejore los procedimientos de evaluación de los saltos verticales realizados ante diferentes sobrecargas sobre una plataforma de fuerza. Para dar respuesta a este objetivo contamos con cinco estudios publicados en revistas indexadas en el Journal Citation Reports, cuyos objetivos fueron: (1) comparar la fiabilidad (es decir, la consistencia de los resultados cuando la medición se repite) y magnitud de la altura de salto obtenida a través de los datos registrados por una plataforma de fuerza mediante dos procedimientos de análisis (velocidad de despegue y tiempo de vuelo) en el ejercicio de SJ (estudio 1) y CMJ (estudio 2) realizados con una barra libre y en un pórtico guiado (**primer tópico**); (2) analizar la influencia de cinco umbrales usados para determinar el inicio del movimiento durante los ejercicios de SJ (estudio 3) y CMJ (estudio 4) realizados ante diferentes sobrecargas sobre la fiabilidad y magnitud de diferentes variables cinéticas y cinemáticas reportadas por una plataforma de fuerza (**segundo tópico**); y (3) comparar la fiabilidad y validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por el método de dos puntos variando la distancia entre los puntos experimentales con respecto al método de múltiples puntos en los ejercicios de SJ y CMJ (estudio 5; **tercer tópico**).

Los resultados de la presente Tesis Doctoral ponen de manifiesto que: (1) el uso de un pórtico guiado junto con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo proporciona la medición más fiable de la altura de salto, mientras que la opción menos fiable es usar el procedimiento basado en la velocidad de despegue realizando el salto en un pórtico guiado (estudios 1 y 2); (2) el umbral utilizado para detectar el inicio del movimiento de salto influye tanto en la fiabilidad como en la magnitud de las variables de rendimiento de los saltos verticales, siendo recomendable utilizar el umbral que considera la desviación estándar (DS) de la fase de pesaje (es decir, el salto se inicia 30 ms antes del instante en el que la FRVS es mayor [SJ] o menor [CMJ] que el peso del sistema [PS]  $\pm 5$  DS) debido a que proporciona una fiabilidad comparable a los umbrales conservadores y considera más señal del registro de fuerza en los análisis (estudios 3 y 4); y (3) el método de dos puntos basado en las cargas más distantes es un procedimiento fiable y válido en comparación con el método de múltiples puntos por lo que puede ser considerado como una alternativa más rápida y menos propensa a la fatiga para evaluar la función muscular de la parte inferior del cuerpo durante los ejercicios de salto vertical.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

Vertical jumping is one of the most commonly used motor skills to train and evaluate lower-body performance in various populations. The squat jump (SJ) and countermovement jump (CMJ) are the two of the jump modalities that have received the most scientific attention. Jump height is considered the main indicator of vertical jump performance. However, there are several procedures that are used interchangeably in the scientific literature to estimate jump height. In this sense, the first topic of this Doctoral Thesis is the ***“identification of the most reliable procedure to determine the jump height: take-off velocity vs. flight time”***.

The analysis of the vertical ground reaction force (VGRF) data recorded by a force platform allows obtaining other relevant performance variables such as mean, peak and time to peak values of force, power and velocity, rate of force development, impulse, or duration of the different phases of the jump. However, one of the main methodological aspects that should be considered when determining the different performance variables of the vertical jumps from the force-time data recorded by a force platform is how to select the jump starting threshold. Therefore, the second topic of this Doctoral Thesis aims to examine the ***“influence of the threshold used to determine the start of the movement on the performance variables during the vertical jump exercise”***.

Finally, vertical jumps have been used more recently to assess the lower-body muscle function. The force-velocity relationship must be modelled to determine the maximum capacities to produce force, velocity, and power. This testing procedure consists in the application of multiple external loads (between 5 and 9 loads) that allows obtaining a wide range of force and velocity data. Subsequently, the data are modelled through a simple linear regression model to determine the force-velocity relationship parameters. In this context, the last topic of this Doctoral Thesis deals with the ***“optimization of the procedure used to evaluate the force-velocity relationship in the vertical jump exercise: two-point method”***.

Based on the three topics presented, the main objective of this Doctoral Thesis was to establish a body of knowledge that improves the procedures for evaluating vertical jumps performed against different overloads on a force platform. To respond to this objective, we have five studies published in journals indexed in the Journal Citation Reports, whose objectives were: (1) to compare the reliability and magnitude of the jump height obtained from two standard procedures (take-off velocity and flight time) of analysing force platform data in the SJ (study 1) and CMJ (study 2) exercises performed with a free-weight bar or with a Smith machine (**first topic**); (2) to analyse the influence of five thresholds used to determine the onset of movement during the SJ (study 3) and CMJ (study 4) exercises on the reliability and

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza magnitude of different kinetic and kinematic variables reported by a force platform against a range of external loads (**second topic**); and (3) to compare the reliability and concurrent validity of the force-velocity relationship parameters obtained from the two-point method by varying the distance between the experimental points with respect to the multi-point method in the SJ and CMJ exercises (study 5; **third topic**).

The results of this Doctoral Thesis show that: (1) the use of a Smith machine together with the flight time procedure provides the most reliable measurement of jump height, while the least reliable option is to use the take-off velocity procedure by performing the jump with a Smith machine (studies 1 and 2); (2) the threshold used to detect the start of the jump movement influences both the reliability and the magnitude of the vertical jump performance variables, being recommended to use the threshold that considers the standard deviation (SD) of the weighing phase (i.e., the jump starts 30 ms before the instant in which the VGRF is greater [SJ] or less [CMJ] than the system weight [SW]  $\pm 5$  SD) because it provides reliability comparable to conservative thresholds and consider more force signal for the analysis (studies 3 and 4); and (3) the two-point method based on the most distant loads is a reliable and valid procedure as compared to the multiple-point method so it can be considered as a quick and less prone to fatigue alternative for testing the lower-body muscle function during the vertical jump exercises.

## 1. INTRODUCCIÓN

El salto vertical es una de las habilidades motoras fundamentales que se utiliza comúnmente para entrenar y evaluar el rendimiento balístico de los miembros inferiores en diversas poblaciones (Baker, 1996; Hansen, Cronin, & Newton, 2011; Moir, Button, Glaister, & Stone, 2004). El SJ y CMJ son dos de las modalidades de salto que han recibido una mayor atención científica (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996; Markovic, Mirkov, Nedeljkovic, & Jaric, 2014). Mientras el SJ proporciona una evaluación de la capacidad de desarrollar fuerza rápidamente durante una acción puramente concéntrica, el CMJ se emplea para evaluar la capacidad de los músculos para generar fuerza empleando el ciclo de estiramiento-acortamiento (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). La altura de salto se considera el principal indicador de rendimiento de los saltos verticales (De Villarreal, Kellis, Kraemer, & Izquierdo, 2009; Markovic, 2007). La razón principal se debe a que la altura de salto es un factor clave de éxito en numerosas disciplinas deportivas (ej., baloncesto, voleibol, etc.), existiendo una fuerte asociación entre la altura de salto y el rendimiento competitivo en diversas acciones del juego (Loturco, Pereira, Kobal, & Nakamura, 2018; Sattler, Hadzic, Dervisevic, & Markovic, 2015). Por ende, este indicador de rendimiento se ha usado frecuentemente para evaluar la efectividad de diversos programas de entrenamiento y rehabilitación (Chelly et al., 2010; Garcia-Ramos et al., 2016; Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, & Morin, 2017). Sin embargo, existen diversos procedimientos en la literatura científica que se utilizan indistintamente para estimar la altura de salto (Linthorne, 2001; Moir, 2008). En este sentido, el primer tópico de la presente Tesis Doctoral consiste en la ***identificación del procedimiento más fiable para determinar la altura de salto: velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo.***

Si bien la altura de salto se considera el principal indicador del rendimiento del salto vertical, el análisis de los datos de FRVS registrados por una plataforma de fuerza permite obtener otras variables relevantes de rendimiento como los valores medios, máximos y tiempo hasta los valores máximos de fuerza, potencia y velocidad (García-Ramos, Stirn, et al., 2016), la ratio de desarrollo de fuerza (McLellan, Lovell, & Gass, 2011), el impulso (Mitchell, Argus, Taylor, Sheppard, & Chapman, 2017), y el tiempo de contacto (Anderson & Pandy, 1993). Del mismo modo, este enfoque permite a los profesionales del deporte obtener una visión más completa de la estrategia de ejecución del salto (Chavda et al., 2018). Por ejemplo, el análisis de las fases descendentes y ascendentes del CMJ puede ayudar a identificar las principales debilidades de los atletas que deben abordarse para mejorar el rendimiento del salto (ej.,

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza cambios mecánicos en la técnica), y permite dilucidar la naturaleza de las adaptaciones al entrenamiento (Cormie, McBride, & McCaulley, 2009). Sin embargo, uno de los principales aspectos metodológicos al determinar las distintas variables de rendimiento de los saltos verticales a partir de los datos de fuerza-tiempo registrados por una plataforma de fuerza es cómo seleccionar el umbral de inicio del movimiento del salto (McMahon, Suchomel, Lake, & Comfort, 2018; Meylan, Nosaka, Green, & Cronin, 2011). Por lo tanto, el segundo tópico de presente Tesis Doctoral pretende examinar la ***influencia del umbral utilizado para determinar el inicio del movimiento sobre las variables de rendimiento en el ejercicio de salto vertical.***

Finalmente, los saltos verticales son comúnmente usados para evaluar la función muscular de los miembros inferiores (Cuk et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jaric, 2016; Pierre Samozino, Morin, Hintzy, & Belli, 2008). El procedimiento estándar de prueba de los saltos verticales consiste en registrar los valores de fuerza, velocidad y potencia ante cargas individuales (Cormie, McBride, & McCaulley, 2008; Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Moir et al., 2004). Sin embargo, es importante tener en cuenta que este procedimiento de prueba no permite discernir entre las distintas capacidades mecánicas musculares para producir fuerza, velocidad y potencia debido a que los valores de fuerza, velocidad y potencia registrados ante una misma carga son inter-dependientes (Jaric, 2016). Por lo tanto, la relación fuerza-velocidad debe modelarse para obtener una información más completa sobre la función muscular (Jaric, 2015). El procedimiento de evaluación de la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical consiste en la aplicación de múltiples cargas externas (entre 5 y 9 cargas) que permite obtener una amplia gama de datos de fuerza y velocidad. Posteriormente, los datos son tratados a partir de un modelo de regresión lineal simple ( $F[V] = F_0 - aV$ ) para determinar los parámetros de la relación fuerza-velocidad. Estos parámetros representan la fuerza máxima teórica ( $F_0$ ; intersección con el eje de la fuerza), la velocidad máxima teórica ( $V_0$ ; intersección con el eje de la velocidad), la pendiente de la relación fuerza-velocidad ( $a = F_0/V_0$ ) y la potencia máxima ( $P_{max} = [F_0 \cdot V_0]/4$ ) (Jaric, 2015). En términos de su relevancia para el rendimiento deportivo, la evaluación de la relación fuerza-velocidad podría ser importante para prescribir el entrenamiento de un atleta porque se ha demostrado que existe un perfil de fuerza-velocidad óptimo e individual para maximizar el rendimiento balístico (Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012; Samozino et al., 2014). En este contexto, el último tópico de la presente Tesis Doctoral versa sobre la ***optimización del procedimiento utilizado para evaluar la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical: método de dos puntos.***

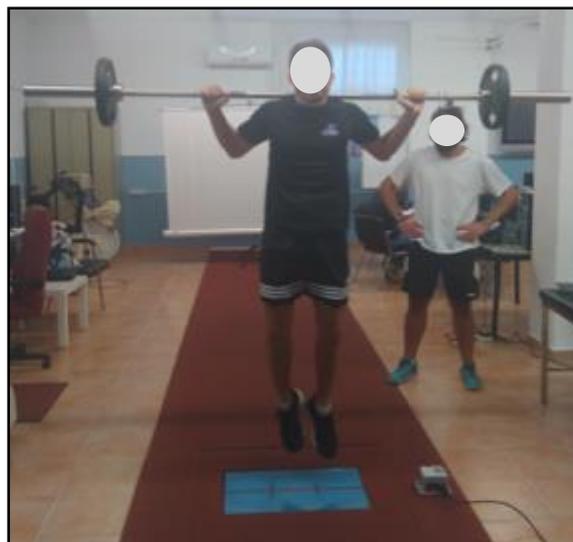
Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

A continuación, se presenta una breve introducción para cada uno de los tres tópicos que componen la presente Tesis Doctoral:

### **1.1. Identificación del procedimiento más fiable para determinar la altura de salto: velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo**

La plataforma de fuerza es el dispositivo de medición más utilizado para evaluar el rendimiento del salto vertical (Cronin, Hing, & McNair, 2004; Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2015). Se pueden usar dos procedimientos para estimar la altura de salto vertical a partir de los datos registrados por una plataforma de fuerza: velocidad de despegue y tiempo de vuelo. La velocidad de despegue se ha postulado como el procedimiento más preciso para determinar la altura de salto (Linthorne, 2001; Moir, 2008). Sin embargo, la adecuada estimación de la altura de salto mediante el procedimiento basado en la velocidad de despegue requiere de una determinación precisa del PS a partir de los datos fuerza-tiempo que se registran comúnmente durante la “*fase de pesaje*” (es decir, se requiere que el participante mantenga una posición estática durante aproximadamente 2-3 segundos) que precede al inicio del movimiento (McMahon et al., 2018). Por el contrario, la precisión del procedimiento basado en el tiempo de vuelo puede verse comprometida por la técnica de ejecución durante el aterrizaje del salto, ya que es necesario que los participantes aterricen con sus extremidades inferiores extendidas (Aragón, 2000; Moir, 2008). Por lo tanto, aunque ambos procedimientos han sido ampliamente utilizados en la literatura científica, existe una escasez de conocimiento sobre cuál de los dos procedimientos puede determinar la altura de salto con una mayor fiabilidad (es decir, una mayor consistencia de los resultados cuando la medición se repite), particularmente durante los saltos verticales sobrecargados.

Por otro lado, los procedimientos de evaluación de los saltos verticales sobrecargados se han realizado típicamente con una barra libre (es decir, la carga puede moverse libremente en cualquier dirección del espacio) o con un pórtico guiado (es decir, el movimiento de la barra se restringe a la dirección vertical) (García-Ramos, Jaric, Pérez-Castilla, Padial, & Feriche, 2017; Jiménez-Reyes et al., 2017; Newton, Kraemer, & Häkkinen, 1999; Stone et al., 2003). Sin embargo, la fiabilidad del rendimiento de altura de salto entre ambos tipos de salto (libre vs. guiado) aún no se ha comparado. También se desconoce si podrían existir diferencias en la magnitud del rendimiento de altura de salto entre los dos procedimientos estándar (velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo) durante los principales ejercicios de salto vertical (SJ y CMJ), y si estas diferencias podrían depender del tipo de salto o de la carga externa aplicada durante el protocolo de evaluación.



**Figura 1.** Participante realizando un salto vertical sobrecargado con barra libre sobre una plataforma de fuerza.

## **1.2. Influencia del umbral utilizado para determinar el inicio del movimiento sobre las distintas variables de rendimiento en el ejercicio salto vertical**

Uno de los principales problemas metodológicos al calcular las variables de rendimiento de los saltos verticales a partir de los datos de fuerza-tiempo registrados con una plataforma de fuerza es el umbral de inicio del movimiento de salto (es decir, el punto de inicio del análisis) (McMahon et al., 2018; Meylan et al., 2011). El umbral de inicio del movimiento de salto se ha identificado mediante la inspección manual de la señal fuerza-tiempo (Hanson, Leigh, & Mynark, 2007) o automáticamente cuando la FRVS excede un umbral específico (Meylan et al., 2011). La inspección manual puede tratarse de un método inexacto y lento (Chavda et al., 2018). Sin embargo, no hay consenso en la literatura científica sobre qué umbral de inicio del movimiento de salto se debe utilizar para analizar de manera automática el rendimiento de los saltos verticales. Algunos investigadores han utilizado umbrales absolutos con respecto al PS, como 10 N (10N) (García-Ramos et al., 2017; Moir, Sanders, Button, & Glaister, 2005), 20 N (Chandler, Greig, Comfort, & McMahon, 2018) o 50 N (50N) (Giroux et al., 2015; Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2016), mientras que otros han utilizado umbrales relativos al PS, como 1% (1%PS) (Gutierrez-Davila, Amaro, Garrido, & Rojas, 2014), 5% (García-Ramos, Stirn, et al., 2016) o 10% (10%PS) (Meylan et al., 2011). Para determinar el instante de tiempo exacto en el cuál la velocidad es cero, Owen et al. (2014) han propuesto en el ejercicio de CMJ un umbral de inicio del movimiento de salto que considera la

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza DS de la fase de pesaje (el salto comienza 30 ms antes del instante en el que la FRVS es 5 DE menor que el PS; 5DEPS). En la fase de pesaje se requiere que el participante permanezca lo más quieto posible sobre la plataforma de fuerza durante al menos 1-2 segundos. Sin embargo, la viabilidad del umbral 5DEPS no se ha examinado todavía en el ejercicio de SJ o cuando los saltos verticales se realizan ante cargas externas. Del mismo modo, ningún estudio ha explorado el impacto de estos umbrales de inicio del movimiento de salto (10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DPS) sobre la fiabilidad y magnitud de las distintas variables de rendimiento de los saltos verticales realizados ante diferentes cargas.

Hasta donde sabemos, únicamente un estudio ha explorado la influencia de tres umbrales de inicio del movimiento de salto (2,5%, 5% y 10%) sobre la fiabilidad y magnitud de diferentes variables cinéticas y cinemáticas reportadas durante las fases descendentes y ascendentes del ejercicio CMJ sin sobrecarga (Meylan et al., 2011). Meylan et al. (2011) revelaron que la magnitud de la mayoría de las variables difería significativamente dependiendo del umbral de inicio del movimiento de salto (excepto para los valores máximos de fuerza), mientras que las diferencias para la fiabilidad entre los tres umbrales de inicio del movimiento de salto sólo se observaron para algunas variables reportadas durante la fase descendente (tiempo hasta fuerza y potencia máxima, impulso y tiempo de contacto). Por lo tanto, Meylan et al. (2011) recomendaron un umbral de inicio del movimiento de salto del 2,5% ya que se considera más registro de fuerza-tiempo en los análisis. Sin embargo, la influencia del umbral de inicio del movimiento de salto en las variables de rendimiento del SJ y CMJ sobrecargado aún no se ha explorado. Es plausible que el uso de umbrales menos conservadores (es decir, existe una detección temprana del inicio del movimiento; ej., 10N o 1%PS) puede promover la determinación del inicio del movimiento antes de que ocurra, mientras que los umbrales más conservadores (es decir, existe una detección posterior al inicio del movimiento; ej., 50N o 10%PS) puede excluir del análisis la parte inicial del movimiento. Además, es probable que se puedan necesitar umbrales de inicio del movimiento de salto más conservadores durante el SJ en comparación con el CMJ debido a la mayor variabilidad esperada durante la fase de pesaje (posición isométrica a 90° de flexión de rodilla), especialmente cuando los saltos son realizados con sobrecarga (Pérez-Castilla, McMahon, Comfort, & García-Ramos, 2017). Por lo tanto, dado que los saltos verticales cada vez se usan más para evaluar exhaustivamente el rendimiento balístico de la parte inferior del cuerpo (Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2016; Samozino et al., 2008), esta información podría ser de especial

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza importancia para adoptar un umbral consistente que permita la comparación de las distintas variables de rendimiento entre diferentes centros de investigación.

### **1.3. Optimización del procedimiento utilizado para evaluar la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical: método de dos puntos**

En los últimos años, el procedimiento de evaluación del salto vertical que se ha utilizado de manera rutinaria para modelar la relación fuerza-velocidad ha consistido en medir los valores de fuerza y velocidad ante múltiples condiciones de carga (entre 5 y 9 cargas) (Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2016; García-Ramos et al., 2017; Giroux et al., 2015). Posteriormente, se aplica un modelo de regresión lineal a los datos registrados de fuerza y velocidad para determinar los parámetros de la relación fuerza-velocidad ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  y  $P_{max}$ ) (Iglesias-Soler, Fariñas, Mayo, Santos, & Jaric, 2019). El modelaje de la relación fuerza-velocidad a partir de los datos registrados de fuerza y velocidad ante más de dos condiciones de carga se ha denominado “*método de múltiples puntos*” (Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017). Sin embargo, dado que se conoce que la relación fuerza-velocidad es altamente lineal en tareas multiarticulares (Jaric, 2015), se podrían obtener los mismos parámetros de la relación fuerza-velocidad modelando los valores de fuerza y velocidad registrados ante únicamente dos condiciones de carga diferentes (este procedimiento ha sido referido como “*método de dos puntos*”) (Jaric, 2016). La principal ventaja del método de dos puntos en comparación con el método de múltiples puntos es que consume menos tiempo y es menos propenso a la fatiga (García-Ramos & Jaric, 2018; Jaric, 2016). No obstante, el nivel de fatiga inducido por el procedimiento de evaluación basado en múltiples condiciones de carga para evaluar la relación fuerza-velocidad de los ejercicios de salto vertical (SJ y CMJ) permanece prácticamente inexplorado.

Recientemente se ha demostrado que el método de dos puntos proporciona los parámetros de la relación fuerza-velocidad con una fiabilidad comparable y una alta validez con respecto al método de múltiples puntos en diversos ejercicios multiarticulares (García-Ramos, Torrejón, Pérez-Castilla, Morales-Artacho, & Jaric, 2018; Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial, & García-Ramos, 2018; Zivkovic et al., 2017). Sin embargo, se deben considerar varios aspectos metodológicos para aplicar de manera precisa el método de dos puntos (García-Ramos & Jaric, 2018). Estos incluyen la distancia entre los dos puntos experimentales, la proximidad de los puntos experimentales a los ejes de fuerza y velocidad, y

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza la fiabilidad de los puntos individuales. Pérez-Castilla et al. (2018) encontraron que la fiabilidad y validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad evaluados durante el ejercicio de press de banca lanzado fueron mayores usando los dos puntos experimentales más lejanos, mientras que los datos también sugirieron la necesidad de tener un punto cercano al eje de la fuerza y otro punto cercano al eje de la velocidad. García-Ramos, Torrejón, et al. (2018) también evidenciaron que la relación fuerza-velocidad evaluada durante el ejercicio de cicloergómetro de piernas debe obtenerse con dos cargas distantes, aunque los datos de las cargas relativas altas (cadencias inferiores a 110 rpm) deben evitarse debido a que los valores de velocidad eran significativamente menos fiables en comparación con las cargas relativas bajas, lo que a su vez comprometía la precisión de la relación fuerza-velocidad. Concretamente, en lo que respecta a los saltos verticales, solo Zivkovic et al. (2017) han confirmado la validez del método de dos puntos cuando se consideraron los datos de las dos cargas más distantes (0 y 32 kg) durante el ejercicio de CMJ. Por lo tanto, existe la necesidad aparente de explorar la fiabilidad y la validez concurrente de la relación fuerza-velocidad obtenida a partir del método de dos puntos en otras modalidades del salto vertical, así como de examinar el efecto de la selección de los dos puntos experimentales para determinar la relación fuerza-velocidad sobre su fiabilidad y validez.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivo general**

- Establecer una base de conocimiento que mejore los procedimientos metodológicos de evaluación de los saltos verticales realizados ante diferentes sobrecargas sobre una plataforma de fuerza.

### **2.2. Objetivos e hipótesis específicos**

La presente Tesis Doctoral se ha organizado en cinco estudios basados en los siguientes objetivos e hipótesis específicos:

*Estudio I: Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.*

- **Objetivo:** Comparar la fiabilidad y magnitud de la altura de salto obtenida a través de los datos registrados por una plataforma de fuerza mediante dos procedimientos de análisis

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

(velocidad de despegue y tiempo de vuelo) en el ejercicio de SJ sobrecargado (17, 30, 45, 60 y 75 kg) realizado con una barra libre o con un pórtico guiado.

- **Hipótesis:** (1) el procedimiento basado en la velocidad de despegue proporcionaría una mayor fiabilidad que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo debido a una menor influencia de la técnica de ejecución (Moir, 2008), así como el uso de un pórtico guiado proporcionaría una mayor fiabilidad que el uso de una barra libre debido a la mayor estabilidad proporcionada durante el salto; (2) aunque la altura de salto sería similar entre ambos procedimientos de análisis para el SJ sobrecargado realizado con una barra libre, el procedimiento basado en la velocidad de despegue sobreestimaría la magnitud de la altura de salto en comparación con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo para el SJ sobrecargado en un pórtico guiado debido a los efectos de la fuerza de fricción de los dos cojinetes lineales con las barras verticales del pórtico.

*Estudio 2: Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.*

- **Objetivo:** Comparar la fiabilidad y magnitud de la altura de salto obtenida a través de los datos registrados por una plataforma de fuerza mediante dos procedimientos de análisis (velocidad de despegue y tiempo de vuelo) en el ejercicio de CMJ sobrecargado (17, 30, 45, 60 y 75 kg) realizado con una barra libre o con un pórtico guiado.
- **Hipótesis:** (1) el procedimiento basado en el tiempo de vuelo proporcionaría una mayor fiabilidad que el procedimiento basado en la velocidad de despegue para el CMJ sobrecargado en un pórtico guiado, mientras que no se observarían diferencias para la fiabilidad entre ambos procedimientos para el CMJ sobrecargado con una barra libre, (2) la magnitud de la altura de salto sería comparable entre ambos procedimientos estándar, aunque la magnitud de las diferencias sería más acentuada para el CMJ sobrecargado en un pórtico guiado.

*Estudio 3: Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?*

- **Objetivo:** Analizar la influencia de cinco umbrales (10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS) usados para determinar el inicio del movimiento durante el ejercicio de SJ realizado ante

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

diferentes sobrecargas (0,5, 30 y 60 kg) sobre la fiabilidad y magnitud de diferentes variables cinéticas y cinemáticas reportadas por una plataforma de fuerza.

- **Hipótesis:** (1) la fiabilidad de las distintas variables de rendimiento sería mayor para los dos umbrales más conservadores (50N y 10%PS) y el umbral 5DSPS en comparación los dos umbrales menos conservadores (10N y 1%PS); (2) la magnitud de las variables de rendimiento obtenidas por los umbrales más conservadores (50N y 10%PS) diferirían significativamente con respecto a las mismas variables obtenidas usando los umbrales menos conservadores (10N y 1%PS). No se formuló ninguna hipótesis específica con respecto a la magnitud de las variables calculadas a partir del umbral de 5DSPS debido a que depende de la variabilidad reportada durante la fase de pesaje.

***Estudio 4: Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation.***

- **Objetivo:** Analizar la influencia de cinco umbrales (10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS) usados para determinar el inicio del movimiento durante el ejercicio de CMJ realizado ante diferentes sobrecargas (17, 30, 45 y 60 kg) sobre la fiabilidad y magnitud de diferentes variables cinéticas y cinemáticas reportadas por una plataforma de fuerza.
- **Hipótesis:** (1) la fiabilidad de las distintas variables de rendimiento sería mayor para los dos umbrales más conservadores (50N y 10%PS) y el umbral 5DSPS en comparación los dos umbrales menos conservadores (10N y 1%PS); (2) la magnitud de las variables de rendimiento obtenidas por los umbrales de 50N, 10%PS y 5DSPS diferirían significativamente con respecto a las mismas variables obtenidas por los umbrales de 10N y 1%PS.

***Estudio 5: Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps.***

- **Objetivos:** (1) comparar la fiabilidad y validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por el método de dos puntos variando la distancia entre los puntos experimentales (0-17 kg, 0-30 kg, 0-45 kg, 0-60 kg y 0-75 kg) con respecto al método de múltiples puntos (0-17-30-45-60-75 kg) en los ejercicios de SJ y CMJ; (2) explorar el efecto del procedimiento de evaluación de los saltos verticales basado en el método de múltiples puntos sobre los cambios en la altura de salto.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

- **Hipótesis:** (1) la fiabilidad y validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  y  $P_{max}$ ) obtenidos a partir del método de dos puntos basado en las dos condiciones de carga más distantes (0-75 kg) debería ser mayor, mientras que la fiabilidad y validez concurrente debería reducirse progresivamente usando condiciones de carga más próximas; (2) una reducción en la altura de salto vertical sería observada después de completar el procedimiento de evaluación de los saltos verticales.

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

Los aspectos más relevantes del apartado de material y método se presentan resumidamente en la **Tabla 1**. Además, se proporciona una información más detallada de las distintas subsecciones de este apartado (muestra, diseño, procedimiento, equipamiento y análisis de datos y análisis estadístico) para cada una de los cinco estudios que componen la presente Tesis Doctoral.

*Estudio I: Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.*

- **Muestra:**

Veintitrés hombres universitarios (edad =  $23,1 \pm 3,2$  años; estatura =  $1,77 \pm 0,07$  m; masa corporal =  $74,7 \pm 7,3$  kg) participaron voluntariamente en este estudio. Todos los participantes eran estudiantes físicamente activos con un mínimo de dos años de experiencia en entrenamiento de fuerza. Los participantes fueron instruidos para evitar cualquier ejercicio extenuante durante el transcurso del presente estudio. Ninguno de los participantes informó sobre alguna lesión física o problema de salud que pudieran comprometer el rendimiento evaluado. Todos los participantes fueron informados sobre los beneficios y riesgos de la investigación antes de firmar un formulario de consentimiento informado. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 687/CEIH/2018).

- **Diseño:**

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para comparar la fiabilidad y la magnitud del rendimiento de altura de salto del SJ entre los dos procedimientos estándar para estimar la altura de salto (velocidad de despegue y tiempo de vuelo). Tras dos sesiones de familiarización,

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza los participantes realizaron cuatro sesiones de evaluación (dos veces por semana) durante dos semanas consecutivas con 48-72 horas de descanso entre sesiones. En un orden contrabalanceado, se realizaron dos sesiones para el SJ sobrecargado con una barra libre durante una semana y dos sesiones para el SJ sobrecargado realizado con un pórtico guiado en otra semana. Todas las sesiones se realizaron en el laboratorio bajo la supervisión directa de un investigador experto, a la misma hora del día para cada participante ( $\pm 1$  hora) y bajo mismas condiciones ambientales ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$  y  $\sim 60\%$  de humedad).

○ **Procedimiento:**

Antes del comienzo de las pruebas, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de 10 minutos que incluyó carrera continua, movilidad articular y estiramientos dinámicos, seguido de seis saltos descargados y tres saltos con una sobrecarga de 17 kg con el tipo de salto evaluado. Posteriormente, se realizó el SJ sobrecargado con una barra libre o con un pórtico guiado contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). Las cargas externas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo la misma secuencia de cargas individuales para cada participante en todas las sesiones de evaluación. Se realizaron dos repeticiones por carga. Se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos entre cada repetición.

La técnica del ejercicio SJ sobrecargado involucró a los participantes de pie con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados aproximadamente a la anchura de los hombros y la barra sostenida sobre la parte superior de la espalda. Posteriormente, descendieron en un movimiento continuo hasta alcanzar los  $90^{\circ}$  de flexión de rodillas (Mitchell et al., 2017). Se instruyó a los participantes para que mantuvieran una posición estática a  $90^{\circ}$  de flexión de la rodillas durante 1,5 segundos y luego realizaran la fase ascendente con la intención de maximizar la altura del salto (García-Ramos et al., 2017). El contramovimiento se verificó cuidadosamente después de cada salto a través de la inspección visual de la curva fuerza-tiempo. Los participantes también recibieron instrucciones de aterrizar con las caderas y las rodillas extendidas, así como las articulaciones del tobillo en flexión plantar. Si no se cumplían estos criterios, el salto fue repetido. Los evaluadores estuvieron siempre presentes para alentar verbalmente a los participantes durante cada salto y se usaron cinturones lumbares para garantizar la seguridad. Se realizaron dos tipos de SJ sobrecargados: (1) SJ con barra libre en el que la carga era libre de moverse en cualquier dirección sin imponer ninguna restricción al movimiento (Samozino et al., 2014) y (2) SJ con pórtico guiado en la que el movimiento de la barra estaba restringido a la dirección vertical por los dos cojinetes lineales de la pórtico guiado (García-Ramos, Stirn, et al., 2016).

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Tabla 1.** Resumen de los principales aspectos metodológicos de los diferentes estudios que componen la pre

Estudio	Muestra	Diseño	Procedimiento	Equipamiento de
<i>Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.</i>	-n = 23 (edad = 23,1 ± 3,2 años; estatura = 1,77 ± 0,07 m; masa corporal = 74,7 ± 7,3 kg). -Todos los participantes eran físicamente activos con un mínimo de años de experiencia en entrenamiento de fuerza.	-Medidas repetidas. -Se realizaron dos sesiones de familiarización y cuatro sesiones de evaluación. -En un orden contrabalanceado, se realizaron dos sesiones para el SJ sobrecargado con una barra libre durante una semana y cuatro sesiones para el SJ sobrecargado realizado con un pórtico guiado en otra semana.	-Se realizó el ejercicio de SJ sobrecargado con una barra libre o con un pórtico guiado contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). -Las cargas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo la misma secuencia en todas las sesiones de evaluación. -Se midieron dos repeticiones por carga y se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos.	-Plataforma (Dinascan/IB Biomecánica España) que da datos de frecuencia de salto. -Se utilizó el procedimiento para calcular la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo.
<i>Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.</i>	-n = 17 (edad: 22,2 ± 2,2 años; estatura: 1,77 ± 0,06 m; masa corporal: 75,2 ± 7,1 kg). -Todos los participantes estaban regularmente involucrados en actividades físicas y tenían al menos dos años de experiencia en el entrenamiento de fuerza.	-Medidas repetidas -Se realizaron dos sesiones de familiarización y cuatro sesiones de evaluación. -En un orden contrabalanceado, se realizaron dos sesiones para el CMJ sobrecargado con una barra libre durante una semana y dos sesiones para el CMJ sobrecargado realizado con un pórtico guiado en otra semana.	-Se realizó el ejercicio de CMJ sobrecargado con una barra libre o con un pórtico guiado contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). -Las cargas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo la misma secuencia en todas las sesiones de evaluación. -Se midieron dos repeticiones por carga y se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos.	-Plataforma (Dinascan/IB Biomecánica España) que da datos de frecuencia de salto. -Se utilizó el procedimiento para calcular la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo.
<i>Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force</i>	-n = 20 (edad = 23,4 ± 3,3 años; estatura = 1,76 ±	-Medidas repetidas.	-Se realizaron dos intentos máximos del ejercicio de SJ	-Plataforma (Dinascan/IB Biomecánica

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

<p><i>platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?</i></p>	<p>0,07 m; masa corporal = <math>74,7 \pm 6,7</math> kg). -Todos los participantes eran estudiantes físicamente activos con un mínimo de dos años de experiencia en entrenamiento de fuerza.</p>	<p>-Se realizó una sesión de familiarización y dos sesiones de evaluación. -El ejercicio de SJ se realizó con una barra libre contra seis cargas externas (0,5, 17, 30, 45, 60 y 75 kg) en cada sesión.</p>	<p>contra seis cargas externas (0,5, 17, 30, 45, 60 y 75 kg). -El SJ descargado se ejecutó con una barra de madera de 0,5 kg, mientras que el SJ sobrecargado se realizó con una barra libre de 17 kg. -Las cargas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo la misma secuencia en todas las sesiones de evaluación. -Se implementaron períodos de recuperación de 3-4 minutos entre dos saltos consecutivos.</p>	<p>España) que los datos de FR... -El inicio de la prueba se definió como el instante en que el sujeto excedió el umbral específico de potencia (1%PS, 10%PL). -Las variables que se midieron fueron: velocidad de ascenso máximos y tiempo de contacto con el suelo, valores máximos de potencia y tiempo de contacto aRFD, potencia de impulso, altura de impulso y tiempo de contacto.</p>
<p><i>Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation</i></p>	<p>-n = 17 (edad = <math>23,4 \pm 3,5</math> años; estatura = <math>1,78 \pm 0,07</math> m; masa corporal = <math>76,3 \pm 7,5</math> kg). -Todos los participantes fueron físicamente activos a través de su plan de estudios académico.</p>	<p>-Medidas repetidas. -Se realizó una sesión de familiarización y dos sesiones de evaluación. -El ejercicio CMJ realizado con una barra libre se realizó contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg) en cada sesión de evaluación.</p>	<p>-Se realizaron dos intentos máximos del ejercicio de CMJ contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). -Las cargas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo la misma secuencia en todas las sesiones de evaluación. -Las cargas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo la misma secuencia en todas las sesiones de evaluación. -Se implementaron períodos de recuperación de 3-4 minutos entre dos saltos consecutivos.</p>	<p>-Plataforma de fuerza (Dinascan/IB) de Biomecánica (España) que los datos de FR... -El inicio de la prueba se definió como el instante en que el sujeto estaba por encima del umbral específico de potencia (50N, 1%PS, 5DSPS). -Las variables que se midieron fueron: velocidad de ascenso máximos y tiempo de contacto con el suelo, valores máximos de potencia y tiempo de contacto.</p>
<p><i>Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-</i></p>	<p>-n = 18 (edad = <math>22,3 \pm 2,1</math> años; estatura = <math>1,79 \pm 0,06</math> m; masa corporal = <math>75,7 \pm 7,0</math> kg).</p>	<p>-Medidas repetidas. -Se realizaron dos sesiones</p>	<p>-Antes y después del procedimiento de evaluación, se realizaron dos saltos con</p>	<p>-Plataforma de fuerza (Dinascan/IB) de Biomecánica (España) que</p>

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

<p><i>velocity relationship during vertical jumps</i></p>	<p>-Los criterios de selección fueron: (I) tener al menos 1 año de experiencia en entrenamiento de fuerza, (II) poder saltar con una técnica adecuada contra la máxima carga evaluada (75 kg o más) y (III) estar libre de dolor o lesión musculoesquelética que pueda comprometer las evaluaciones.</p>	<p>familiarización y cuatro sesiones de evaluación. -En un orden contrabalanceado, se realizaron dos sesiones para ejercicio SJ realizado con una barra libre durante una semana y dos sesiones del ejercicio CMJ realizado con una barra libre en otra semana.</p>	<p>una barra de madera de 0,5 kg. -El procedimiento de evaluación consistió en realizar dos saltos verticales contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). -Las cinco cargas externas se aplicaron en un orden aleatorio. -Se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos.</p>	<p>datos de frecuencia de -Los datos de velocidad obtenidos bajo cargas (0,5, 17, 30, 45, 60 y 75 kg) se modelaron con un modelo de fuerza-velocidad simple para determinar los parámetros de fuerza-velocidad (<math>P_{max}</math>) a través de múltiples puntos. -Los mismos parámetros de relación fuerza-velocidad se calcularon para los cinco métodos de salto (puntos que se midieron la distancia en los puntos experimentales: 17 kg, 0-30 cm; 30 kg, 0-45 cm; 45 kg, 0-60 cm y 60 kg y 0-75 cm).</p>
---	--	---	--	---

SJ, salto vertical sin contramovimiento; FRVS, fuerza de reacción vertical del suelo; DME, diferencias de medida; CV, coeficiente de variación; CCI, coeficiente de correlación intraclase; CMJ, salto vertical del sistema; DS, desviación estándar; aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza; pRFD, ratio máxima de desarrollo de fuerza; MCD, mínimo cambio detectable;  $F_0$ , fuerza máxima teórica;  $V_0$ , fuerza máxima de fuerza-velocidad;  $P_{max}$ , potencia máxima;  $r$ , coeficiente de correlación de Pearson.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

○ **Equipamiento y análisis de datos:**

Los saltos verticales se realizaron en una plataforma de fuerza (Dinascan/IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia, España) que reportó los datos de FRVS a una frecuencia de 1,000 Hz (Street, McMillan, Board, Rasmussen, & Heneghan, 2001). Se utilizaron dos procedimientos estándar para calcular la altura de salto a partir de los datos registrados por la plataforma de fuerza:

- *Velocidad de despegue:* Antes de cada salto, los participantes se pesaron durante 4 segundos con la carga externa sobre sus hombros para determinar el PS (peso corporal + sobrecarga externa). El inicio de la fase ascendente se identificó como el primer instante de tiempo en el que la FRVS estaba 10 N por encima del PS, mientras que el despegue se definió como el instante de tiempo en el que la FRVS estaba por debajo de 5 N (García-Ramos et al., 2017). La fuerza neta se calculó como la cantidad de fuerza que excedía el PS. El impulso neto de la fase ascendente se calculó mediante la regla trapezoidal, y luego se dividió por la masa del sistema para determinar la velocidad en el momento del despegue. Finalmente, la altura de salto se calculó a partir de la velocidad de despegue mediante la siguiente ecuación, donde  $g$  representa la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ):

$$\text{Altura de salto} = \frac{\text{velocidad de despegue}^2}{2 \times g}$$

- *Tiempo de vuelo:* El tiempo de vuelo se definió como el período de tiempo que transcurren entre el despegue y el aterrizaje. El contacto después del vuelo se identificó como el instante en que la FRVS excedió 10 N. La altura de salto se obtuvo a partir del tiempo de vuelo utilizando la siguiente ecuación, donde  $g$  representa la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ):

$$\text{Altura de salto} = \frac{g \times \text{tiempo de vuelo}^2}{8}$$

Los datos de ambas sesiones para cada tipo de salto se utilizaron para abordar el primer objetivo (fiabilidad entre sesiones), mientras que sólo los datos de la segunda sesión para cada

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza tipo de salto se utilizaron para abordar el segundo objetivo (comparación de la magnitud). Para el análisis estadístico, sólo se seleccionó el intento con un mayor rendimiento de altura de salto para cada carga. Específicamente, el mejor intento para cada procedimiento se seleccionó para el análisis de fiabilidad entre sesiones, mientras que el intento con la mayor altura de salto de acuerdo con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo se usó para la comparación de la magnitud.

○ **Análisis estadístico:**

Los datos se presentan como media y DE, mientras que el coeficiente de variación (CV) se presenta como mediana y rango. Se usaron pruebas *t* para muestras relacionadas y diferencias de medias estandarizada (tamaño del efecto *d* de Cohen, DME) para comparar las magnitudes de la altura de salto entre ambas sesiones de evaluación. Los criterios para interpretar la magnitud de las DME fueron los siguientes: trivial ( $< 0,2$ ), pequeño (0,2-0,59), moderado (0,60-1,19), grande (1,2-2,0) o muy grande ( $> 2,0$ ) (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). La fiabilidad entre sesiones se evaluó mediante el error estándar de medida (EEM), el CV y el coeficiente de correlación intraclase (CCI) con su correspondiente intervalo de confianza al 95%. La fiabilidad se consideró como aceptable con un CCI  $> 0,70$  y un CV  $< 10\%$  (García-Ramos et al., 2017). Se utilizaron pruebas *t* para muestras relacionadas para comparar los CV entre los procedimientos y tipo de saltos. Para interpretar la magnitud de las diferencias observadas entre dos CV, se estableció como criterio un ratio superior a 1,15 (García-Ramos et al., 2017). Un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas con tres factores (procedimiento [velocidad de despegue y tiempo de vuelo], tipo de salto [barra libre y pódico guiado] y carga [17, 30, 45, 60 75 kg]) utilizando la corrección de Bonferroni se usó para comparar la magnitud del rendimiento de la altura de salto. El tamaño del efecto eta cuadrado ( $\eta^2$ ) se calculó para el ANOVA donde los valores de 0,01, 0,06 y  $> 0,14$  se consideraron pequeños, medianos y grandes, respectivamente (Cohen, 1988). Análisis gráficos de Bland-Altman también se realizaron para examinar la presencia de sesgos sistemáticos y aleatorios entre ambos procedimientos por separado para cada tipo de salto. La heterocedasticidad se definió como un  $r^2 > 0,1$  (Atkinson & Nevill, 1998). La significación estadística se fijó como  $P < 0,05$ . Todas las evaluaciones de fiabilidad se realizaron mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000), mientras que el resto de análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE. UU.).

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

*Estudio 2: Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.*

○ **Muestra:**

Diecisiete estudiantes varones de educación física para participar en este estudio (edad =  $22,2 \pm 2,2$  años, estatura =  $1,77 \pm 0,06$  m, masa corporal =  $75,2 \pm 7,1$  kg). Todos los participantes estaban regularmente involucrados en actividades físicas y tenían al menos dos años de experiencia en el entrenamiento de fuerza. Todos ellos tenían experiencia previa con el ejercicio de sentadillas, pero no estaban familiarizados con los saltos verticales sobrecargados antes del inicio del estudio. Ninguno de ellos informó enfermedades crónicas o lesiones recientes que pudiesen comprometer el rendimiento evaluado. Se les indicó que evitaran cualquier ejercicio extenuante durante el transcurso del estudio. Todos los participantes fueron informados acerca de todos los procedimientos de evaluación y firmaron un consentimiento informado por escrito antes del inicio del estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 687/CEIH/2018).

○ **Diseño:**

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para comparar la fiabilidad y la magnitud del rendimiento de altura salto del CMJ entre los dos procedimientos estándar para estimar la altura de salto (velocidad de despegue y tiempo de vuelo). Tras dos sesiones de familiarización, los participantes realizaron cuatro sesiones de evaluación (dos veces por semana) durante dos semanas consecutivas con 48-72 horas de descanso entre sesiones. En un orden contrabalanceado, se realizaron dos sesiones para el ejercicio CMJ sobrecargado con una barra libre durante una semana y dos sesiones para el ejercicio CMJ sobrecargado con un pórtico guiado en otra semana.

○ **Procedimiento:**

Después de un calentamiento estandarizado, los participantes realizaron el CMJ con una barra libre o con un pórtico guiado contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg) que se aplicaron en un orden aleatorio. La carga máxima fue de 75 kg porque todos los participantes fueron capaces de saltar con una técnica adecuada con esta carga o más durante las sesiones de familiarización. Se ejecutaron dos intentos por carga. Se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos entre intentos sucesivos.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

○ **Equipamiento y análisis de datos:**

Los saltos verticales se realizaron en una plataforma de fuerza (Dinascan/IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia, España) que reportó los datos de FRVS a una frecuencia de 1,000 Hz. Se utilizaron dos procedimientos estándar para calcular la altura del salto:

- *Velocidad de despegue*: Antes de cada salto, los participantes se pesaron durante 4 segundos con la carga externa sobre sus hombros para determinar el PS. La fuerza vertical neta se calculó como la cantidad de fuerza que excedía el PS. La FRVS se integró utilizando la regla trapezoidal desde el inicio de la fase descendente (es decir, cuando la FRVS estaba 10 N por debajo del PS) hasta el despegue (instante de tiempo en el que FRVS estaba por debajo de 5 N) (García-Ramos et al., 2017). El impulso neto se dividió por el PS para determinar la velocidad en el momento del despegue. Finalmente, la altura de salto se calculó a partir de la velocidad de despegue mediante la siguiente ecuación, donde  $g$  representa la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ):

$$\text{Altura de salto} = \frac{\text{velocidad de despegue}^2}{2 \times g}$$

- *Tiempo de vuelo*: El tiempo de vuelo se definió como el período de tiempo transcurrido entre el despegue y el aterrizaje. El contacto después del vuelo se identificó como el instante en que la FRVS excedió 10 N. La altura de salto se obtuvo a partir del tiempo de vuelo utilizando la siguiente ecuación, donde  $g$  representa la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ):

$$\text{Altura de salto} = \frac{g \times \text{tiempo de vuelo}^2}{8}$$

Los datos de ambas sesiones para cada tipo de salto se utilizaron para abordar el primer objetivo (fiabilidad entre sesiones), mientras que sólo los datos de la segunda sesión para cada tipo de salto se utilizaron para abordar el segundo objetivo (comparación de la magnitud). Para el análisis estadístico, sólo se seleccionó el intento con un mayor rendimiento de altura de salto para cada carga. Específicamente, el mejor intento para cada procedimiento se seleccionó para el análisis de fiabilidad entre sesiones, mientras que el intento con la mayor altura de salto de

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza acuerdo con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo se usó para la comparación de la magnitud. Todos los saltos se analizaron mediante una hoja de cálculo personalizada de Microsoft Excel.

○ **Análisis estadístico:**

Se utilizaron pruebas  $t$  para muestras relacionadas para comparar la magnitud de la altura de salto entre ambas sesiones de evaluación. La fiabilidad se evaluó mediante EEM, el CV y CCI (modelo 3,1) con su intervalo de confianza al 95%. La fiabilidad se considero aceptable con un CCI  $> 0,70$  y un CV  $< 10\%$  (García-Ramos et al., 2017). Se aplicaron ANOVA de medidas repetidas con tres factores (procedimiento [velocidad de despeque y tiempo de vuelo], tipo de salto [barra libre y pódico guiado] y carga [17, 30, 45, 60 75 kg]) sobre los CV individuales y la altura de salto. Los CV individuales se calcularon como 
$$CV (\%) = \frac{DS \text{ de la sesión 1 y 2}}{\text{media de la sesión 1 y 2}} \times 100$$
 (Pestaña-Melero, Haff, Rojas, Pérez-Castilla, & García-Ramos, 2018). Análisis gráficos de Bland-Altman también se realizaron para examinar la presencia de sesgos sistemático y aleatorio entre ambos procedimientos por separado para cada tipo de salto. La significación estadística se fijó como  $P < 0,05$ . Todas las evaluaciones de fiabilidad se realizaron mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000), mientras que el resto de análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE. UU.).

***Estudio 3: Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?***

○ **Muestra:**

Veinte hombres (edad =  $23,4 \pm 3,3$  años, estatura =  $1,76 \pm 0,07$  m, masa corporal =  $74,7 \pm 6,7$  kg) se ofrecieron como voluntarios para participar en el estudio. Todos los participantes eran estudiantes físicamente activos con un mínimo de dos años de experiencia en entrenamiento de fuerza y podían saltar con una técnica adecuada con la máxima carga evaluada (75 kg o más). Los participantes recibieron instrucciones de evitar cualquier actividad física extenuante durante el transcurso del estudio. Los participantes fueron informados de los procedimientos del estudio y firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 687/CEIH/2018).

○ **Diseño:**

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para examinar la influencia del umbral de inicio del movimiento de salto sobre la fiabilidad y magnitud de las diferentes variables de rendimiento obtenidas durante el SJ realizado ante diferentes cargas. Tras una sesión de familiarización, los participantes realizaron dos sesiones de evaluación idénticas separadas por un mínimo de 48 horas. El ejercicio SJ se realizó con seis cargas externas (0,5, 17, 30, 45, 60 y 75 kg) en cada sesión. Las sesiones de evaluación se realizaron a la misma hora del día ( $\pm 1$  hora) y bajo mismas condiciones ambientales ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$  y  $\sim 60\%$  de humedad).

○ **Procedimiento:**

Las sesiones de prueba comenzaron con un calentamiento estandarizado de 10 minutos que consistía en carrera continua, movilidad articular y estiramientos dinámicos, seguido de seis SJ descargados y tres SJ sobrecargados con 17 kg. Una vez que se completó el calentamiento, los participantes descansaron durante 3 minutos y luego realizaron dos intentos máximos contra las cargas externas de 0,5, 17, 30, 45, 60 y 75 kg. El SJ descargado se ejecutó con una barra de madera de 0,5 kg, mientras que el SJ sobrecargado se realizó con una barra libre de 17 kg. Las cargas externas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo el mismo orden para cada participante durante ambas sesiones de evaluación. Se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos entre cada salto. Los investigadores experimentados siempre estuvieron presentes para alentar verbalmente a los participantes durante la prueba y se usaron cinturones de lumbares para garantizar la seguridad de los participantes.

La técnica del SJ involucró a los participantes de pie en el centro de la plataforma de fuerza con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados aproximadamente al ancho de los hombros y la barra apoyada sobre la espalda al nivel del acromion. Luego, los participantes descendieron en un movimiento continuo hasta alcanzar una profundidad autoseleccionada (aproximadamente  $90^{\circ}$  de flexión de la rodilla) y, después de mantener esta posición estática durante 1,5 segundos, realizaron la acción ascendente con la instrucción de saltar lo más alto posible (García-Ramos et al., 2017). Un investigador experimentado comprobó que el ángulo de la rodilla en la parte final del movimiento era de aproximadamente  $90^{\circ}$ . Si se observó algún contramovimiento, que se verificó cuidadosamente

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza a través de la inspección visual de la curva fuerza-tiempo, el intento se repitió. La duración de las fases descendentes e isométricas fue establecida mediante señales auditivas.

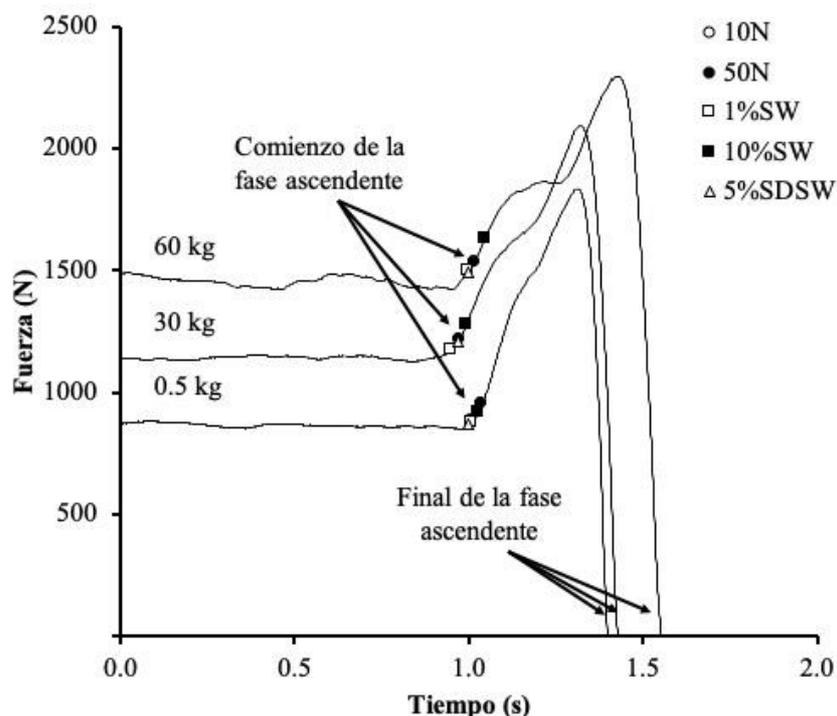
○ **Equipamiento y análisis de datos:**

Todos los SJ se realizaron en una plataforma de fuerza (Dinascan/IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia, España) que reportó los datos de FRVS a 1,000 Hz. El PS (peso corporal + sobrecarga externa) se determinó como el promedio de FRVS durante un período de 1 segundo en la posición de cuclillas antes del inicio del movimiento (Moir et al., 2005). El inicio del movimiento se definió como el primer instante de tiempo en que el FRVS excedió el umbral específico (10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS) (**Figura 2**), mientras que el despegue fue definido como el instante de tiempo cuando FRVS estaba por debajo de 10 N (Mundy, Lake, Carden, Smith, & Lauder, 2016). Siguiendo la recomendación de Owen et al. (2014) para determinar el umbral de 5DSPS, se restaron 30 ms al instante de tiempo en el que el FRVS excedió el PS más 5 DS. Sólo las cargas externas de 0,5, 30 y 60 kg se utilizaron para los análisis estadísticos con la finalidad de simplificar los resultados. Específicamente, el valor del umbral usado para identificar el inicio de movimiento para cada carga se especifica en la **Tabla 2**. El teorema del impulso-momento se utilizó para calcular las variables dependientes del presente estudio (Linthorne, 2001). Específicamente, la aceleración vertical se calculó como la FRVS neta dividida por el PS, mientras que la velocidad vertical del centro de masa se determinó integrando la aceleración con respecto al tiempo. Se calcularon las siguientes variables de rendimiento del SJ:

**Tabla 2.** Valores descriptivos de cada umbral usado para determinar el inicio del movimiento durante un salto vertical sin contramovimiento en función de la carga evaluada.

<b>Umbral</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Media ± DS (N)</b>	<b>Rango (N)</b>
	0,5	7,5 ± 0,7	6,5-8,7
1%PS	30	10,3 ± 0,7	9,3-11,5
	60	13,8 ± 0,7	9,3-11,5
	0,5	74,6 ± 6,6	65,0-86,7
10%PS	30	103,4 ± 6,6	93,4-115,1
	60	137,8 ± 7,0	128,6- 150,9
	0,5	29,8 ± 10,2	11,7-48,7
5DSPS	30	48,0 ± 19,6	21,7-91,7
	60	66,8 ± 31,8	23,7-152,7

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema.



**Figura 2.** Curva fuerza-tiempo de un participante representativo (masa corporal = 86,5 kg) que muestra los cinco umbrales de inicio del movimiento durante un salto vertical sin contramovimiento (SJ) realizado contra una carga externa de 0,5, 30 y 60 kg. Tenga en cuenta que el inicio de la fase ascendente difiere ligeramente entre los distintos umbrales de inicio, estando en este ejemplo especialmente superpuestos los umbrales de 1%PS, 10N y 5DSPS. Téngase en cuenta que la variabilidad de la fase de pesaje aumenta con el incremento de la carga externa.

-*Valores medios:* Valores de fuerza, potencia y velocidad promediados a lo largo de la fase propulsiva del salto (es decir, desde el inicio del movimiento hasta el despegue) (García-Ramos, Stirn, et al., 2016).

-*Valores máximos:* Valores máximos de fuerza, potencia y velocidad alcanzados durante la fase propulsiva del salto (Moir et al., 2005).

-*Tiempo hasta los valores máximos:* Tiempo desde el inicio del movimiento hasta alcanzar los valores fuerza, potencia y velocidad máximos (McLellan et al., 2011).

- *Ratio de desarrollo de fuerza:* la ratio promedio de desarrollo de fuerza (aRFD) se calculó como la fuerza máxima dividida por el tiempo necesario para alcanzar la fuerza máxima (McLellan et al., 2011). La ratio máxima de desarrollo de fuerza (pRFD) se calculó como el

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza incremento más alto entre dos intervalos de fuerza consecutivos (es decir, intervalo de tiempo de 0.001 segundos) durante la fase propulsiva del salto. El índice de la ratio de desarrollo de fuerza (iRFD) se calculó como el pRFD dividido por el tiempo necesario para alcanzar el pRFD (Boullosa, Abreu, Conceição, Cordero, & Jimenez-Reyes, 2018).

-*Impulso*: Área bajo la curva fuerza-tiempo durante la fase propulsiva del salto dividida por la masa corporal (Mitchell et al., 2017).

-*Altura del salto*: La altura del salto se calculó a partir de la velocidad de despegue (Pérez-Castilla et al., 2017).

-*Tiempo de contacto*: Tiempo necesario para realizar la fase propulsiva del salto (Anderson & Pandy, 1993).

Solo el intento con la DS más baja registrada durante la fase de pesaje de 1 segundo para cada carga externa se utilizó para los análisis estadísticos. Se utilizó una hoja de cálculo personalizada de Microsoft Excel® (Microsoft Corporations, Redmond, Washington, EE. UU.) para calcular las variables descritas anteriormente (Chavda et al., 2018).

#### ○ **Análisis estadístico:**

La estadística descriptiva se presenta como media y DE. La distribución normal de los datos fue confirmada por la prueba de Shapiro-Wilk ( $P > 0,05$ ). La fiabilidad se evaluó mediante el CV y el CCI (modelo 3,1) con el correspondiente intervalo de confianza al 95%. La fiabilidad se consideró aceptable con un CV  $< 10\%$  y un ICC  $> 0,70$  (Cormack, Newton, McGuigan, & Doyle, 2008). Se identificó una mayor fiabilidad para un umbral cuando el CV estaba por debajo o el ICC por encima del intervalo de confianza del 95% de otro umbral (Garcia-Ramos et al., 2018). El mínimo cambio detectable (MCD) también se calculó como  $1,96 \times \sqrt{2} \times \text{EEM}$  (Thompson et al., 2008). Se realizó un ANOVA de medidas repetidas con dos factores (umbral [10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS]  $\times$  carga [0,5, 30 y 60 kg]) para comparar la magnitud de cada variable dependiente. La corrección Greenhouse-Geisser se usó cuando se violó la prueba de esfericidad de Mauchly y se identificaron las diferencias por pares utilizando las correcciones post-hoc de Bonferroni. Además, se calculó  $\eta^2$  para el ANOVA donde los valores de 0,01, 0,06 y  $> 0,14$  se consideraron pequeños, medianos y grandes, respectivamente (Cohen, 1988). El análisis de fiabilidad se realizó mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000), mientras que el resto de análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE. UU.). Alpha se fijó a 0,05.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

*Estudio 4: Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation.*

○ **Muestra:**

Diecisiete estudiantes varones de educación física se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio (edad =  $23,4 \pm 3,5$  años, estatura =  $1,78 \pm 0,07$  m, masa corporal =  $76.3 \pm 7.5$  kg). Todos los participantes fueron físicamente activos a través de su plan de estudios académico ( $\approx 8$  horas de actividad física moderada por semana), que incluía acondicionamiento físico y diferentes actividades deportivas. No tenían problemas de salud ni lesiones musculoesqueléticas que pudieran comprometer las evaluaciones. Todos los participantes fueron informados de los procedimientos del estudio y firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 687/CEIH/2018).

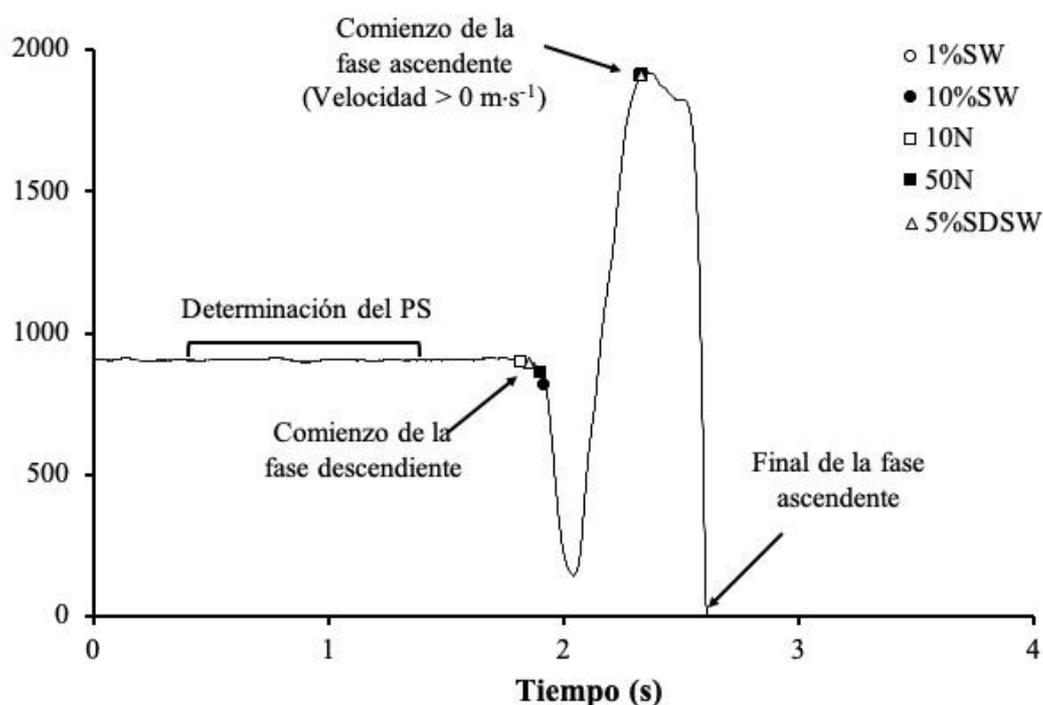
○ **Diseño:**

Se usó un diseño de medidas repetidas para examinar la influencia del umbral de inicio del movimiento de salto sobre la fiabilidad y magnitud de las diferentes variables cinéticas y cinemáticas obtenidas durante el ejercicio CMJ sobrecargado. Después de una sesión de familiarización, los participantes asistieron al laboratorio en dos ocasiones separadas por 48-72 horas. El ejercicio CMJ realizado con una barra libre se realizó contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg) en cada sesión de evaluación. Se aconsejó a los participantes que evitaran cualquier actividad física extenuante durante el transcurso del estudio. Todas las sesiones de prueba se realizaron a la misma hora del día ( $\pm 1$  hora) y bajo mismas condiciones ambientales ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$  y  $\sim 60\%$  de humedad).

○ **Procedimiento:**

Al comienzo de cada sesión, los participantes completaron un calentamiento estandarizado de 10 minutos que consistía en carrera continua, movilidad articular y estiramientos dinámicos, seguido de seis CMJ descargados y tres CMJ sobrecargados con 17 kg (es decir, la masa de la barra utilizada durante las evaluaciones). Posteriormente, los participantes realizaron dos saltos máximos contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). Las cargas externas se aplicaron en un orden aleatorio, pero se mantuvo el mismo orden para cada participante durante ambas sesiones de evaluación. Se implementaron períodos de recuperación de 3-4 minutos entre dos saltos consecutivos. Antes de cada salto, los

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza participantes debían colocarse con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados aproximadamente a la anchura de los hombros y la barra apoyada sobre la espalda al nivel del acromion. Posteriormente, se les indicó que saltaran lo más alto posible después de realizar un contramovimiento a  $\approx 90^\circ$  de flexión de la rodilla. Los investigadores experimentados siempre estuvieron presentes para alentar verbalmente a los participantes durante la prueba y se usaron cinturones lumbares para garantizar la seguridad de los participantes.



**Figura 3.** Curva fuerza-tiempo de un participante representativo que muestra los cinco umbrales diferentes de inicio del movimiento durante una prueba de salto vertical con contramovimiento realizada contra una carga externa de 17 kg. Se muestran el inicio y el final de las fases descendentes y ascendentes, así como el período promedio de 1 segundo utilizado para determinar el peso del sistema (PS). Tenga en cuenta que el inicio de las fase descendente y ascendente difiere ligeramente entre los distintos umbrales de inicio, en este ejemplo se superponen especialmente para los umbrales 1%PS, 10N y 5DSDS. DS, desviación estándar.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

○ **Equipamiento y análisis de datos:**

Los CMJ sobrecargados se realizaron en una plataforma de fuerza (Dinascan/IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia, España) que muestreó los datos de FRVS a 1,000 Hz. Durante la fase de pesaje, los participantes permanecieron inmóviles en el centro de la plataforma de fuerza durante 4 segundos con la carga externa sobre sus hombros. El PS (es decir, la suma del peso corporal y el peso externo) se determinó como el valor promedio de la FRVS reportado durante el último segundo que precede al inicio de la fase descendiente (Moir, Garcia, & Dwyer, 2009). Las fases descendientes y ascendentes del CMJ se analizaron por separado (**Figura 3**). La fase descendiente se definió desde el primer instante en que el FRVS estaba por debajo del umbral de inicio del movimiento del salto seleccionado (es decir, 10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS) hasta el primer instante en que la velocidad vertical del centro de la masa fue positiva (Chavda et al., 2018). La fase ascendente se identificó desde este último punto hasta el último instante en que la FRVS estaba por encima de 10 N (Mundy et al., 2016). El valor del umbral usado para identificar el inicio de movimiento para cada carga se especifica en la **Tabla 3**. El teorema del impulso-momento se utilizó para calcular las variables dependientes del presente estudio (Linthorne, 2001):

**Tabla 3.** Valores descriptivos de cada umbral usado para determinar el inicio del movimiento durante un salto vertical con contramovimiento en función de la carga evaluada.

<b>Umbral</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Media ± DS (N)</b>	<b>Rango (N)</b>
1%PS	17	9,5 ± 1,3	7,9-13,8
	30	11,2 ± 3,1	9,2-22,9
	45	12,7 ± 2,6	10,6-22,5
	60	15,2 ± 12,6	12,6-15,2
10%PS	17	95,0 ± 13,4	78,9-138,0
	30	111,8 ± 31,0	91,6-228,8
	45	126,6 ± 26,3	106,4- 224,7
	60	139,3 ± 7,5	126,0-152,1
5DSPS	17	17,7 ± 5,5	7,2-25,5
	30	17,6 ± 6,1	10,0-33,9
	45	18,9 ± 5,9	10,4-28,3
	60	21,4 ± 6,4	11,6-32,6

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

-*Valores medios*: Valores de fuerza, velocidad y potencia promediados en la fase descendente y ascendente (Meylan, Cronin, Oliver, Hughes, & McMaster, 2012)

-*Valores máximos*: Valores máximos de fuerza, velocidad y potencia registrados durante la fase descendente y ascendente (Cormie et al., 2009). Los valores máximos de velocidad y potencia durante la fase descendente fueron los valores negativos máximos alcanzados.

-*Tiempo hasta los valores máximos*: Tiempo desde el inicio de cada fase del movimiento hasta alcanzar los valores máximos de fuerza, velocidad y potencia (Gathercole, Sporer, Stellingwerff, & Sleivert, 2015).

-*Impulso*: El área bajo la curva de fuerza-tiempo se calculó utilizando la regla trapezoidal durante la fase descendente y ascendente. La parte de la fase descendente en la que la FRVS fue menor que el PS no se consideró para el cálculo del impulso obtenido durante el contramovimiento (Meylan et al., 2011).

-*Duración de la fase*: Intervalo de tiempo necesario entre la fase descendente y ascendente (Sole, Mizuguchi, Sato, Moir, & Stone, 2018).

-*Desplazamiento*: Distancia vertical cubierta por el centro de masa durante la fase descendente y ascendente (Rice et al., 2017).

Solo se utilizó para el análisis estadístico el intento con la DS más baja registrada durante el período promedio de 1 segundo (es decir, la fase de pesaje) en cada condición de carga. La DE del período promedio de 1 segundo fue inferior a 7 N para todos los saltos analizados en el presente estudio ( $3,6 \pm 1,3$  N [rango: 0,6-6,6 N]). La carga de 75 kg no se usó para los análisis estadísticos ya que reveló consistentemente una DS mayor de 7 N. Se usó una hoja de cálculo de Microsoft Excel® (Microsoft Corporations, Redmond, Washington, EE. UU.) para calcular las diferentes variables cinéticas y cinemáticas durante el ejercicio de CMJ sobrecargado (Chavda et al., 2018).

#### ○ **Análisis estadístico:**

Los datos se presentan como medias y DE. La distribución normal de los datos fue confirmada por la prueba de Shapiro-Wilk ( $P > 0,05$ ). La fiabilidad entre sesiones se evaluó mediante el CV, calculado a partir del EEM, con el correspondiente intervalo de confianza al 95%. La fiabilidad se consideró aceptable con un  $CV < 10\%$  (Cormack et al., 2008). La relación entre dos CV se utilizó para evaluar las diferencias en la fiabilidad. Se consideró como criterio

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza una ratio superior a 1,15 (Fulton, Pyne, Hopkins, & Burkett, 2009). Se realizó un ANOVA de medidas repetidas con dos factores (umbral [10N, 50N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS] × carga [17, 30, 45 y 60 kg]) para comparar la magnitud de cada variable dependiente. La corrección Greenhouse-Geisser se usó cuando se violó la prueba de esfericidad de Mauchly y se identificaron las diferencias por pares utilizando las correcciones post-hoc de Bonferroni. El análisis de fiabilidad se realizó mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000), mientras que el resto de análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22.0, Chicago, IL, EE. UU.). Alpha se fijó a 0,05.

*Estudio 5: Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps.*

○ **Muestra:**

Dieciocho hombres físicamente activos se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio (edad =  $22,3 \pm 2,1$  años, estatura =  $1,79 \pm 0,06$  m; masa corporal =  $75,7 \pm 7,0$  kg). Los criterios de selección incluyeron (I) tener al menos 1 año de experiencia en entrenamiento de fuerza que incluía los ejercicios de saltos vertical, (II) poder saltar con una técnica adecuada contra la carga máxima evaluada (75 kg o más) y (III) estar libre de dolor o lesión musculoesquelética que pueda comprometer las evaluaciones. Los participantes también recibieron instrucciones de evitar cualquier ejercicio extenuante durante el transcurso del estudio. Todos los participantes fueron informados de los procedimientos del estudio y firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 687/CEIH/2018).

○ **Diseño:**

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para examinar la fiabilidad y la validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos a través del método de dos puntos variando la distancia entre los puntos experimentales con respecto al método de múltiples puntos durante dos ejercicios de salto vertical (SJ y CMJ). Los participantes realizaron cuatro sesiones de prueba (dos veces por semana) durante dos semanas consecutivas con al menos 48 horas de descanso entre ellas. En un orden contrabalanceado, los participantes realizaron dos sesiones para el ejercicio de SJ realizado con una barra libre durante una semana y dos sesiones para el ejercicio de CMJ realizado con una barra libre en otra semana. La semana

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza anterior a la primera sesión de evaluación se utilizó para familiarizar a los participantes con los ejercicios de SJ y CMJ sobrecargados durante dos sesiones separadas por 48 horas. Todas las sesiones de prueba se realizaron en el laboratorio bajo la supervisión directa de un investigador experto, a la misma hora del día para cada participante ( $\pm 1$  hora) y bajo mismas condiciones ambientales ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$  y  $\sim 60\%$  de humedad).

○ **Procedimiento:**

Antes del comienzo de las pruebas, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de 10 minutos que incluyó carrera continua, movilidad articular y estiramientos dinámicos, seguido de seis saltos descargados y tres saltos sobrecargados con 17 kg con el ejercicio de evaluación (SJ o CMJ). Una vez que se completó el calentamiento, los participantes descansaron durante 3 minutos y luego realizaron dos saltos con una barra de madera de 0,5 kg. Posteriormente, los participantes realizaron dos saltos verticales contra cinco cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg). Las cinco cargas externas se aplicaron en un orden aleatorio. Finalmente, los participantes realizaron dos saltos más con la barra de 0,5 kg. Se implementaron períodos de descanso de 3-4 minutos entre las pruebas de la misma carga y de diferentes cargas. Como se reclutó una muestra homogénea para este estudio, se utilizaron las mismas cargas absolutas para todos los participantes para simplificar el procedimiento de evaluación. La carga máxima representó un  $99,6 \pm 8,4\%$  de la masa corporal de los participantes [rango = 83,6-112,6%] y permitió una altura de salto de  $8,1 \pm 2,4$  cm [rango = 4,3-13,6 cm] y  $8,7 \pm 2,4$  cm [rango = 5,8-13,2 cm] durante los ejercicios SJ y CMJ, respectivamente. El intento con la velocidad máxima más alta para cada condición de carga se utilizó para modelar la relación fuerza-velocidad, ya que está altamente correlacionada con la altura de salto vertical (García-Ramos et al., 2015). El nivel de fatiga inducido por el procedimiento de evaluación se cuantificó como la disminución en la altura de salto considerando el intento con la velocidad de despegue más alta al comienzo y al final de cada prueba de salto vertical (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

La técnica del SJ involucró a los participantes de pie con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados aproximadamente a la anchura de los hombros, y la barra sostenida sobre la parte superior de la espalda. A continuación, los participantes descendieron en un movimiento continuo de 1,5 segundos hasta alcanzar  $\approx 90^{\circ}$  de flexión de la rodilla (García-Ramos et al., 2017). Después de mantener esta posición estática durante 1,5 segundos, los participantes recibieron la instrucción de realizar la acción ascendente con la

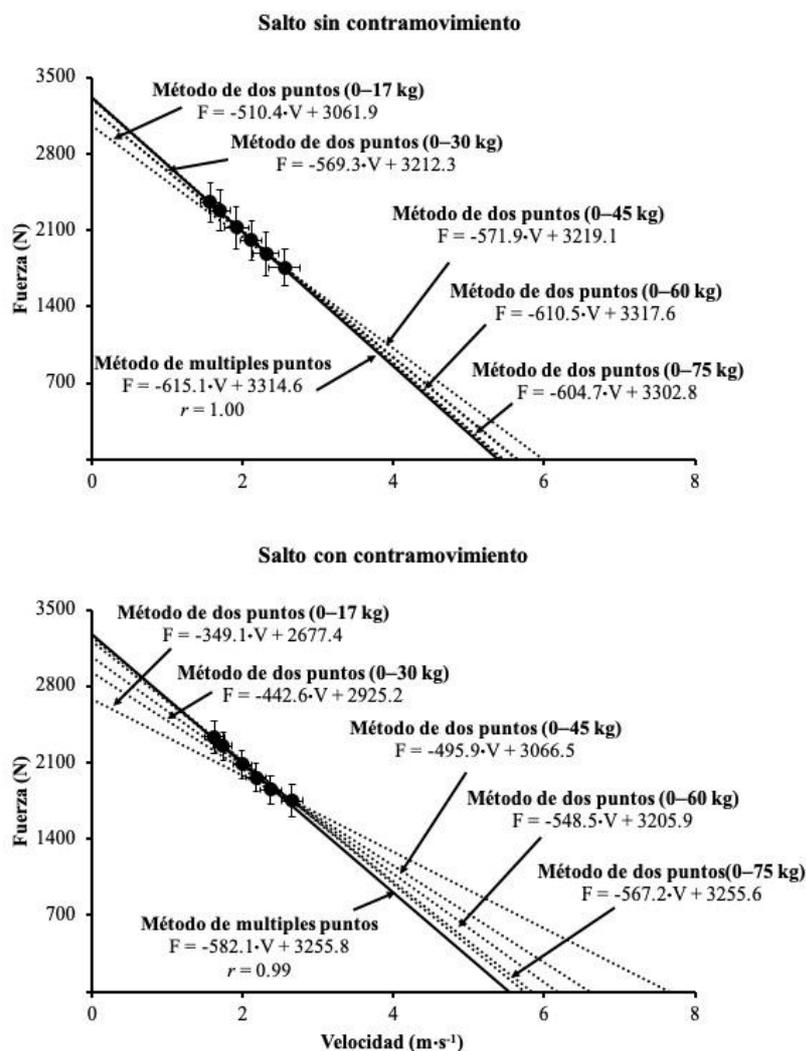
Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza intención de saltar lo más alto posible (García-Ramos et al., 2017). Si se observó algún contramovimiento, que fue verbalmente restringido y cuidadosamente verificado por su curva de fuerza-tiempo, la prueba se repitió. La duración de las fases descendentes e isométricas fue estimulada por señales auditivas, mientras que la fase ascendente siempre se realizó a la máxima velocidad intencionada. Para la técnica del CMJ, los participantes solo recibieron la instrucción de saltar lo más alto posible, pero un investigador experimentado se aseguró de que los participantes alcanzaran un ángulo de rodilla de  $\approx 90^\circ$ . La prueba se repitió si la profundidad del contramovimiento variaba significativamente de la flexión de la rodilla de  $90^\circ$ . Los investigadores experimentados estuvieron presentes para alentar verbalmente a los participantes durante la prueba y se usaron cinturones lumbares para garantizar la seguridad.

○ **Equipamiento y análisis de datos:**

Los saltos verticales se realizaron en una plataforma de fuerza (Dinascan/IBV, Instituto de Biomecánica de Valencia, España) que registró los datos de FRVS a una frecuencia de 1,000 Hz. Antes de cada salto, se pesó a los participantes durante 4 segundos con la carga externa sobre sus hombros para determinar el PS. El inicio del salto se definió como el primer instante de tiempo cuando la FRVS vertical era 10 N por encima (SJ) o por debajo (CMJ) del PS (McLellan et al., 2011). Para cada salto, la velocidad del centro de masa del sistema se calculó mediante la regla trapezoidal (Linthorne, 2001). Específicamente, la FRVS neta se calculó como la cantidad de fuerza que excede el PS y luego se dividió por la masa del sistema para determinar la aceleración. La aceleración se integró numéricamente para proporcionar una velocidad instantánea del centro de masa. Los valores máximos de fuerza y velocidad en cada condición de carga, así como la altura de salto alcanzada durante los saltos descargados fueron las variables dependientes analizadas. La altura de salto se calculó siguiendo el procedimiento basado en la velocidad de despegue (Linthorne, 2001).

Los datos de fuerza y velocidad máxima obtenidos bajo seis cargas diferentes (0, 17, 30, 45, 60 y 75 kg) se modelaron primero mediante un modelo de regresión lineal simple para determinar los parámetros de la relación fuerza-velocidad a través del método de múltiples puntos:  $F[V] = F_0 - aV$ , donde  $F_0$  representa la fuerza máxima (es decir, intercepción de la fuerza),  $V_0$  es la velocidad máxima (es decir, intercepción de la velocidad) y  $a$  corresponde a la pendiente de la relación fuerza-velocidad ( $F_0/V_0$ ) (Jaric, 2015; Vandewalle, Peres, Heller, Panel, & Monod, 1987). Como consecuencia de que la relación fuerza-velocidad es altamente lineal, la potencia máxima ( $P_{max}$ ) se calculó como  $P_{max} = F_0 \cdot V_0 / 4$ . Los mismos parámetros de relación fuerza-velocidad se calcularon a partir de cinco métodos de dos puntos que difieren

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza en la distancia entre los puntos experimentales: 0–17 kg, 0–30 kg, 0–45 kg, 0–60 kg y 0–75 kg (Figura 4).



**Figura 4.** Relación fuerza-velocidad obtenida a partir de los datos promediados entre los participantes que son modelados por el método de múltiples puntos (línea de regresión sólida; todos los puntos de datos incluidos) y los métodos de dos puntos seleccionados (líneas de regresión discontinuas; las dos cargas consideradas se indican entre paréntesis) durante los ejercicios de salto vertical sin contramovimiento (panel superior) y salto vertical con contramovimiento (panel inferior). Los valores medios se muestran para las seis condiciones de carga (0, 17, 30, 45, 60 y 75 kg), mientras que las barras de error representan la desviación estándar. Las ecuaciones de regresión obtenidas para cada método individual también se indican ( $r$ , coeficiente de correlación de Pearson).

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

Solo los datos de la primera sesión de prueba de cada tipo de salto se utilizaron para examinar la validez concurrente de los métodos de dos puntos seleccionados con respecto al método de múltiples puntos, así como para explorar el efecto del procedimiento de prueba de salto vertical basado en múltiples cargas sobre la altura de salto vertical descargado. Los datos obtenidos de ambas sesiones de cada tipo de salto se usaron para el análisis de fiabilidad.

○ **Análisis estadístico:**

Los datos se presentan como medias y DE, mientras que el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) se presenta a través de su mediana y rango. La fiabilidad de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por los diferentes métodos se evaluó mediante el CV y el ICC (modelo 3.1). La fiabilidad se consideró aceptable con un CV < 10% y un ICC > 0,70 (Cormack et al., 2008). Se identificaron diferencias significativas en la fiabilidad cuando el CV o ICC del método de dos puntos estaba por encima o por debajo del intervalo de confianza del 95% del método de múltiples puntos. Se usaron pruebas  $t$  para muestras relacionadas y diferencias de medias estandarizada (tamaño del efecto  $d$  de Cohen, DME) para comparar la magnitud de los parámetros de la relación fuerza-velocidad entre los cinco métodos de dos puntos y el método de múltiples puntos, así como la altura de salto sin carga antes y después del procedimiento de evaluación. Los coeficientes  $r$  se usaron para evaluar la validez concurrente de los métodos de dos puntos con respecto al método de múltiples puntos y para explorar la asociación entre el cambio en la altura del salto y la magnitud de los parámetros de la relación fuerza-velocidad. El nivel de acuerdo entre los métodos de múltiples puntos y de dos puntos también se cuantificó utilizando la técnica de los límites de acuerdo del 95% de Bland-Altman (error sistemático  $\pm (1.96 \times DS_{\text{diferencia}})$ ). La significación estadística se aceptó con un nivel de  $P < 0,05$  y los límites de confianza se establecieron al 95%. El análisis de fiabilidad se realizó mediante una hoja de cálculo personalizada (Hopkins, 2000), mientras que el resto de análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22,0, Chicago, IL, EE. UU.).

#### **4. RESULTADOS**

Los principales resultados de cada estudio se muestran a modo resumen en la **Tabla 4**. La sección de resultados se presenta agrupando los distintos estudios para cada una de las temáticas que componen la presente Tesis Doctoral:

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Tabla 4.** Resumen de los resultados principales obtenidos en cada uno de los cinco estudios que componen I

Estudio	Resultados
<p><i>Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.</i></p>	<p>No se observaron diferencias sustanciales en la fiabilidad entre el p despegue (CV = 9,88% [6,22% -17,73%]) y el basado en el tiempo de = 0,099; CV ratio = 1,14), mientras que el uso de un pórtico guiado (C mayor fiabilidad que el uso de una barra libre (CV = 9,88% [7,54%</p> <p>El procedimiento basado en la velocidad de despegue reportó mayo procedimiento basado en el tiempo de vuelo para el SJ realizado con m cm; <math>P &gt; 0,05</math>), mientras que no se observaron diferencias para el SJ r procedimientos (0,26 cm; <math>P \leq 0,05</math>). Se observó heterocedasticidad c pórtico guiado (<math>r_2 = 0,177</math>) siendo las diferencias superiores para el p despegue con el incremento de la</p>
<p><i>Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.</i></p>	<p>La fiabilidad de la altura de salto fue comparable entre el procedimie (CV = 6,42 ± 2,41%) y el basado en el tiempo de vuelo (CV = 6,53 ± una barra libre, pero fue mayor para el procedimiento basado en el ti pórtico guiado (CV = 11,34 ± 3,73% para la velocidad de despegue y</p> <p>Los gráficos de Bland-Altman revelaron diferencias triviales (<math>\leq 0,27</math> c (<math>r_2 \leq 0,09</math> para la altura de salto obtenida por ambos procedimientos, n procedimientos fue mayor para el CMJ realizado con un pórtico guiado libre (1,26 cm).</p>
<p><i>Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?</i></p>	<p>Los umbrales 50N, 10%PS y 5DSPS generalmente revelaron una may (valores medios y tiempos hasta fuerza, potencia y velocidad, aRFF, i los umbrales 10N y 1%PS (97 y 21 de 252 comparaciones para</p> <p>La magnitud de la mayoría de las variables calculadas a partir de significativamente con respecto a las mismas variables determinados p <math>&lt; 0,05</math>).</p>

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

<p><b><i>Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation</i></b></p>	<p>Los umbrales de 50N, 10%PS y 5DSPS proporcionaron una mayor velocidad y potencia, así como para las variables temporales (tiempo h y duración de la fase) obtenidas durante la fase descendente en compar ratio &gt; 1,15).</p> <p>La magnitud de las variables reportadas durante la fase descendente conservadores (50N y 10% SW) y 5SDSW generalmente difirió sig umbrales menos conservadores (10N y 1% S</p>
<p><b><i>Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps</i></b></p>	<p>El método de dos puntos modelado con las dos cargas más distantes (CV &lt; 12,1%; CCI &gt; 0,72) y una alta validez concurrente (<math>r &gt; 0,91</math>) co (CV &lt; 10,9%; CCI &gt; 0,72). Específicamente, la fiabilidad y la validez con la proximidad de las cargas apl</p> <p>La altura del salto descargado se redujo significativamente después c 0,05).</p>

CV, coeficiente de variación; SJ, salto sin contramovimiento;  $r^2$ , coeficiente de determinación; CMJ, salto co sistema; DS, desviación estándar, aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza; iRFD, índice de ratio de des de correlación intraclase;  $r$ , coeficiente de correlación de Pearson.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

#### **4.1. Identificación del procedimiento más fiable para determinar la altura de salto: velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo**

*Estudio I: Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.*

Independientemente del método de cálculo utilizado, no se observaron diferencias significativas y generalmente las DME fueron triviales para el rendimiento de altura de salto entre ambas sesiones de prueba (**Tabla 5**). La altura de salto alcanzó una fiabilidad aceptable para todas las condiciones de carga, con la excepción de las cargas externas pesadas (60 y 75 kg). No se observaron diferencias sustanciales en la fiabilidad entre el procedimiento basado en la velocidad de despegue (CV = 9,88% [6,22% -17,73%]) y el basado en el tiempo de vuelo (CV = 8,68% [4,58% -19,46%]) ( $P = 0,099$ ; CV ratio = 1,14), mientras que el uso de un pórtico guiado (CV = 7,74% [4,58% -17,73%]) reveló una mayor fiabilidad que el uso de una barra libre (CV = 9,88% [7,54% -19,46%]) ( $P = 0,009$ ; CV ratio = 1,28). En general, el uso del pórtico guiado junto al procedimiento basado en el tiempo de vuelo fue la combinación más fiable para evaluar el rendimiento del SJ.

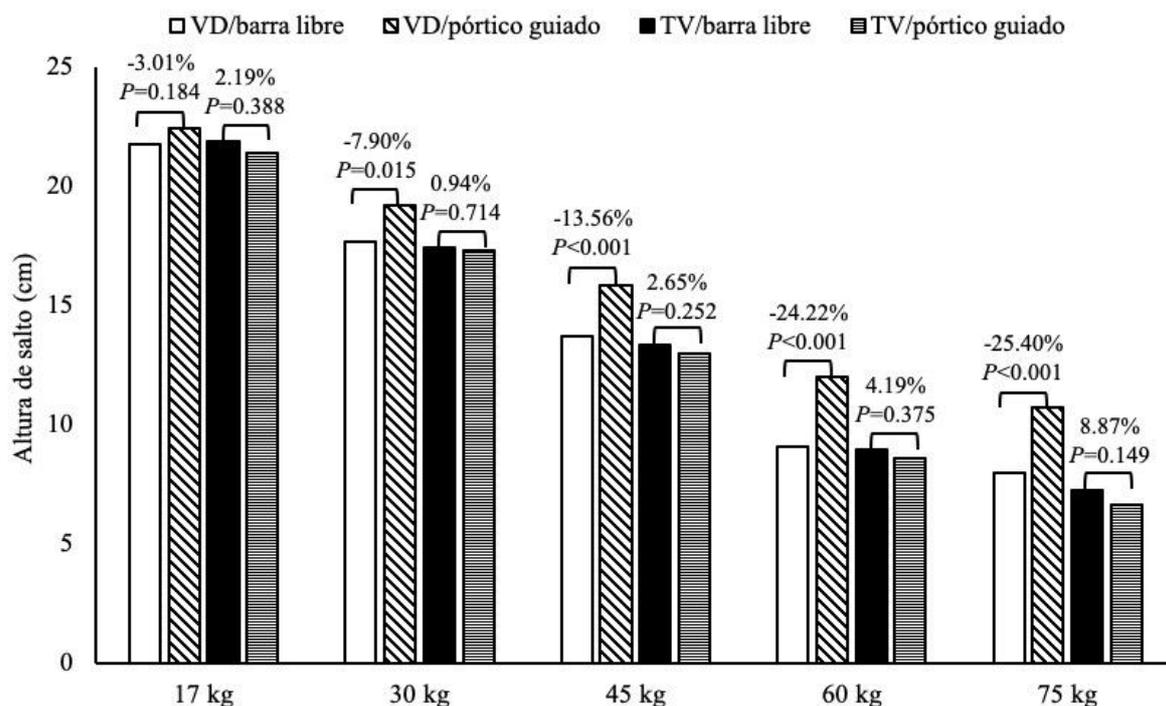
El ANOVA de medidas repetidas reveló un efecto principal significativo del “procedimiento” ( $F = 63,6$ ,  $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,743$ ), “tipo de salto” ( $F = 5,8$ ,  $P = 0,025$ ,  $\eta^2 = 0,209$ ) y “carga” ( $F = 693,8$ ,  $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,969$ ). Las interacciones “procedimiento  $\times$  tipo de salto” ( $F = 105,2$ ,  $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,827$ ), “procedimiento  $\times$  carga” ( $F = 15042,8$ ,  $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,406$ ), y “procedimiento  $\times$  tipo de salto  $\times$  carga” ( $F = 9,1$ ,  $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,292$ ) también fueron significativas. La única interacción no significativa fue la de “tipo de salto  $\times$  carga” ( $F = 2,0$ ,  $P = 0,119$ ,  $\eta^2 = 0,085$ ). Los efectos principales revelaron que las magnitudes de la altura de salto fueron (1) más altas para el procedimiento basado en la velocidad de despegue que para el procedimiento basado en el tiempo de vuelo, (2) más altas para el SJ realizado con un pórtico guiado que para el SJ realizado con una barra libre, y (3) disminuyeron con el incremento de la carga. La interacción más destacada reveló que la mayor magnitud de la altura de salto obtenida por el procedimiento basado en la velocidad de despegue fue observada para el SJ realizado con un pórtico guiado, especialmente para las cargas externas pesadas (60 y 75 kg) (**Figura 5**).

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Tabla 5.** Fiabilidad de la altura de salto calculada a partir de los procedimientos basados en la velocidad de ejercicio del salto vertical sin contramovimiento sobrecargado.

Procedimiento	Tipo de salto	Carga (kg)	Sesión 1 (cm)	Sesión 2 (cm)	P	DME	CV (IC 95%) (%)	CCI
Velocidad de despegue	Barra libre	17	22,6 ± 5,0	21,9 ± 3,9	0,28	-0,16	10,04 (7,76, 14,21)	0,7
		30	17,8 ± 4,3	18,0 ± 3,4	0,71	0,05	9,72 (7,52, 13,75)	0,8
		45	13,6 ± 3,5	13,9 ± 3,2	0,49	0,07	8,09 (6,26, 11,45)	0,9
		60	9,0 ± 2,8	9,5 ± 3,3	0,23	0,16	14,61 (11,30, 20,67)	0,8
		75	7,4 ± 2,7	8,1 ± 2,9	0,06	0,27	17,18 (13,29, 24,32)	0,8
	Pórtico guiado	17	22,5 ± 3,4	22,7 ± 3,8	0,59	0,06	6,22 (4,81, 8,80) <sub>a,c</sub>	0,8
		30	19,2 ± 3,4	19,6 ± 3,3	0,32	0,11	6,54 (5,05, 9,25) <sub>a,c</sub>	0,8
		45	16,1 ± 3,3	16,2 ± 3,6	0,87	0,02	7,91 (6,12, 11,19)	0,8
		60	11,9 ± 3,0	12,4 ± 3,2	0,38	0,16	14,93 (11,55, 21,13)	0,6
		75	10,7 ± 3,7	10,7 ± 3,1	0,94	0,01	17,73 (13,71, 25,09)	0,7
Tiempo de vuelo	Barra libre	17	21,3 ± 3,8	21,8 ± 3,7	0,40	0,13	8,79 (6,80, 12,45)	0,7
		30	17,3 ± 3,2	17,4 ± 3,5	0,71	0,05	8,57 (6,62, 12,45)	0,8
		45	13,0 ± 3,2	13,4 ± 2,5	0,25	0,12	7,54 (5,84, 10,68)	0,8
		60	8,6 ± 2,8	9,0 ± 2,6	0,32	0,15	15,08 (11,66, 21,35)	0,7
		75	6,6 ± 2,6	7,2 ± 2,6	0,12	0,25	19,46 (15,05, 27,55)	0,7
	Pórtico guiado	17	21,5 ± 3,3	21,4 ± 3,8	0,67	-0,03	4,58 (3,54, 6,48) <sub>a,b,c</sub>	0,93
		30	17,1 ± 3,2	17,3 ± 3,2	0,47	0,07	5,60 (4,33, 7,93) <sub>a,b,c</sub>	0,9
		45	12,8 ± 3,0	13,0 ± 3,2	0,52	0,06	7,57 (5,86, 10,72)	0,9
		60	8,1 ± 2,7	8,6 ± 2,8	0,07	0,19	10,98 (8,49, 15,54) <sub>a,b,c</sub>	0,90
		75	6,3 ± 2,3	6,6 ± 2,6	0,31	0,16	14,84 (11,48, 21,00) <sub>a,b,c</sub>	0,8

DME, diferencias de medias estandarizada (tamaño del efecto *d* de Cohen); CV, coeficiente de variación; CCI, error estándar de medida; IC 95%, intervalo de confianza al 95%. a, significativamente más fiable que barra libre; b, significativamente más fiable que VD/pórtico guiado; c, significativamente más fiable que TV/barra libre; a, significativamente más fiable que barra libre.

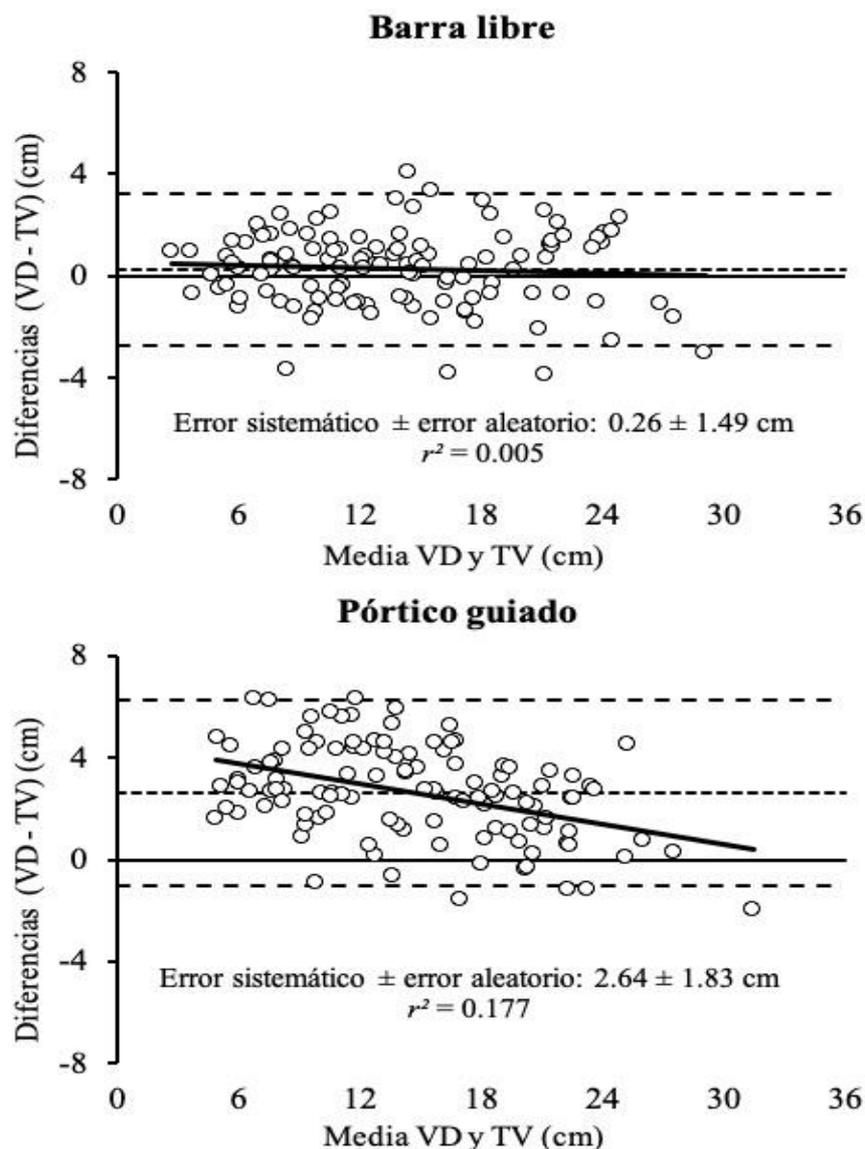


**Figura 5.** Comparación del rendimiento de la altura de salto observada para los procedimientos basados en la velocidad de despegue (VD) y el tiempo de vuelo (TV) entre el salto vertical sin contramovimiento sobrecargado realizado con una barra libre o con un pórtico guiado. Las diferencias significativas entre tipo de salto son determinadas a través de pruebas *t* para muestras relacionadas.

Las gráficas de Bland-Altman revelaron un sesgo sistemático a favor del procedimiento basado en la velocidad de despegue para el SJ realizado en un pórtico guiado, mientras que no se observó un sesgo sistemático entre ambos procedimientos para el SJ realizado con una barra libre (**Figura 6**). Se observó heterocedasticidad de los errores para el SJ realizado con un pórtico guiado ( $r_2 = 0,177$ ) con diferencias crecientes a favor del procedimiento basado en la velocidad de despegue para los intentos con menor altura de salto (es decir, mayores cargas externas). No se observó heteroscedasticidad de los errores para el SJ realizado con una barra libre ( $r_2 = 0,005$ ).

**Estudio 2:** *Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.*

Se observó una fiabilidad aceptable ( $CCI > 0,70$ ,  $CV < 10\%$ ) para la altura de salto en todas las condiciones de carga, con la excepción de las cargas pesadas (60 y 75 kg) (**Tabla 6**).



**Figure 6.** Gráficos Bland–Altman mostrando las diferencias entre el rendimiento de la altura de salto calculado por los procedimientos basados en la velocidad de despegue (VD) y en el tiempo de vuelo (TV). Cada gráfico representa la diferencia promedio y los límites de acuerdo del 95% (líneas discontinuas), junto con la línea de regresión (líneas continuas) ( $n = 115$ ).

El ANOVA de medidas repetidas conducido sobre los valores del CV individuales reveló un efecto principal significativo del “procedimiento” ( $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,691$ ), “tipo de salto” ( $P = 0,004$ ,  $\eta^2 = 0,412$ ) y “carga” ( $P < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,294$ ). Las interacciones “procedimiento  $\times$  tipo de salto” ( $P = 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,492$ ) y “procedimiento  $\times$  carga” ( $P = 0,023$ ,  $\eta^2 = 0,160$ ) también fueron significativas, mientras no se alcanzó el nivel de significación para

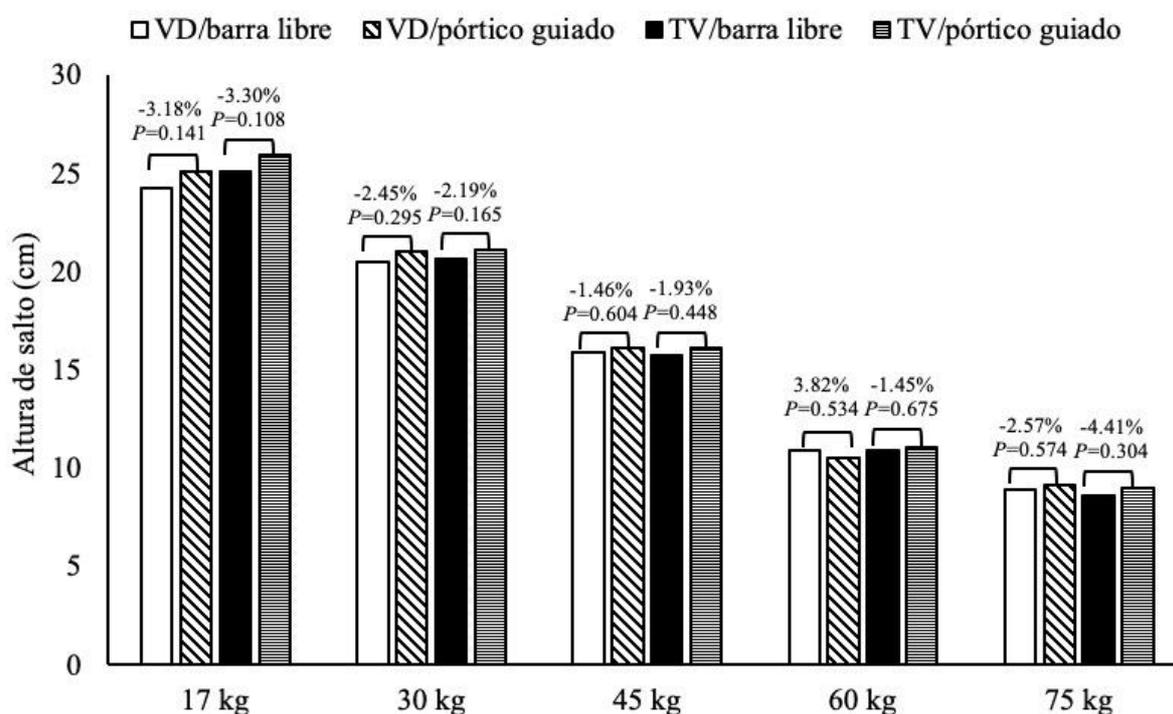
Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Tabla 6.** Fiabilidad de la altura de salto calculada a partir de los procedimientos basados en la velocidad de el ejercicio de salto vertical con contramovimiento sobrecargado.

Procedimiento	Tipo de salto	Carga (kg)	Sesión 1 (cm)	Sesión 2 (cm)	<i>P</i>	EEM (IC 95%) (cm)	CV (IC 95%)
Velocidad de despegue	Barra libre	17	25,0 ± 3,5	24,9 ± 3,1	0,790	1,45 (1,08, 2,20)	5,79 (5,14, 6,44)
		30	20,1 ± 3,1	20,8 ± 2,7	0,090	1,01 (0,75, 1,54)	4,94 (4,27, 5,61)
		45	15,8 ± 2,4	16,0 ± 2,2	0,327	0,68 (0,51, 1,03)	4,27 (3,60, 4,94)
		60	10,7 ± 2,1	10,9 ± 2,0	0,450	0,72 (0,54, 1,10)	6,66 (5,99, 7,33)
		75	8,9 ± 2,4	9,0 ± 2,2	0,897	0,93 (0,70, 1,42)	10,42 (9,75, 11,09)
	Pórtico guiado	17	25,5 ± 3,6	25,5 ± 3,4	0,941	1,74 (1,29, 2,64)	6,81 (6,14, 7,48)
		30	21,0 ± 3,1	22,0 ± 3,2	0,206	2,11 (1,57, 3,20)	9,79 (9,12, 10,46)
		45	16,9 ± 2,9	16,5 ± 3,0	0,507	1,64 (1,22, 2,50)	9,84 (9,17, 10,51)
		60	12,1 ± 2,9	11,0 ± 2,7	0,071	1,65 (1,23, 2,51)	14,28 (13,61, 14,95)
		75	10,3 ± 2,5	9,6 ± 2,8	0,253	1,59 (1,19, 2,43)	16,00 (15,33, 16,67)
Tiempo de vuelo	Barra libre	17	25,4 ± 3,5	25,3 ± 3,4	0,802	1,71 (1,27, 2,60)	6,75 (6,08, 7,42)
		30	20,5 ± 2,8	20,7 ± 2,8	0,664	0,97 (0,72, 1,48)	4,71 (4,04, 5,38)
		45	16,1 ± 2,3	15,9 ± 2,6	0,407	0,85 (0,63, 1,29)	5,30 (4,63, 5,97)
		60	10,8 ± 2,6	10,9 ± 2,3	0,574	0,62 (0,46, 0,95)	5,73 (5,06, 6,40)
		75	8,6 ± 2,3	8,6 ± 2,5	0,940	0,88 (0,65, 1,34)	10,18 (9,51, 10,85)
	Pórtico guiado	17	26,2 ± 3,4	26,0 ± 3,5	0,624	1,24 (0,92, 1,88)	4,74 (4,07, 5,41)
		30	20,8 ± 3,5	21,1 ± 3,4	0,434	1,37 (1,02, 2,08)	6,54 (5,87, 7,21)
		45	15,9 ± 2,9	16,1 ± 3,0	0,636	0,95 (0,71, 1,45)	5,96 (5,29, 6,63)
		60	11,0 ± 2,8	11,1 ± 2,9	0,792	0,55 (0,41, 0,84)	5,02 (4,35, 5,69)
		75	9,2 ± 2,6	9,0 ± 2,6	0,478	0,68 (0,51, 1,04)	7,49 (6,82, 8,16)

EEM, error estándar de medida; CV, coeficiente de variación; CCI, coeficiente de correlación intraclase; IC 95%, intervalo de confianza del 95%.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza las interacciones “tipo de salto × carga” ( $P = 0,096$ ,  $\eta_2 = 0,114$ ) y “procedimiento × tipo de salto × carga” ( $P = 0,102$ ,  $\eta_2 = 0,112$ ). Los efectos principales revelaron que la fiabilidad fue (1) mayor para el procedimiento basado en el tiempo de vuelo, (2) mayor para el CMJ realizado con una barra libre y (3) disminuyó con el incremento de la carga. La interacción más destacada reveló que si bien el procedimiento basado en el tiempo de vuelo fue más fiable durante el CMJ realizado con un pórtico guiado, no se observaron diferencias significativas entre ambos procedimientos durante el CMJ realizado con una barra libre.

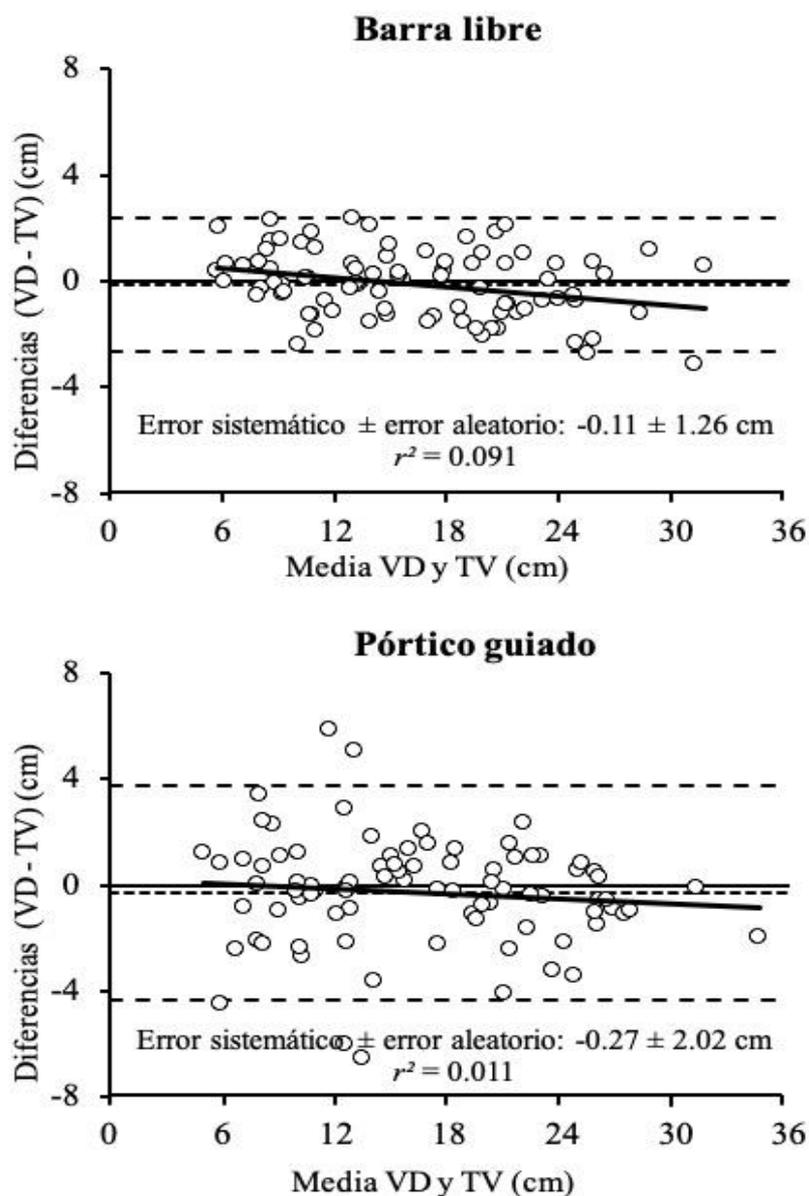


**Figura 7.** Comparación del rendimiento de la altura de salto observado para los procedimientos basados en la velocidad de despegue (VD) y tiempo de vuelo (TV) entre el salto vertical con contramovimiento sobrecargado realizado con una barra libre o con un pórtico guiado.

El ANOVA conducido sobre las magnitudes de altura de salto reveló un efecto principal significativo para “carga” ( $P < 0,001$ ,  $\eta_2 = 0,978$ ), pero no para “procedimiento” ( $P = 0,425$ ,  $\eta_2 = 0,040$ ) o “tipo de salto” ( $P = 0,079$ ,  $\eta_2 = 0,181$ ) (**Figura 7**). Ninguna de las interacciones alcanzó la significación estadística ( $P = 0,427-0,902$ ,  $\eta_2 = 0,014-0,058$ ) con la excepción “procedimiento × carga” ( $P = 0,011$ ,  $\eta_2 = 0,183$ ). Como se esperaba, el efecto principal mostró que la altura de CMJ se redujo con el incremento de la carga. La interacción significativa reveló que mientras que la altura de CMJ era ligeramente más alta para el procedimiento basado en el

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

tiempo de vuelo bajo magnitudes de carga ligera, el procedimiento basado en la velocidad de despegue reveló valores más altos bajo cargas pesadas. Las gráficas de Bland-Altman sugirieron un sesgo sistemático trivial y no presencia de heterocedasticidad de los errores entre ambos procedimientos, mientras que el error aleatorio fue mayor para el CMJ realizado con un pórtico guiado en comparación con una barra de peso libre (**Figura 8**).



**Figure 8.** Gráficos Bland–Altman mostrando las diferencias entre el rendimiento de la altura de salto calculado por los procedimientos basados en la velocidad de despegue (VD) y en el tiempo de vuelo (TV). Cada gráfico representa la diferencia promedio y los límites de acuerdo del 95% (líneas discontinuas), junto con la línea de regresión (líneas continuas).

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

## 4.2. Influencia del umbral utilizado para determinar el inicio del movimiento sobre las distintas variables de rendimiento en el ejercicio salto vertical

*Estudio 3: Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?*

### ○ *Fiabilidad de las variables de SJ:*

Se calcularon un total de 39 resultados de CV y CCI para cada umbral de inicio del movimiento del salto (13 variables  $\times$  3 cargas). Se observó un valor de CV aceptable (es decir,  $CV < 10\%$ ) en 12 ocasiones para el 10N, 25 para el 50N, 16 para el 1%PS, 25 para el 10%PS y 22 para el 5DPS (Tabla 7). Se observó un valor aceptable de CCI (es decir,  $ICC > 0,70$ ) en 14 ocasiones para el 10N, 24 para el 50N, 16 para el 1%PS, 22 para el 10%PS y 18 para el 5DPS (Tabla 8). La fiabilidad fue generalmente comparable entre los umbrales 50N, 10%PS y 5DPS (sólo en 9 de 135 comparaciones el valor CV fue significativamente diferente, mientras que no se observaron diferencias significativas para ningún valor de CCI). La fiabilidad de los umbrales 50N, 10%PS y 5DPS fue generalmente más alta en comparación con los umbrales 10N y 1%PS (97 y 21 de 252 comparaciones para CV y CCI, respectivamente). La fiabilidad de la fuerza máxima y los valores de pRFD no se compararon ya que no diferían entre los diferentes umbrales de inicio de salto. Los MCD se representan en la Tabla 9.

### ○ *Magnitud de las variables de SJ:*

El ANOVA reveló un efecto principal significativo del “umbral” ( $F_{(4,76)} \geq 7,16$ ,  $P \leq 0,04$ ,  $\eta^2 \geq 0,27$ ) y “carga” ( $F_{(2,38)} \geq 6,44$ ,  $P \leq 0,04$ ,  $\eta^2 \geq 0,25$ ) para todas las variables. La interacción “umbral  $\times$  carga” también alcanzó una significación estadística para todas las variables ( $F_{(8,152)} \geq 20,0$ ,  $P < 0,001$ ,  $\eta^2 \geq 0,51$ ). Las comparaciones por pares se representan en la Tabla 10. La fuerza máxima y los valores de pRFD no se compararon ya que no diferían entre los umbrales de inicio del movimiento de salto.

**Tabla 7.** Coeficiente de variación e intervalo de confianza al 95% obtenido para cada variable separadamente para cada umbral de inicio del movimiento de salto.

Variable	Umbral	0,5 kg	30 kg	60 kg
Fuerza media	10N	5,15 (3,92, 7,53)	4,32 (3,28, 6,31)	4,17 (3,17, 6,09)
	50N	4,30 (3,27, 6,28)	3,81 (2,90, 5,57)	2,47 (1,88, 3,61)
	1%PS	5,09 (3,87, 7,44)	4,29 (3,26, 6,26)	2,80 (2,13, 4,10)
	10%PS	4,04 (3,08, 5,59)	3,91 (2,97, 5,71)	2,55 (1,94, 3,72)
	5DSPS	4,30 (3,27, 6,28)	3,59 (2,73, 5,25)	2,36 (1,80, 3,45)
Potencia media	10N	<b>12,0 (9,10, 17,5)</b>	<b>16,9 (12,8, 24,6)</b>	<b>18,0 (13,7, 26,3)</b>
	50N	9,98 (7,59, 14,6)	9,16 (6,96, 13,4) <sub>a,c</sub>	7,38 (5,61, 10,8) <sub>a</sub>
	1%PS	<b>11,8 (8,95, 17,2)</b>	<b>12,2 (9,26, 17,8)<sub>a</sub></b>	9,37 (7,13, 13,7) <sub>a</sub>
	10%PS	9,39 (7,14, 13,7)	8,74 (6,64, 12,8) <sub>a,c</sub>	6,97 (5,30, 10,8) <sub>a,c</sub>
	5DSPS	<b>10,5 (8,01, 15,4)</b>	<b>10,1 (7,66, 14,7)<sub>a</sub></b>	6,21 (4,73, 9,07) <sub>a,c</sub>
Velocidad media	10N	9,57 (7,28, 14,0)	<b>14,2 (10,8, 20,7)</b>	<b>17,3 (13,1, 25,2)</b>
	50N	7,33 (5,57, 10,7)	7,38 (5,61, 10,8) <sub>a,c</sub>	5,88 (4,47, 8,59) <sub>a,c</sub>
	1%PS	9,42 (7,19, 13,8)	<b>11,1 (8,42, 16,2)</b>	7,78 (5,91, 11,4) <sub>a</sub>
	10%PS	6,84 (5,20, 9,99) <sub>a,c</sub>	6,84 (5,20, 10,0) <sub>a,c</sub>	5,43 (4,13, 7,92) <sub>a,c</sub>
	5DSPS	8,20 (6,23, 12,0)	8,63 (6,56, 12,6) <sub>a</sub>	5,08 (3,86, 7,42) <sub>a,c</sub>
Fuerza máxima	Todos	2,80 (2,13, 4,08)	4,14 (3,15, 6,04)	2,20 (1,68, 3,22)
Potencia máxima	10N	5,04 (3,83, 7,36)	5,77 (4,39, 8,42)	5,28 (4,01, 7,71)
	50N	5,10 (3,88, 7,45)	5,86 (4,46, 8,56)	4,87 (3,71, 7,12)
	1%PS	5,10 (3,88, 7,45)	5,81 (4,42, 8,49)	4,94 (3,76, 7,22)
	10%PS	5,20 (3,95, 7,59)	5,88 (4,48, 8,59)	4,89 (3,72, 7,14)
	5DSPS	4,96 (3,77, 7,25)	5,80 (4,41, 8,47)	5,17 (3,93, 7,55)
Velocidad máxima	10N	3,09 (2,35, 4,51)	3,50 (2,66, 5,11)	4,59 (3,49, 6,71)
	50N	3,13 (2,38, 4,56)	3,59 (2,73, 5,24)	4,10 (3,12, 6,00)
	1%PS	3,14 (2,39, 4,58)	3,55 (2,70, 5,19)	4,21 (3,20, 6,15)
	10%PS	3,19 (2,43, 4,66)	3,60 (2,74, 5,25)	4,09 (3,11, 5,98)
	5DSPS	3,05 (2,32, 4,45)	3,54 (2,69, 5,17)	4,35 (3,31, 6,35)
Tiempo hasta fuerza máxima	10N	<b>14,7 (11,2, 21,4)</b>	<b>22,1 (16,8, 32,3)</b>	<b>33,3 (25,3, 48,6)</b>
	50N	<b>10,0 (7,61, 14,6)<sub>a,c</sub></b>	<b>13,8 (10,5, 20,2)<sub>a</sub></b>	<b>13,5 (10,2, 19,7)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>14,7 (11,2, 21,5)</b>	<b>17,1 (13,0, 24,9)</b>	<b>16,5 (12,5, 24,1)<sub>a</sub></b>
	10%PS	9,36 (7,12, 13,7) <sub>a,c</sub>	<b>13,9 (10,6, 20,4)<sub>a</sub></b>	<b>15,3 (11,7, 22,4)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	<b>11,3 (8,60, 16,5)</b>	<b>12,9 (9,81, 18,8)<sub>a,c</sub></b>	<b>15,7 (12,0, 22,9)<sub>a</sub></b>
Tiempo hasta potencia máxima	10N	<b>12,8 (9,74, 18,7)</b>	<b>19,5 (14,8, 28,5)</b>	<b>31,0 (23,6, 42,3)</b>
	50N	8,46 (6,43, 12,4) <sub>a,c</sub>	<b>11,2 (8,53, 16,4)<sub>a</sub></b>	<b>11,7 (8,86, 17,0)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>12,9 (9,80, 18,8)</b>	<b>14,6 (11,1, 21,3)<sub>a</sub></b>	<b>14,7 (11,2, 21,5)<sub>a</sub></b>
	10%PS	7,73 (5,88, 11,3) <sub>a,c</sub>	<b>11,0 (8,38, 16,1)<sub>a,c</sub></b>	<b>13,0 (9,87, 19,0)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	9,97 (7,58, 14,6)	<b>10,6 (8,05, 15,5)<sub>a,c</sub></b>	<b>13,7 (10,4, 20,2)<sub>a</sub></b>
Tiempo hasta velocidad máxima	10N	<b>11,5 (8,71, 16,7)</b>	<b>17,7 (13,5, 25,9)</b>	<b>28,8 (21,9, 42,1)</b>
	50N	7,39 (5,62, 10,8) <sub>a,c</sub>	9,80 (7,46, 14,3) <sub>a,c</sub>	<b>10,7 (8,12, 15,6)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>11,5 (8,76, 16,8)</b>	<b>12,9 (9,84, 18,9)<sub>a</sub></b>	<b>13,5 (10,3, 19,8)<sub>a</sub></b>
	10%PS	6,67 (5,08, 9,75) <sub>a,c,e</sub>	9,56 (7,27, 14,0) <sub>a,c</sub>	<b>11,7 (8,90, 17,1)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	8,81 (6,70, 12,9)	9,37 (7,12, 13,7) <sub>a,c</sub>	<b>12,7 (9,67, 18,6)<sub>a</sub></b>
aRFD	10N	<b>17,6 (13,4, 25,7)</b>	<b>22,8 (17,3, 33,2)</b>	<b>29,4 (22,3, 42,9)</b>
	50N	<b>14,6 (11,1, 21,3)</b>	<b>18,3 (13,9, 26,8)</b>	<b>14,5 (11,1, 21,2)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>18,0 (13,7, 26,3)</b>	<b>21,9 (16,7, 32,0)</b>	<b>17,0 (12,9, 24,8)<sub>a</sub></b>
	10%PS	<b>13,5 (10,2, 19,7)</b>	<b>18,2 (13,9, 26,6)</b>	<b>16,1 (12,3, 23,6)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	<b>13,5 (10,3, 19,8)</b>	<b>17,7 (13,5, 25,8)</b>	<b>14,0 (10,6, 20,4)<sub>a</sub></b>
pRFD	Todos	<b>19,7 (15,0, 28,8)</b>	<b>17,9 (13,6, 26,2)</b>	<b>23,9 (18,2, 34,9)</b>
iRFD	10N	<b>81,9 (62,3, 119,6)</b>	<b>75,3 (57,3, 110,0)<sub>d</sub></b>	<b>97,3 (74,0, 142,1)<sub>d</sub></b>
	50N	<b>78,6 (59,8, 114,8)</b>	<b>80,3 (61,1, 117,3)<sub>d</sub></b>	<b>89,1 (67,7, 130,1)<sub>d</sub></b>
	1%PS	<b>84,3 (64,1, 123,1)</b>	<b>69,8 (53,1, 101,9)<sub>d</sub></b>	<b>81,8 (62,2, 119,5)<sub>d</sub></b>
	10%PS	<b>79,6 (60,5, 116,3)</b>	<b>111,2 (84,6, 162,4)</b>	<b>154,5 (117,5, 225,6)</b>
	5DSPS	<b>55,5 (42,2, 81,0)<sub>a,b,c,d</sub></b>	<b>49,9 (37,9, 72,9)<sub>a,b,c,d</sub></b>	<b>71,2 (54,2, 104,0)<sub>a,d</sub></b>
Impulso	10N	5,81 (4,42, 8,49)	<b>11,9 (9,08, 17,4)</b>	<b>21,5 (16,4, 31,4)</b>

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	50N	3,38 (2,59, 4,94) <sub>a,c</sub>	5,80 (4,41, 8,47) <sub>a,c</sub>	7,22 (5,49, 10,5) <sub>a,c</sub>
	1%PS	5,96 (4,53, 8,71)	8,18 (6,22, 12,0) <sub>a</sub>	9,70 (7,38, 14,2) <sub>a</sub>
	10%PS	2,84 (2,16, 4,15) <sub>a,c,e</sub>	5,45 (4,15, 7,97) <sub>a,c</sub>	7,82 (5,95, 11,4) <sub>a</sub>
	5DSPS	4,31 (3,27, 6,29) <sub>a,c</sub>	5,37 (4,36, 8,37) <sub>a,c</sub>	9,24 (7,03, 13,5) <sub>a</sub>
Altura de salto	10N	7,21 (5,48, 10,5)	<b>10,3 (7,81,15,0)</b>	<b>12,7 (9,67, 18,6)</b>
	50N	7,32 (5,57, 10,7)	<b>10,9 (8,06, 15,5)</b>	<b>11,8 (8,96, 17,2)</b>
	1%PS	7,32 (5,57, 10,7)	<b>10,6 (8,03, 15,5)</b>	<b>11,9 (9,04, 17,4)</b>
	10%PS	7,48 (5,69, 10,9)	<b>10,7 (8,13, 15,6)</b>	<b>11,8 (8,99, 17,3)</b>
	5DSPS	7,11 (5,40, 10,4)	<b>10,6 (8,03, 15,4)</b>	<b>12,4 (9,43, 18,1)</b>
Tiempo de contacto	10N	<b>10,8 (8,24, 15,8)</b>	<b>16,7 (12,7, 24,4)</b>	<b>26,5 (20,1, 38,7)</b>
	50N	7,11 (5,41, 10,4) <sub>a,c</sub>	9,32 (7,09, 13,6) <sub>a</sub>	9,84 (7,48, 14,4) <sub>a</sub>
	1%PS	<b>10,9 (8,28, 15,9)</b>	<b>12,0 (9,15, 17,6)<sub>a</sub></b>	<b>12,6 (9,56, 18,4)<sub>a</sub></b>
	10%PS	6,43 (4,89, 9,39) <sub>a,c</sub>	9,14 (6,95, 13,4) <sub>a,c</sub>	<b>10,7 (8,12, 15,6)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	8,44 (6,42, 12,3) <sub>a,c</sub>	8,93 (6,79, 13,0) <sub>a,c</sub>	<b>11,7 (8,88, 17,1)<sub>a</sub></b>

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema; aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza; pRFD, ratio máxima de desarrollo de fuerza; iRFD, índice de ratio de desarrollo de fuerza. Los números en negrita indican una fiabilidad inaceptable ( $CV > 10\%$ ). a, significativamente más fiable que 10N; b, significativamente más fiable que 50N; c, significativamente más fiable que 1%PS; d, significativamente más fiable que el 10%PS; e, significativamente más fiable que 5DSPS. Se identificaron diferencias significativas cuando el CV de un umbral estaba por debajo del intervalo de confianza del 95% de otro umbral. Los valores de fuerza máxima y pRFD no se compararon ya que no diferían entre los umbrales de inicio del movimiento.

**Tabla 8.** Coeficiente de correlación intraclase e intervalo de confianza al 95% obtenido para cada variable separadamente para cada umbral de inicio del movimiento de salto.

Variable	Umbral	0,5 kg	30 kg	60 kg
Fuerza media	10N	0,73 (0,43, 0,88)	0,80 (0,56, 0,92)	<b>0,63 (0,28, 0,84)</b>
	50N	0,79 (0,55, 0,91)	0,82 (0,61, 0,93)	0,86 (0,67, 0,94) <sub>a</sub>
	1%PS	0,76 (0,48, 0,90)	0,78 (0,52, 0,91)	0,78 (0,52, 0,91)
	10%PS	0,83 (0,61, 0,93)	0,75 (0,47, 0,89)	0,86 (0,68, 0,94) <sub>a</sub>
	5DSPS	0,80 (0,55, 0,91)	0,79 (0,55, 0,91)	0,86 (0,67, 0,94) <sub>a</sub>
Potencia media	10N	<b>0,63 (0,27, 0,87)</b>	<b>0,53 (0,13, 0,79)</b>	<b>0,43 (0,00, 0,73)</b>
	50N	<b>0,66 (0,32, 0,85)</b>	0,74 (0,45, 0,89)	0,83 (0,61, 0,93) <sub>a</sub>
	1%PS	<b>0,69 (0,36, 0,86)</b>	<b>0,68 (0,36, 0,86)</b>	0,71 (0,40, 0,87)
	10%PS	<b>0,69 (0,37, 0,87)</b>	0,75 (0,47, 0,89)	0,83 (0,62, 0,93) <sub>a</sub>
	5DSPS	<b>0,66 (0,31, 0,85)</b>	0,71 (0,40, 0,87)	0,88 (0,71, 0,95) <sub>a,b</sub>
Velocidad media	10N	<b>0,61 (0,24, 0,73)</b>	<b>0,51 (0,10, 0,77)</b>	<b>0,33 (-0,11, 0,67)</b>
	50N	<b>0,64 (0,29, 0,84)</b>	<b>0,66 (0,32, 0,85)</b>	0,82 (0,59, 0,92) <sub>a</sub>
	1%PS	<b>0,69 (0,37, 0,87)</b>	<b>0,59 (0,21, 0,81)</b>	0,72 (0,42, 0,88) <sub>a</sub>
	10%PS	<b>0,66 (0,32, 0,85)</b>	<b>0,67 (0,33, 0,85)</b>	0,81 (0,57, 0,92) <sub>a</sub>
	5DSPS	<b>0,62 (0,26, 0,83)</b>	<b>0,61 (0,25, 0,83)</b>	0,87 (0,70, 0,95) <sub>a</sub>
Fuerza máxima	Todos	0,94 (0,85, 0,98)	0,85 (0,67, 0,94)	0,93 (0,83, 0,97)
Potencia máxima	10N	0,89 (0,74, 0,95)	0,86 (0,69, 0,94)	0,89 (0,75, 0,96)
	50N	0,89 (0,74, 0,95)	0,86 (0,68, 0,94)	0,91 (0,78, 0,96)
	1%PS	0,88 (0,73, 0,95)	0,86 (0,68, 0,94)	0,91 (0,78, 0,96)
	10%PS	0,88 (0,73, 0,95)	0,86 (0,68, 0,94)	0,92 (0,80, 0,97)
	5DSPS	0,89 (0,74, 0,96)	0,86 (0,69, 0,94)	0,90 (0,76, 0,96)
Velocidad máxima	10N	0,88 (0,73, 0,95)	0,86 (0,68, 0,94)	0,84 (0,64, 0,93)
	50N	0,88 (0,73, 0,95)	0,86 (0,67, 0,94)	0,87 (0,71, 0,95)
	1%PS	0,88 (0,72, 0,95)	0,86 (0,67, 0,94)	0,87 (0,70, 0,95)
	10%PS	0,88 (0,73, 0,95)	0,86 (0,68, 0,94)	0,89 (0,75, 0,96)
	5DSPS	0,89 (0,73, 0,95)	0,86 (0,67, 0,94)	0,86 (0,68, 0,94)
Tiempo hasta fuerza máxima	10N	<b>0,55 (0,15, 0,79)</b>	<b>0,66 (0,32, 0,85)<sub>b,c</sub></b>	<b>0,29 (-0,16, 0,64)</b>
	50N	0,76 (0,50, 0,90)	<b>0,48 (0,06, 0,75)</b>	<b>0,66 (0,32, 0,85)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>0,65 (0,31, 0,85)</b>	<b>0,23 (-0,22, 0,60)</b>	<b>0,55 (0,15, 0,79)</b>
	10%PS	0,79 (0,54, 0,91)	<b>0,52 (0,11, 0,58)</b>	<b>0,63 (0,27, 0,84)</b>
	5DSPS	<b>0,61 (0,25, 0,83)</b>	<b>0,46 (0,04, 0,75)</b>	<b>0,53 (0,13, 0,79)</b>
Tiempo hasta potencia máxima	10N	<b>0,51 (0,10, 0,77)</b>	<b>0,69 (0,36, 0,86)<sub>b</sub></b>	<b>0,27 (-0,19, 0,63)</b>
	50N	0,73 (0,43, 0,88)	<b>0,44 (0,01, 0,73)</b>	<b>0,64 (0,29, 0,84)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>0,63 (0,27, 0,83)</b>	<b>0,21 (-0,24, 0,59)</b>	<b>0,52 (0,11, 0,78)</b>
	10%PS	0,75 (0,48, 0,89)	<b>0,49 (0,08, 0,76)</b>	<b>0,62 (0,25, 0,83)</b>
	5DSPS	<b>0,55 (0,16, 0,80)</b>	<b>0,43 (0,00, 0,73)</b>	<b>0,51 (0,10, 0,77)</b>
Tiempo hasta velocidad máxima	10N	<b>0,52 (0,11, 0,78)</b>	<b>0,68 (0,36, 0,86)<sub>b</sub></b>	<b>0,26 (-0,19, 0,62)</b>
	50N	0,74 (0,45, 0,89)	<b>0,45 (0,02, 0,74)</b>	<b>0,63 (0,28, 0,84)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>0,64 (0,28, 0,84)</b>	<b>0,22 (-0,23, 0,60)</b>	<b>0,51 (0,10, 0,77)</b>
	10%PS	0,77 (0,50, 0,90)	<b>0,49 (0,08, 0,76)</b>	<b>0,61 (0,24, 0,83)</b>
	5DSPS	<b>0,57 (0,19, 0,81)</b>	<b>0,45 (0,02, 0,74)</b>	<b>0,49 (0,08, 0,76)</b>
aRFD	10N	0,71 (0,40, 0,88)	<b>0,48 (0,06, 0,76)</b>	<b>0,28 (-0,18, 0,63)</b>
	50N	0,80 (0,56, 0,92)	<b>0,48 (0,06, 0,76)</b>	0,70 (0,39, 0,87) <sub>a</sub>
	1%PS	0,73 (0,43, 0,88)	<b>0,29 (-0,17, 0,64)</b>	<b>0,63 (0,27, 0,84)</b>
	10%PS	0,83 (0,62, 0,93)	<b>0,52 (0,12, 0,78)</b>	<b>0,68 (0,36, 0,86)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	0,77 (0,50, 0,90)	<b>0,48 (0,06, 0,75)</b>	0,70 (0,38, 0,87) <sub>a</sub>
pRFD	Todos	<b>0,66 (0,32, 0,85)</b>	<b>0,59 (0,21, 0,81)</b>	<b>0,10 (0,35, 0,51)</b>
iRFD	10N	<b>0,22 (-0,24, 0,59)</b>	<b>0,60 (0,23, 0,82)</b>	<b>-0,18 (-0,57, 0,27)</b>
	50N	<b>0,24 (-0,22, 0,61)</b>	<b>0,52 (0,11, 0,78)</b>	<b>0,05 (-0,39, 0,47)</b>
	1%PS	<b>0,25 (-0,21, 0,61)</b>	<b>0,62 (0,25, 0,83)</b>	<b>0,05 (-0,39, 0,47)</b>
	10%PS	<b>0,26 (-0,20, 0,62)</b>	<b>0,37 (-0,08, 0,69)</b>	<b>-0,15 (-0,55, 0,30)</b>
	5DSPS	<b>0,32 (-0,13, 0,66)</b>	<b>0,54 (0,14, 0,79)</b>	<b>-0,04 (-0,47, 0,40)</b>
Impulso	10N	0,86 (0,69, 0,94)	0,70 (0,38, 0,87)	<b>0,31 (-0,14, 0,65)</b>
	50N	0,95 (0,88, 0,98) <sub>a</sub>	0,73 (0,43, 0,88)	0,74 (0,46, 0,89) <sub>a</sub>

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	1%PS	0,87 (0,71, 0,95)	<b>0,49 (0,08, 0,76)</b>	<b>0,67 (0,33, 0,86)<sub>a</sub></b>
	10%PS	0,96 (0,90, 0,98) <sub>a</sub>	0,75 (0,47, 0,89)	<b>0,68 (0,35, 0,86)<sub>a</sub></b>
	5DSPS	0,91 (0,79, 0,96)	0,74 (0,44, 0,89)	<b>0,60 (0,23, 0,82)</b>
Altura de salto	10N	0,87 (0,71, 0,95)	0,80 (0,56, 0,92)	0,85 (0,67, 0,94)
	50N	0,87 (0,70, 0,95)	0,85 (0,67, 0,94)	0,88 (0,72, 0,95)
	1%PS	0,87 (0,70, 0,95)	0,79 (0,54, 0,91)	0,88 (0,71, 0,95)
	10%PS	0,87 (0,70, 0,95)	0,79 (0,55, 0,91)	0,89 (0,75, 0,96)
	5DSPS	0,87 (0,71, 0,95)	0,79 (0,54, 0,91)	0,87 (0,69, 0,94)
	10N	<b>0,53 (0,13, 0,78)</b>	<b>0,67 (0,34, 0,86)<sub>b</sub></b>	<b>0,26 (-0,19, 0,62)</b>
Tiempo de contacto	50N	0,74 (0,44, 0,89)	<b>0,41 (-0,02, 0,72)</b>	<b>0,63 (0,27, 0,83)<sub>a</sub></b>
	1%PS	<b>0,65 (0,30, 0,84)</b>	<b>0,22 (-0,24, 0,59)</b>	<b>0,52 (0,11, 0,78)</b>
	10%PS	0,76 (0,49, 0,90)	<b>0,44 (0,01, 0,73)</b>	<b>0,58 (0,20, 0,81)</b>
	5DSPS	<b>0,58 (0,20, 0,81)</b>	<b>0,42 (-0,02, 0,72)</b>	<b>0,49 (0,08, 0,76)</b>

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema; aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza; pRFD, ratio máxima de desarrollo de fuerza; iRFD, índice de ratio de desarrollo de fuerza. Los números en negrita indican una fiabilidad inaceptable ( $CCI < 0,70$ ). a, significativamente más fiable que 10N; b, significativamente más fiable que 1%PS; c, significativamente más fiable que 10%PS. Se identificaron diferencias significativas cuando el CCI de un umbral estaba por encima del intervalo de confianza del 95% de otro umbral. Los valores de fuerza máxima y pRFD no se compararon ya que no diferían entre los umbrales de inicio del movimiento.

**Tabla 9.** Mínimo cambio detectable obtenido para cada variable separadamente para cada umbral de inicio del movimiento de salto.

Variable	Umbral	0,5 kg	30 kg	60 kg
Fuerza media (N)	10N	179,5	173,8	194,8
	50N	153,8	159,1	119,0
	1%PS	176,2	174,8	132,7
	10%PS	146,1	165,6	124,6
	5DSPS	146,7	146,8	112,7
Potencia media (W)	10N	455,6	604,2	527,0
	50N	403,4	358,0	251,5
	1%PS	440,8	442,5	293,7
	10%PS	387,5	351,8	250,8
	5DSPS	380,9	359,1	527,0
Velocidad media (m·s <sup>-1</sup> )	10N	0,275	0,361	0,294
	50N	0,224	0,205	0,117
	1%PS	0,267	0,285	0,222
	10%PS	0,213	0,195	0,114
	5DSPS	0,224	0,218	0,096
Fuerza máxima (N)	Todos	136,9	324,6	139,1
Potencia máxima (W)	10N	498,8	554,9	471,3
	50N	502,9	560,5	430,2
	1%PS	504,7	558,2	439,6
	10%PS	510,4	557,8	423,1
	5DSPS	490,3	556,6	458,2
Velocidad máxima (m·s <sup>-1</sup> )	10N	0,210	0,198	0,207
	50N	0,212	0,201	0,183
	1%PS	0,213	0,200	0,189
	10%PS	0,216	0,200	0,179
	5DSPS	0,207	0,199	0,195
Tiempo hasta fuerza máxima (s)	10N	0,104	0,231	0,475
	50N	0,064	0,115	0,144
	1%PS	0,108	0,160	0,202
	10%PS	0,058	0,108	0,143
	5DSPS	0,085	0,119	0,181
Tiempo hasta potencia máxima (s)	10N	0,103	0,223	0,473
	50N	0,062	0,104	0,136
	1%PS	0,106	0,151	0,195
	10%PS	0,054	0,096	0,134
	5DSPS	0,085	0,108	0,171
Tiempo hasta velocidad máxima (s)	10N	0,104	0,223	0,473
	50N	0,062	0,103	0,137
	1%PS	0,108	0,149	0,195
	10%PS	0,054	0,094	0,135
	5DSPS	0,084	0,106	0,174
aRFD (kN·s <sup>-1</sup> )	10N	3,57	3,69	4,07
	50N	3,25	3,54	2,51
	1%PS	3,56	3,77	2,57
	10%PS	3,13	3,83	3,22
	5DSPS	2,54	3,08	2,23
pRFD (kN·s <sup>-1</sup> )	Todos	5,58	4,46	5,95
iRFD (kN·s <sup>-2</sup> )	10N	303,99	154,02	97,23
	50N	383,83	238,67	130,12
	1%PS	299,28	149,55	89,60
	10%PS	449,63	507,42	375,71
	5DSPS	152,91	94,58	78,18

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

Impulso (N·s)	10N	71,3	232,3	642,8
	50N	39,7	99,9	179,7
	1%PS	74,2	149,7	263,5
	10%PS	32,7	90,1	179,1
	5DSPS	54,2	104,0	241,2
Altura de salto (m)	10N	0,055	0,049	0,032
	50N	0,055	0,050	0,029
	1%PS	0,056	0,050	0,030
	10%PS	0,056	0,050	0,028
	5DSPS	0,054	0,050	0,031
Tiempo de contacto (s)	10N	0,106	0,227	0,475
	50N	0,065	0,107	0,141
	1%PS	0,109	0,150	0,200
	10%PS	0,057	0,099	0,139
	5DSPS	0,086	0,110	0,177

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema; aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza; pRFD, ratio máxima de desarrollo de fuerza; iRFD, índice de ratio de desarrollo de fuerza. Los valores de fuerza máxima y pRFD no se compararon ya que no diferían entre los umbrales de inicio del movimiento.

**Tabla 10.** Magnitud de las variables del salto sin contramovimiento usando diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto.

Variable	Umbral	0,5 kg	30 kg	60 kg
Fuerza media (kN)	10N	1,25 ± 0,11 <sup>e</sup>	1,44 ± 0,14	1,67 ± 0,13
	50N	1,28 ± 0,12 <sup>a,c,e</sup>	1,49 ± 0,12 <sup>a,c,e</sup>	1,73 ± 0,12 <sup>a,c,e</sup>
	1%PS	1,25 ± 0,12 <sup>e</sup>	1,46 ± 0,12	1,71 ± 0,11
	10%PS	1,29 ± 0,12 <sup>a,b,c,e</sup>	1,51 ± 0,13 <sup>a,b,c,e</sup>	1,76 ± 0,12 <sup>a,b,c,e</sup>
	5DSPS	1,23 ± 0,11	1,46 ± 0,11	1,72 ± 0,11 <sup>a</sup>
Potencia media (kW)	10N	1,38 ± 0,22 <sup>e</sup>	1,21 ± 0,33	1,02 ± 0,30
	50N	1,45 ± 0,23 <sup>a,c,e</sup>	1,36 ± 0,23 <sup>c,e</sup>	1,21 ± 0,23 <sup>a,c,e</sup>
	1%PS	1,36 ± 0,24	1,28 ± 0,24	1,14 ± 0,22
	10%PS	1,48 ± 0,24 <sup>a,b,c,e</sup>	1,41 ± 0,24 <sup>b,c,e</sup>	1,27 ± 0,23 <sup>a,b,c,e</sup>
	5DSPS	1,30 ± 0,20	1,27 ± 0,21	1,17 ± 0,21
Velocidad media (m·s <sup>-1</sup> )	10N	1,049 ± 0,123 <sup>e</sup>	0,806 ± 0,184	0,599 ± 0,158
	50N	1,106 ± 0,120 <sup>a,c,e</sup>	0,902 ± 0,101 <sup>a,c,e</sup>	0,710 ± 0,103 <sup>a,c,e</sup>
	1%PS	1,035 ± 0,140 <sup>e</sup>	0,849 ± 0,110	0,670 ± 0,107
	10%PS	1,126 ± 0,122 <sup>a,b,c,e</sup>	0,936 ± 0,102 <sup>a,b,c,e</sup>	0,746 ± 0,098 <sup>a,b,c,e</sup>
	5DSPS	0,995 ± 0,104	0,845 ± 0,091	0,683 ± 0,093 <sup>a</sup>
Fuerza máxima (kN)	Todos	1,79 ± 0,19	2,03 ± 0,20	2,28 ± 0,18
Potencia máxima (kW)	10N	3,54 ± 0,50 <sup>b,d</sup>	3,44 ± 0,52 <sup>d</sup>	3,16 ± 0,50 <sup>b,d</sup>
	50N	3,53 ± 0,50 <sup>d</sup>	3,42 ± 0,53 <sup>d</sup>	3,12 ± 0,51 <sup>d</sup>
	1%PS	3,54 ± 0,50 <sup>a,b,d</sup>	3,44 ± 0,52 <sup>b,d</sup>	3,14 ± 0,51 <sup>b,d</sup>
	10%PS	3,52 ± 0,49	3,39 ± 0,53	3,06 ± 0,52
	5DSPS	3,54 ± 0,50 <sup>b,d</sup>	3,43 ± 0,53 <sup>b,d</sup>	3,13 ± 0,51 <sup>b,d</sup>
Velocidad máxima (m·s <sup>-1</sup> )	10N	2,454 ± 0,202 <sup>b,d</sup>	2,033 ± 0,185 <sup>d</sup>	1,601 ± 0,182 <sup>b,d</sup>
	50N	2,446 ± 0,203 <sup>d</sup>	2,019 ± 0,186 <sup>d</sup>	1,583 ± 0,187 <sup>d</sup>
	1%PS	2,454 ± 0,202 <sup>a,b,d</sup>	2,028 ± 0,185 <sup>b,d</sup>	1,593 ± 0,185 <sup>b,d</sup>
	10%PS	2,440 ± 0,203	2,003 ± 0,188	1,553 ± 0,199
	5DSPS	2,452 ± 0,201 <sup>b,d</sup>	2,026 ± 0,185 <sup>b,d</sup>	1,587 ± 0,188 <sup>d</sup>
Tiempo hasta fuerza máxima (s)	10N	0,256 ± 0,055 <sup>b,d</sup>	0,405 ± 0,171	0,545 ± 0,231 <sup>b,d</sup>
	50N	0,235 ± 0,051 <sup>d</sup>	0,314 ± 0,066 <sup>d</sup>	0,389 ± 0,100 <sup>d</sup>
	1%PS	0,263 ± 0,064 <sup>b,d</sup>	0,347 ± 0,074 <sup>b,d</sup>	0,430 ± 0,109 <sup>b,d</sup>
	10%PS	0,227 ± 0,050	0,291 ± 0,064	0,340 ± 0,096
	5DSPS	0,273 ± 0,050 <sup>a,b,d</sup>	0,346 ± 0,069 <sup>b,d</sup>	0,409 ± 0,095 <sup>b,d</sup>
Tiempo hasta potencia máxima (s)	10N	0,288 ± 0,049 <sup>b,d</sup>	0,439 ± 0,170 <sup>d</sup>	0,579 ± 0,227 <sup>b,d</sup>
	50N	0,267 ± 0,045	0,348 ± 0,059 <sup>d</sup>	0,423 ± 0,094 <sup>d</sup>
	1%PS	0,295 ± 0,058 <sup>b,d</sup>	0,382 ± 0,068 <sup>b,d</sup>	0,464 ± 0,103 <sup>b,d</sup>
	10%PS	0,259 ± 0,043 <sup>b</sup>	0,326 ± 0,056	0,375 ± 0,090
	5DSPS	0,305 ± 0,044 <sup>a,b,d</sup>	0,381 ± 0,061 <sup>b,d</sup>	0,443 ± 0,088 <sup>b,d</sup>
Tiempo hasta velocidad máxima (s)	10N	0,328 ± 0,050 <sup>b,d</sup>	0,481 ± 0,170	0,622 ± 0,226 <sup>b,d</sup>
	50N	0,307 ± 0,046 <sup>d</sup>	0,390 ± 0,058 <sup>d</sup>	0,465 ± 0,093 <sup>d</sup>
	1%PS	0,335 ± 0,060 <sup>b,d</sup>	0,423 ± 0,069 <sup>b,d</sup>	0,507 ± 0,102 <sup>b,d</sup>
	10%PS	0,299 ± 0,045	0,367 ± 0,056	0,417 ± 0,089
	5DSPS	0,345 ± 0,044 <sup>a,b,d</sup>	0,422 ± 0,061 <sup>b,d</sup>	0,486 ± 0,088 <sup>b,d</sup>
aRFD (kN·s <sup>-1</sup> )	10N	7,32 ± 2,65 <sup>e</sup>	5,61 ± 2,16	4,87 ± 1,91
	50N	7,99 ± 2,91 <sup>a,c,e</sup>	6,71 ± 1,98 <sup>a,c,e</sup>	6,28 ± 1,82 <sup>a,c,e</sup>
	1%PS	7,19 ± 2,68	6,09 ± 1,93	5,65 ± 1,60
	10%PS	8,25 ± 3,00 <sup>a,b,c,e</sup>	7,26 ± 2,20 <sup>a,b,c,e</sup>	7,22 ± 2,10 <sup>a,b,c,e</sup>
	5DSPS	6,73 ± 2,04	6,05 ± 1,75	5,88 ± 1,51 <sup>a</sup>
pRFD (kN·s <sup>-1</sup> )	Todos	10,73 ± 3,04	9,37 ± 2,70	8,94 ± 2,49
iRFD (kN·s <sup>-2</sup> )	10N	121,85 ± 89,46 <sup>e</sup>	62,83 ± 53,80	34,96 ± 32,96
	50N	160,60 ± 113,70 <sup>a,c,e</sup>	89,95 ± 68,21 <sup>a,c,e</sup>	50,37 ± 42,89 <sup>a,c,e</sup>
	1%PS	117,90 ± 88,40	67,21 ± 52,58	40,34 ± 32,51
	10%PS	186,11 ± 131,15 <sup>a,b,c,e</sup>	129,95 ± 111,42	102,00 ± 152,26
			a,b,c,e	a,b,c,e

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	5DSPS	94,00 ± 56,31	61,70 ± 37,94	39,10 ± 25,02
Impulso (N·s)	10N	441,6 ± 64,4 <sub>b,d</sub>	729,0 ± 179,0	1113,9 ± 302,8 <sub>b,d</sub>
	50N	424,9 ± 58,7 <sub>d</sub>	632,9 ± 72,9 <sub>d</sub>	897,5 ± 135,3 <sub>d</sub>
	1%PS	447,0 ± 69,2 <sub>b,d</sub>	668,5 ± 80,5 <sub>b,d</sub>	957,4 ± 156,6 <sub>b,d</sub>
	10%PS	418,7 ± 56,1	607,7 ± 68,9	825,1 ± 121,6
	5DSPS	454,0 ± 60,2 <sub>a,b,d</sub>	667,6 ± 79,2 <sub>b,d</sub>	926,2 ± 127,1 <sub>b,d</sub>
Altura de salto (m)	10N	0,274 ± 0,050 <sub>b,d</sub>	0,172 ± 0,038 <sub>d</sub>	0,087 ± 0,030 <sub>b,d</sub>
	50N	0,272 ± 0,050 <sub>d</sub>	0,169 ± 0,038 <sub>d</sub>	0,085 ± 0,030 <sub>d</sub>
	1%PS	0,274 ± 0,050 <sub>a,b,d</sub>	0,171 ± 0,038 <sub>b,d</sub>	0,086 ± 0,030 <sub>b,d</sub>
	10%PS	0,271 ± 0,050 <sub>b</sub>	0,167 ± 0,038	0,082 ± 0,031
	5DSPS	0,274 ± 0,050 <sub>b,d</sub>	0,171 ± 0,038 <sub>b,d</sub>	0,086 ± 0,030 <sub>d</sub>
Tiempo de contacto (s)	10N	0,353 ± 0,052 <sub>b,d</sub>	0,517 ± 0,170	0,676 ± 0,227 <sub>b,d</sub>
	50N	0,332 ± 0,047 <sub>d</sub>	0,426 ± 0,059 <sub>d</sub>	0,520 ± 0,095 <sub>d</sub>
	1%PS	0,360 ± 0,062 <sub>b,d</sub>	0,459 ± 0,069 <sub>b,d</sub>	0,561 ± 0,106 <sub>b,d</sub>
	10%PS	0,324 ± 0,046	0,403 ± 0,056	0,471 ± 0,089
	5DSPS	0,370 ± 0,046 <sub>a,b,d</sub>	0,458 ± 0,062 <sub>b,d</sub>	0,540 ± 0,090 <sub>b,d</sub>

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema; aRFD, ratio promedio de desarrollo de fuerza; pRFD, ratio máxima de desarrollo de fuerza; iRFD, índice de ratio de desarrollo de fuerza. a, significativamente mayor que 10N; b, significativamente mayor que 50N; c, significativamente mayor que 1%PS; d, significativamente superior al 10%PS; e, significativamente mayor que 5%DSPS ( $P < 0,05$ ; ANOVA con corrección de Bonferroni). Los valores de fuerza máxima y pRFD no se compararon ya que no diferían entre los umbrales de inicio del movimiento.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Estudio 4:** *Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation.*

○ *Fiabilidad de las variables de CMJ:*

Se calcularon un total de 48 resultados de fiabilidad para cada umbral de inicio del movimiento de salto durante la fase descendente (12 variables  $\times$  4 cargas). Se observó una fiabilidad aceptable en 37 resultados para los umbrales 50N y 10%PS, 34 para el umbral 5DSPS, 20 para el umbral 10N y 19 para el umbral 1%PS. La fiabilidad fue generalmente comparable entre los umbrales 50N, 10%PS y 5DSPS (CV  $<$  1,15 en 123 de 144 comparaciones). La confiabilidad de los tres umbrales más conservadores (50N, 10% SW y 5SDSW) fue generalmente mayor en comparación con los umbrales 10N y 1% SW (CV ratio  $>$  1,15 en 144 de 288 comparaciones). Se observaron diferencias significativas en la fiabilidad para los valores medios de velocidad y potencia, así como para diferentes variables temporales (valores de tiempo hasta fuerza, potencia y velocidad máxima, y duración de fase) (**Tabla 11**).

Independientemente del umbral de inicio de salto, 42 de los 48 resultados recopilados durante la fase ascendente cumplieron con el criterio de fiabilidad aceptable (**Tabla 12**). La fiabilidad fue comparable entre los cinco umbrales de inicio del movimiento de salto con la única excepción de los valores de potencia media frente a una carga externa de 30 kg. Específicamente, la fiabilidad de la potencia media fue mayor (CV ratio  $>$  1,15) para el umbral 50N que para los umbrales 10N, 1%PS, 10%PS y 5DSPS.

○ *Magnitud de las variables de CMJ:*

El ANOVA conducido sobre las variables obtenidas durante la fase descendente del CMJ reveló un efecto principal significativo del “umbral” para todas las variables ( $F \geq 24,1$ ,  $P < 0,05$ ) con la excepción de la fuerza máxima ( $F = 0,48$ ,  $P = 0,607$ ) y la fuerza media ( $F = 1,75$ ,  $P = 0,192$ ). El efecto principal de “carga” también fue significativo para todas las variables ( $F \geq 6,57$ ,  $P < 0,05$ ) con la excepción de la potencia máxima ( $F = 1,74$ ,  $P = 0,172$ ), el tiempo hasta potencia máxima ( $F = 0,85$ ,  $P = 0,438$ ) y el tiempo hasta velocidad máxima ( $F = 1,27$ ,  $P = 0,294$ ). Ninguna de las interacciones alcanzó la significación estadística ( $F \leq 2,72$ ,  $P > 0,05$ ). Las comparaciones por pares se representan en la **Tabla 13**.

El ANOVA conducido sobre las variables obtenidas en la fase ascendente del CMJ también reveló un efecto principal significativo del “umbral” para todas las variables ( $F \geq 7,74$ ,  $P < 0,05$ ) con la única excepción de la fuerza máxima ( $F = 1,75$ ,  $P = 0,202$ ). El efecto principal de “carga” fue significativo para todas las variables ( $F \geq 6,60$ ,  $P < 0,05$ ) con la excepción del

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

impulso ( $F = 1,16$ ,  $P = 0,326$ ) y el desplazamiento ( $F = 2,23$ ,  $P = 0,096$ ). La interacción alcanzó la significación estadística para los valores de tiempo hasta fuerza, potencia y velocidad máxima, impulso, duración de fase y desplazamiento ( $F \geq 2,81$ ,  $P < 0,05$ ). Las comparaciones por pares se representan en la **Tabla 14**.

**Tabla 11.** Fiabilidad de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase descendente.

Variable	Umbral	Coeficiente de variación [Intervalo de confianza al 95%] (%)			
		17 kg	30 kg	45 kg	60 kg
Fuerza media	10N	1,77 [1,32-2,70]	0,85 [0,63-1,30]	1,47 [1,10-2,24] <sub>b,c,d</sub>	0,96 [0,71-1,46]
	50N	1,93 [1,44-2,93]	0,90 [0,67-1,37]	1,90 [1,42-2,90]	0,97 [0,72-1,47]
	1%PS	1,77 [1,32-2,69]	0,85 [0,63-1,30]	1,48 [1,10-2,25] <sub>b,c,d</sub>	0,96 [0,71-1,46]
	10%PS	1,94 [1,45-2,96]	0,96 [0,71-1,45]	1,95 [1,45-2,96]	0,97 [0,72-1,47]
	5DSPS	1,77 [1,32-2,70]	0,83 [0,62-1,26] <sub>d</sub>	1,79 [1,33-2,73]	0,91 [0,68-1,38]
Potencia media	10N	<b>12,0 [8,91-18,2]<sub>c</sub></b>	<b>13,0 [9,68-19,8]</b>	<b>17,9 [13,3-27,2]</b>	<b>19,7 [14,7-30,0]</b>
	50N	5,90 [4,39-8,97] <sub>a,c</sub>	8,54 [6,36-13,0] <sub>a,c</sub>	<b>10,5 [7,80-16,0]<sub>a,c</sub></b>	9,38 [6,99-14,3] <sub>a,c</sub>
	1%PS	<b>14,1 [10,5-21,5]</b>	<b>10,6 [7,86-16,1]<sub>a</sub></b>	<b>14,8 [11,0-22,5]<sub>a</sub></b>	<b>12,9 [9,64-19,7]<sub>a</sub></b>
	10%PS	5,79 [4,31-8,81] <sub>a,c</sub>	8,18 [6,09-12,5] <sub>a,c,e</sub>	<b>10,4 [7,73-15,8]<sub>a,c</sub></b>	9,71 [7,23-14,8] <sub>a,c</sub>
	5DSPS	6,43 [4,79-9,79] <sub>a,c</sub>	9,73 [7,25-14,8] <sub>a,c</sub>	<b>11,9 [8,85-18,1]<sub>a,c</sub></b>	<b>10,0 [7,47-15,3]<sub>a,c</sub></b>
Velocidad media	10N	<b>12,7 [9,45-19,3]</b>	<b>12,8 [9,55-19,5]</b>	<b>18,2 [13,5-27,6]</b>	<b>19,7 [14,7-29,9]</b>
	50N	6,25 [4,65-9,51] <sub>a,c</sub>	8,12 [6,05-12,4] <sub>a,c,e</sub>	<b>11,4 [8,47-17,3]<sub>a,c</sub></b>	9,79 [7,29-14,9] <sub>a,c</sub>
	1%PS	<b>14,4 [10,7-21,9]</b>	<b>10,3 [7,66-15,7]<sub>a</sub></b>	<b>15,0 [11,2-22,9]<sub>a</sub></b>	<b>13,3 [9,92-20,3]<sub>a</sub></b>
	10%PS	6,14 [4,57-9,35] <sub>a,c</sub>	7,75 [5,77-11,8] <sub>a,c,e</sub>	<b>11,3 [8,42-17,2]<sub>a,c</sub></b>	<b>10,1 [7,50-15,3]<sub>a,c</sub></b>
	5DSPS	6,65 [4,95-10,1] <sub>a,c</sub>	9,41 [7,01-14,3] <sub>a,c</sub>	<b>12,6 [9,41-19,2]<sub>a,c</sub></b>	<b>10,4 [7,73-15,8]<sub>a,c</sub></b>
Fuerza máxima	10N	4,50 [3,35-6,85]	3,26 [2,43-4,96]	4,09 [3,04-6,22]	3,45 [2,57-5,25]
	50N	4,56 [3,40-6,94]	3,25 [2,42-4,95]	4,16 [3,10-6,32]	3,46 [2,58-5,27]
	1%PS	4,50 [3,35-6,85]	3,28 [2,45-5,00]	4,09 [3,05-6,23]	3,45 [2,57-5,25]
	10%PS	4,65 [3,46-7,08]	3,27 [2,44-4,98]	4,33 [3,22-6,58]	3,50 [2,61-5,32]
	5DSPS	4,51 [3,36-6,86]	3,24 [2,41-4,93]	4,11 [3,06-6,26]	3,45 [2,57-5,25]
Potencia máxima	10N	<b>10,0 [7,47-15,3]</b>	9,15 [6,81-13,9]	<b>12,9 [9,62-19,7]</b>	<b>12,7 [9,43-19,3]</b>
	50N	<b>10,2 [7,61-15,6]</b>	9,27 [6,91-14,1]	<b>13,1 [9,76-20,0]</b>	<b>12,7 [9,43-19,3]</b>
	1%PS	<b>10,1 [7,51-15,4]</b>	8,23 [6,13-15,5]	<b>12,9 [9,57-19,6]</b>	<b>12,8 [9,50-19,4]</b>
	10%PS	<b>10,4 [7,78-15,9]</b>	8,77 [6,53-13,3]	<b>13,2 [9,86-20,1]</b>	<b>13,4 [10,0-20,5]</b>
	5DSPS	<b>10,1 [7,49-15,3]</b>	9,09 [6,77-13,8]	<b>12,7 [9,47-19,4]</b>	<b>12,6 [9,38-19,2]</b>
Velocidad máxima	10N	5,51 [4,11-8,39]	6,96 [5,19-10,6]	<b>10,6 [7,87-16,1]</b>	9,07 [6,76-13,8]
	50N	5,68 [4,23-8,64]	7,15 [5,33-10,9]	<b>10,8 [8,05-16,5]</b>	8,99 [6,70-13,7]
	1%PS	5,61 [4,18-8,54]	6,31 [4,70-9,61]	<b>10,5 [7,84-16,0]</b>	9,16 [6,82-13,9]
	10%PS	5,87 [4,37-8,93]	6,86 [5,11-10,4]	<b>10,8 [8,07-16,5]</b>	9,69 [7,21-14,7]
	5DSPS	5,54 [4,12-8,43]	6,92 [5,15-10,5]	<b>10,4 [7,77-15,9]</b>	8,99 [6,69-13,7]
Tiempo hasta fuerza máxima	10N	<b>19,4 [14,5-29,6]</b>	<b>14,7 [10,9-22,3]</b>	<b>21,5 [16,0-32,7]</b>	<b>22,5 [16,8-34,3]</b>
	50N	7,62 [5,67-11,6] <sub>a,c</sub>	5,67 [4,22-8,63] <sub>a,c,e</sub>	8,16 [6,07-12,4] <sub>a,c</sub>	<b>10,2 [7,60-15,5]<sub>a,c</sub></b>
	1%PS	<b>18,3 [13,6-27,8]</b>	<b>11,2 [8,37-17,1]<sub>a</sub></b>	<b>16,3 [12,1-24,8]<sub>a</sub></b>	<b>14,3 [10,6-21,7]<sub>a</sub></b>
	10%PS	7,01 [5,22-10,7] <sub>a,c</sub>	5,56 [4,14-8,45] <sub>a,c,e</sub>	8,54 [6,36-13,0] <sub>a,c</sub>	8,72 [6,50-13,3] <sub>a,b,c</sub>
	5DSPS	7,98 [5,94-12,1] <sub>a,c</sub>	7,10 [5,29-10,8] <sub>a,c</sub>	9,20 [6,85-14,0] <sub>a,c</sub>	9,38 [6,99-14,3] <sub>a,c</sub>
Tiempo hasta potencia máxima	10N	<b>28,2 [21,0-42,8]</b>	<b>18,4 [13,7-28,1]</b>	<b>31,5 [23,5-48,0]</b>	<b>37,1 [27,6-56,5]</b>
	50N	6,95 [5,17-10,6] <sub>a,c</sub>	6,83 [5,09-10,4] <sub>a,c,e</sub>	6,28 [4,68-9,55] <sub>a,c,e</sub>	<b>13,0 [9,71-19,8]<sub>a,c</sub></b>
	1%PS	<b>23,5 [17,5-35,7]<sub>a</sub></b>	<b>14,3 [10,7-21,8]<sub>a</sub></b>	<b>25,3 [18,8-38,5]<sub>a</sub></b>	<b>23,0 [17,2-35,0]<sub>a</sub></b>
	10%PS	7,05 [5,25-10,7] <sub>a,c</sub>	6,44 [4,79-9,80] <sub>a,c,e</sub>	6,82 [5,08-10,4] <sub>a,c,e</sub>	<b>13,2 [9,83-10,1]<sub>a,c</sub></b>
	5DSPS	7,78 [5,80-11,9] <sub>a,c</sub>	8,23 [6,13-12,5] <sub>a,c</sub>	8,63 [6,43-13,1] <sub>a,c</sub>	<b>13,2 [9,84-20,1]<sub>a,c</sub></b>
Tiempo hasta velocidad máxima	10N	<b>31,9 [23,8-48,6]</b>	<b>21,7 [16,2-33,1]</b>	<b>34,6 [25,8-52,6]</b>	<b>40,6 [30,2-61,8]</b>
	50N	7,71 [5,74-11,7] <sub>a,c</sub>	7,95 [5,92-12,1] <sub>a,c,e</sub>	7,16 [5,33-10,9] <sub>a,c,e</sub>	<b>14,9 [11,1-22,7]<sub>a,c</sub></b>
	1%PS	<b>27,1 [20,2-41,3]<sub>a</sub></b>	<b>16,4 [12,2-24,9]<sub>a</sub></b>	<b>27,9 [20,8-42,5]<sub>a</sub></b>	<b>26,4 [19,7-40,2]<sub>a</sub></b>

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	10%PS	7,20 [5,36-11,0] <sub>a,c,e</sub>	7,33 [5,46-11,2] <sub>a,c,e</sub>	7,27 [5,42-11,1] <sub>a,c,e</sub>	<b>15,9 [11,9-24,2]<sub>a,c</sub></b>
	5DSPS	8,51 [6,34-13,0] <sub>a,c</sub>	9,98 [7,43-15,2] <sub>a,c</sub>	<b>10,6 [7,89-16,1]<sub>a,c</sub></b>	<b>14,7 [11,0-22,4]<sub>a,c</sub></b>
Impulso	10N	6,73 [5,01-10,2]	5,53 [4,12-8,41]	7,66 [5,70-11,7]	7,65 [5,70-11,6]
	50N	6,64 [4,95-10,1]	5,78 [4,30-8,79]	8,04 [5,99-12,2]	7,50 [5,58-11,4]
	1%PS	6,72 [5,01-10,2]	4,72 [3,52-7,19]	7,59 [5,65-11,6]	7,77 [5,79-11,8]
	10%PS	6,59 [4,91-10,0]	5,05 [3,76-7,69]	8,17 [6,09-12,4]	8,28 [7,17-12,6]
	5DSPS	6,78 [5,05-10,3]	5,48 [4,08-8,34]	7,65 [5,70-11,6]	7,02 [5,66-11,6]
Duración de la fase	10N	<b>19,2 [14,3-29,2]</b>	<b>13,4 [10,0-20,4]</b>	<b>21,0 [15,7-32,0]</b>	<b>23,2 [17,3-35,3]</b>
	50N	6,26 [4,66-9,52] <sub>a,c</sub>	4,28 [3,19-6,51] <sub>a,c</sub>	6,25 [4,66-9,51] <sub>a,c,e</sub>	8,36 [6,23-12,7] <sub>a,c</sub>
	1%PS	<b>18,0 [13,4-27,3]</b>	9,92 [7,39-15,1] <sub>a</sub>	<b>15,6 [11,6-23,8]<sub>a</sub></b>	<b>14,4 [10,7-21,9]<sub>a</sub></b>
	10%PS	5,58 [4,15-8,49] <sub>a,c,e</sub>	4,45 [3,31-6,77] <sub>a,c</sub>	6,70 [4,99-10,2] <sub>a,c</sub>	7,19 [5,36-10,9] <sub>a,b,c,e</sub>
	5DSPS	7,16 [5,33-10,9] <sub>a,c</sub>	5,99 [4,46-9,12] <sub>a,c</sub>	7,59 [5,65-11,6] <sub>a,c</sub>	8,37 [6,23-12,7] <sub>a,c</sub>
Desplazamiento	10N	4,69 [3,49-7,14]	7,43 [5,53-11,3] <sub>d</sub>	<b>10,5 [7,78-15,9]</b>	7,86 [5,86-12,0]
	50N	5,05 [3,76-7,69]	8,20 [6,11-12,5]	<b>10,7 [7,97-17,3]</b>	7,67 [5,71-11,7]
	1%PS	4,70 [3,50-7,16]	7,46 [5,56-11,4] <sub>d</sub>	<b>10,4 [7,78-15,9]</b>	7,89 [5,88-12,0]
	10%PS	5,05 [3,76-7,69]	8,89 [6,62-13,5]	<b>11,0 [8,16-16,7]</b>	7,70 [5,74-11,7]
	5DSPS	4,80 [3,58-7,31]	7,74 [5,76-11,8] <sub>d</sub>	<b>10,1 [7,51-15,4]</b>	7,55 [5,62-11,5]

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema. Los números en negrita indican una fiabilidad inaceptable (coeficiente de variación [CV] > 10%). a, significativamente más fiable que 10N; b, significativamente más fiable que 50N; c, significativamente más fiable que 1%PS; d, significativamente más fiable que el 10%PS; e, significativamente más fiable que 5DSPS. Las diferencias significativas fueron definidas como un CV ratio > 1,15 (mayor CV/menor CV).

**Tabla 12.** Fiabilidad de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase ascendente.

Variable	Umbral	Coeficiente de variación [Intervalo de confianza al 95%] (%)			
		17 kg	30 kg	45 kg	60 kg
Fuerza media	10N	1,77 [1,32-2,69]	2,06 [1,54-3,14]	2,12 [1,58-3,23]	2,31 [1,72-3,52]
	50N	1,76 [1,31-2,68]	2,06 [1,54-3,14]	2,13 [1,59-3,24]	2,31 [1,72-3,51]
	1%PS	1,77 [1,32-2,70]	2,16 [1,61-3,28]	2,12 [1,58-3,22]	2,32 [1,72-3,52]
	10%PS	1,75 [1,31-2,67]	2,16 [1,61-3,28]	2,37 [1,77-3,61]	2,30 [1,71-3,50]
	5DSPS	1,77 [1,32-2,69]	2,06 [1,53-3,14]	2,12 [1,58-3,23]	2,30 [1,71-3,50]
Potencia media	10N	4,52 [3,37-6,88]	4,77 [3,55-7,26]	6,89 [5,13-10,5]	8,22 [6,12-12,5]
	50N	4,39 [3,27-6,69]	3,82 [3,59-7,34] <sub>a,b,c,d</sub>	6,82 [5,08-10,4]	8,26 [6,15-12,6]
	1%PS	4,57 [3,40-5,96]	4,83 [3,60-7,35]	6,91 [5,15-10,5]	8,14 [6,06-12,4]
	10%PS	4,46 [3,32-6,78]	5,06 [3,77-7,70]	7,10 [5,29-10,8]	8,14 [6,06-12,4]
	5DSPS	4,50 [3,35-6,84]	4,80 [3,57-7,30]	6,76 [5,04-10,3]	8,20 [6,11-12,5]
Velocidad media	10N	3,37 [2,51-5,13]	3,73 [2,77-5,67]	5,42 [4,04-8,25]	7,32 [5,45-11,1]
	50N	3,25 [2,42-4,95]	3,78 [2,82-5,76]	5,34 [3,98-8,13]	7,40 [5,51-11,3]
	1%PS	3,41 [2,54-5,19]	3,74 [2,78-5,69]	5,44 [4,05-8,28]	7,25 [5,40-11,0]
	10%PS	3,31 [2,46-5,03]	3,92 [2,92-5,97]	5,46 [4,06-8,31]	7,22 [5,38-11,0]
	5DSPS	3,34 [2,49-5,08]	3,78 [2,81-5,75]	5,26 [3,92-8,01]	7,35 [5,47-11,2]
Fuerza máxima	10N	2,59 [1,93-3,95]	2,84 [2,11-4,32]	2,65 [1,98-4,04]	1,83 [1,36-2,78]
	50N	2,59 [1,93-3,95]	2,83 [2,11-4,31]	2,65 [1,98-4,04]	1,83 [1,37-2,79]
	1%PS	2,59 [1,93-3,95]	2,88 [2,14-4,38]	2,65 [1,98-4,04]	1,83 [1,36-2,78]
	10%PS	2,59 [1,93-3,95]	2,86 [2,13-4,35]	2,80 [2,08-4,26]	1,85 [1,37-2,81]
	5DSPS	2,59 [1,93-3,95]	2,84 [2,12-4,32]	2,65 [1,98-4,04]	1,83 [1,36-2,78]
Potencia máxima	10N	2,96 [2,20-4,50]	3,83 [2,85-5,83]	6,39 [4,76-9,72]	5,06 [3,76-7,69]
	50N	2,95 [2,20-4,49]	3,84 [2,86-5,85]	6,33 [4,71-9,63]	5,05 [3,76-7,69]
	1%PS	2,97 [2,21-4,52]	3,85 [2,87-5,86]	6,37 [4,75-9,70]	5,01 [3,73-7,63]
	10%PS	3,05 [2,27-4,64]	3,91 [2,91-5,96]	6,57 [4,89-10,0]	5,01 [3,73-7,62]
	5DSPS	2,94 [2,19-4,48]	3,86 [2,87-5,87]	6,33 [4,72-9,64]	5,04 [3,76-7,68]
Velocidad máxima	10N	2,48 [1,85-3,77]	2,15 [1,60-3,28]	4,54 [3,38-6,90]	4,70 [3,50-7,16]
	50N	2,43 [1,81-3,70]	2,11 [1,57-3,21]	4,50 [3,35-6,84]	4,74 [3,53-7,21]
	1%PS	2,49 [1,85-3,78]	2,13 [1,59-3,25]	4,53 [3,37-6,89]	4,66 [3,47-7,10]
	10%PS	2,48 [1,85-3,77]	2,13 [1,58-3,24]	4,51 [3,36-6,87]	4,64 [3,46-7,07]
	5DSPS	2,45 [1,82-3,72]	2,17 [1,62-3,31]	4,51 [3,36-6,86]	4,72 [3,51-7,18]
Tiempo hasta fuerza máxima	10N	<b>45,4 [33,8-69,1]</b>	<b>53,5 [39,8-81,4]</b>	<b>32,7 [24,4-49,8]</b>	<b>17,7 [13,2-26,9]</b>
	50N	<b>45,3 [33,7-68,9]</b>	<b>53,3 [39,7-81,0]</b>	<b>32,6 [24,3-49,6]</b>	<b>17,7 [13,2-27,0]</b>
	1%PS	<b>45,3 [33,8-69,0]</b>	<b>53,3 [39,7-81,1]</b>	<b>32,7 [24,4-49,8]</b>	<b>17,6 [13,1-26,8]</b>
	10%PS	<b>45,2 [33,7-68,8]</b>	<b>52,6 [39,2-80,0]</b>	<b>32,5 [24,2-49,5]</b>	<b>17,8 [13,2-27,0]</b>
	5DSPS	<b>45,3 [33,8-69,0]</b>	<b>53,2 [39,6-80,9]</b>	<b>32,6 [24,3-49,6]</b>	<b>17,7 [13,2-27,0]</b>
Tiempo hasta potencia máxima	10N	6,73 [5,01-10,3]	9,07 [6,75-13,8]	<b>10,4 [7,74-15,8]</b>	<b>10,5 [7,81-16,0]</b>
	50N	6,57 [4,90-10,0]	8,96 [6,68-13,6]	<b>10,3 [7,63-15,6]</b>	<b>10,6 [7,87-16,1]</b>
	1%PS	6,71 [5,00-10,2]	9,12 [6,79-13,9]	<b>10,4 [7,73-15,8]</b>	<b>10,4 [7,76-15,9]</b>
	10%PS	6,58 [4,90-10,0]	8,96 [6,68-13,6]	<b>10,5 [7,81-16,0]</b>	<b>10,6 [7,87-16,1]</b>
	5DSPS	6,74 [5,02-10,3]	8,95 [6,67-13,6]	<b>10,5 [7,78-15,9]</b>	<b>10,5 [7,82-16,0]</b>
Tiempo hasta velocidad máxima	10N	5,56 [4,14-8,46]	7,88 [5,87-12,0]	9,22 [6,86-14,0]	9,43 [7,02-14,4]
	50N	5,42 [4,04-8,26]	7,78 [5,79-11,8]	9,13 [6,80-13,9]	9,49 [7,07-14,5]
	1%PS	5,55 [4,13-8,44]	7,92 [5,90-12,1]	9,21 [6,86-14,0]	9,36 [6,97-14,3]
	10%PS	5,40 [4,03-8,23]	7,75 [5,77-11,8]	9,32 [6,94-14,2]	9,57 [7,12-14,6]
	5DSPS	5,57 [4,15-8,48]	7,77 [5,79-11,8]	9,27 [6,90-14,1]	9,43 [7,03-14,4]
Impulso	10N	5,11 [3,81-7,78]	3,34 [2,49-5,09]	8,22 [6,12-12,5]	7,09 [5,28-10,8]
	50N	4,89 [3,64-7,44]	3,25 [2,42-4,94]	8,12 [6,02-12,4]	7,03 [5,24-10,6]
	1%PS	5,10 [3,79-7,75]	3,36 [2,50-5,11]	8,19 [6,10-12,5]	7,04 [5,25-10,7]
	10%PS	4,69 [3,49-7,13]	3,22 [2,40-4,90]	8,02 [5,97-12,2]	6,88 [5,12-10,5]
	5DSPS	5,09 [3,79-7,75]	3,36 [2,50-5,11]	8,24 [6,13-12,5]	7,02 [5,23-10,7]
Duración de la fase	10N	5,06 [3,77-7,69]	6,95 [5,17-10,6]	8,07 [6,01-12,3]	8,59 [6,40-13,1]
	50N	4,96 [3,69-7,54]	6,86 [5,11-10,5]	8,01 [5,96-12,2]	8,66 [6,45-13,2]
	1%PS	5,04 [3,75-7,67]	6,99 [5,20-10,6]	8,06 [6,00-12,3]	8,53 [6,36-13,0]

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	10%PS	4,95 [3,69-7,53]	6,84 [5,09-10,4]	8,20 [6,11-12,5]	8,73 [6,50-13,3]
	5DSPS	5,08 [3,78-7,73]	6,85 [5,10-10,4]	8,12 [6,05-12,4]	8,61 [6,41-13,1]
	10N	3,85 [2,87-5,86]	4,75 [3,54-7,23]	6,33 [4,71-9,63]	8,10 [6,04-12,3]
	50N	3,71 [2,76-5,65]	4,51 [3,36-6,86]	6,16 [4,59-9,37]	8,42 [6,27-12,8]
Desplazamiento	1%PS	3,84 [2,86-5,85]	4,77 [3,56-7,27]	6,31 [4,70-9,60]	8,06 [6,00-12,3]
	10%PS	3,85 [2,87-5,87]	4,36 [3,25-6,63]	6,27 [4,67-9,55]	8,35 [6,22-12,7]
	5DSPS	3,75 [2,80-5,71]	4,66 [3,47-7,10]	6,34 [4,72-9,64]	8,35 [6,22-12,7]

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema. Los números en negrita indican una fiabilidad inaceptable (coeficiente de variación [CV] > 10%). a, significativamente más fiable que 10N; b, significativamente más fiable que 1%PS; c, significativamente más fiable que 10%PS; d, significativamente más fiable que 5DSPS. Las diferencias significativas fueron definidas como un CV ratio > 1,15 (mayor CV/menor CV).

**Tabla 13.** Magnitud de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase descendente.

Variable	Umbral	Coeficiente de variación [Intervalo de confianza al 95%] (%)			
		17 kg	30 kg	45 kg	60 kg
Fuerza media	10N	918,1 [77,8]	1045,9 [76,2]	1192,1 [85,0]	1390,0 [77,4]
	50N	917,1 [79,1]	1046,0 [76,4]	1192,0 [85,0]	1390,0 [77,7]
	1%PS	918,1 [77,7]	1045,9 [76,2]	1192,0 [84,6]	1390,0 [77,5]
	10%PS	918,0 [79,1]	1046,4 [76,8]	1191,8 [84,9]	1390,1 [77,5]
	5DSPS	917,2 [78,9]	1046,1 [76,0]	1192,4 [83,8]	1390,4 [77,3]
Potencia media	10N	-511,1 [107,9] <sub>b,d</sub>	-568,5 [110,9] <sub>b,d</sub>	-573,1 [145,4] <sub>b,d</sub>	-568,9 [164,4] <sub>b,d</sub>
	50N	-575,4 [84,4] <sub>d</sub>	-618,4 [87,8] <sub>d</sub>	-669,6 [114,8] <sub>d</sub>	-646,6 [137,0] <sub>d</sub>
	1%PS	-510,0 [109,0] <sub>b,d</sub>	-582,2 [86,0] <sub>b,d</sub>	-635,4 [114,9] <sub>b,d</sub>	-604,5 [145,8] <sub>b,d</sub>
	10%PS	-587,9 [88,0]	-629,3 [91,8]	-685,8 [123,9]	-657,0 [142,8]
	5DSPS	-520,5 [78,9] <sub>b,d</sub>	-566,1 [77,6] <sub>b,c,d</sub>	-613,4 [100,7] <sub>b,c,d</sub>	-601,2 [125,2] <sub>b,d</sub>
Velocidad media	10N	-0,554 [0,100] <sub>d</sub>	-0,543 [0,102] <sub>b,d</sub>	-0,482 [0,127] <sub>b,d</sub>	-0,411 [0,120] <sub>b,d</sub>
	50N	-0,625 [0,074] <sub>d</sub>	-0,591 [0,076] <sub>d</sub>	-0,560 [0,094] <sub>d</sub>	-0,466 [0,097] <sub>d</sub>
	1%PS	-0,553 [0,101] <sub>b,d</sub>	-0,557 [0,078] <sub>b,d</sub>	-0,532 [0,096] <sub>b,d</sub>	-0,435 [0,104] <sub>b,d</sub>
	10%PS	-0,639 [0,078]	-0,601 [0,079]	-0,574 [0,100]	-0,473 [0,102]
	5DSPS	-0,566 [0,069] <sub>b,d</sub>	-0,541 [0,065] <sub>b,c,d</sub>	-0,514 [0,084] <sub>b,c,d</sub>	-0,433 [0,088] <sub>b,d</sub>
Fuerza máxima	10N	1751,3 [219,0]	1842,0 [219,2]	1906,3 [233,5]	2015,2 [229,0]
	50N	1750,5 [218,8]	1840,8 [219,3]	1905,3 [233,5]	2014,1 [228,9]
	1%PS	1751,3 [219,0]	1842,6 [219,8]	1906,2 [232,4]	2015,0 [228,8]
	10%PS	1749,7 [219,4]	1839,6 [220,4]	1906,6 [239,5]	2012,0 [229,3]
	5DSPS	1751,1 [219,2]	1839,0 [221,9]	1905,9 [232,9]	2014,9 [229,0]
Potencia máxima	10N	-1352,7 [274,0]	-1373,1 [290,7]	-1440,3 [341,4]	-1343,3 [350,4]
	50N	-1331,2 [273,4] <sub>a,c,e</sub>	-1358,6 [289,9] <sub>a,e</sub>	-1425,4 [341,6] <sub>a,c,e</sub>	-1325,8 [353,5] <sub>a,c,e</sub>
	1%PS	-1352,9 [273,9]	-1362,9 [279,1]	-1439,2 [341,7]	-1341,5 [350,6]
	10%PS	-1309,3 [68,8] <sub>a,b,c,e</sub>	-1326,2 [272,8] <sub>a,b,c,e</sub>	-1410,3 [354,8]	-1292,8 [360,6] <sub>a,b,c,e</sub>
	5DSPS	-1351,0 [274,9]	-1372,6 [291,0]	-1438,7 [343,1]	-1338,8 [352,6]
Velocidad máxima	10N	-1,147 [0,148]	-1,071 [0,151]	-1,012 [0,172]	-0,852 [0,179]
	50N	-1,131 [0,149] <sub>a,c,e</sub>	-1,060 [0,152] <sub>a,e</sub>	-1,003 [0,174] <sub>a,c,e</sub>	-0,841 [0,181] <sub>a,c,e</sub>
	1%PS	-1,147 [0,148]	-1,064 [0,144]	-1,012 [0,173]	-0,851 [0,179]
	10%PS	-1,115 [0,148] <sub>a,b,c,e</sub>	-1,038 [0,145] <sub>a,b,c,e</sub>	-0,990 [0,179] <sub>a,c,e</sub>	-0,821 [0,187] <sub>a,b,c,e</sub>
	5DSPS	-1,146 [0,148]	-1,072 [0,151]	-1,011 [0,173]	-0,849 [0,181]
Tiempo hasta fuerza máxima	10N	0,606 [0,161]	0,603 [0,112] <sub>d</sub>	0,717 [0,237] <sub>d</sub>	0,752 [0,219] <sub>d</sub>
	50N	0,507 [0,062] <sub>c,d</sub>	0,534 [0,073]	0,569 [0,088] <sub>d</sub>	0,617 [0,116] <sub>d</sub>
	1%PS	0,609 [0,164]	0,579 [0,091] <sub>b,d</sub>	0,615 [0,118] <sub>b,d</sub>	0,683 [0,152] <sub>b,d</sub>
	10%PS	0,484 [0,061]	0,511 [0,071]	0,541 [0,086]	0,574 [0,095]
	5DSPS	0,575 [0,072] <sub>b,c</sub>	0,599 [0,086] <sub>b,c,d</sub>	0,631 [0,093] <sub>b,d</sub>	0,674 [0,116] <sub>b,d</sub>
Tiempo hasta potencia máxima	10N	0,462 [0,167]	0,442 [0,104] <sub>d</sub>	0,517 [0,203]	0,523 [0,213] <sub>d</sub>
	50N	0,364 [0,048] <sub>d</sub>	0,372 [0,047] <sub>d</sub>	0,370 [0,037] <sub>d</sub>	0,389 [0,068] <sub>d</sub>
	1%PS	0,465 [0,170]	0,418 [0,071] <sub>b,d</sub>	0,414 [0,062] <sub>b,d</sub>	0,454 [0,111] <sub>b,d</sub>
	10%PS	0,341 [0,046]	0,350 [0,039]	0,342 [0,031]	0,355 [0,061]
	5DSPS	0,431 [0,055] <sub>b,d</sub>	0,431 [0,058] <sub>b,d</sub>	0,431 [0,052] <sub>b,d</sub>	0,445 [0,072] <sub>b,d</sub>
Tiempo hasta velocidad máxima	10N	0,398 [0,162] <sub>b,d</sub>	0,380 [0,106] <sub>b,d</sub>	0,457 [0,205] <sub>b,d</sub>	0,467 [0,208] <sub>b,d</sub>
	50N	0,300 [0,042] <sub>d</sub>	0,311 [0,047]	0,310 [0,033]	0,333 [0,068] <sub>d</sub>
	1%PS	0,401 [0,165] <sub>b,d</sub>	0,357 [0,068] <sub>d</sub>	0,354 [0,066] <sub>b,d</sub>	0,398 [0,112] <sub>b,d</sub>
	10%PS	0,278 [0,039]	0,290 [0,039]	0,284 [0,026]	0,300 [0,062]
	5DSPS	0,367 [0,052] <sub>b,d</sub>	0,369 [0,058] <sub>d</sub>	0,371 [0,051] <sub>b,d</sub>	0,389 [0,072] <sub>b,d</sub>
Impulso	10N	104,2 [15,3] <sub>b,d</sub>	111,7 [17,2] <sub>b,d</sub>	119,9 [21,0] <sub>b,d</sub>	119,9 [24,7] <sub>b,d</sub>
	50N	103,2 [15,4] <sub>d</sub>	111,0 [17,3]	118,8 [21,2]	118,3 [24,9] <sub>d</sub>
	1%PS	104,2 [15,3] <sub>b,d</sub>	111,0 [16,4] <sub>d</sub>	119,6 [21,1] <sub>b,d</sub>	119,7 [24,6] <sub>b,d</sub>
	10%PS	102,3 [15,5]	109,0 [16,6]	117,4 [21,9]	115,6 [25,6]
	5DSPS	104,1 [15,3] <sub>b,d</sub>	111,9 [17,4] <sub>d</sub>	119,6 [21,2] <sub>b,d</sub>	119,5 [25,0] <sub>b,d</sub>
Duración de la fase	10N	0,610 [0,162]	0,616 [0,110] <sub>d</sub>	0,733 [0,240] <sub>d</sub>	0,774 [0,230] <sub>d</sub>
	50N	0,510 [0,063] <sub>d</sub>	0,546 [0,076] <sub>d</sub>	0,584 [0,084] <sub>d</sub>	0,637 [0,119] <sub>d</sub>
	1%PS	0,612 [0,165]	0,592 [0,092] <sub>b,d</sub>	0,630 [0,114] <sub>b,d</sub>	0,705 [0,151] <sub>b,d</sub>

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	10%PS	0,487 [0,061]	0,522 [0,072]	0,554 [0,082]	0,598 [0,105]
	5DSPS	0,578 [0,074] <sub>b,d</sub>	0,607 [0,085] <sub>b,d</sub>	0,646 [0,089] <sub>b,d</sub>	0,696 [0,120] <sub>b,d</sub>
Desplazamiento	10N	-0,325 [0,038]	-0,326 [0,042]	-0,329 [0,043]	-0,296 [0,037]
	50N	-0,316 [0,038] <sub>a,c,e</sub>	-0,320 [0,042] <sub>a,c,e</sub>	-0,323 [0,043] <sub>a,c,e</sub>	-0,288 [0,039] <sub>a,c,e</sub>
	1%PS	-0,325 [0,038]	-0,325 [0,043]	-0,328 [0,043]	-0,295 [0,037]
	10%PS	-0,308 [0,037] <sub>a,b,c,e</sub>	-0,311 [0,041] <sub>a,b,c,e</sub>	-0,313 [0,043] <sub>a,b,c,e</sub>	-0,276 [0,042] <sub>a,b,c,e</sub>
	5DSPS	-0,324 [0,038]	-0,326 [0,043]	-0,328 [0,042]	-0,293 [0,038]

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema. a, significativamente mayor que 10N; b, significativamente mayor que 50N; c, significativamente mayor que 1%PS; d, significativamente mayor que 10%PS; e, significativamente mayor que 5DSPS ( $P < 0,05$ ; ANOVA con corrección de Bonferroni).

**Tabla 14.** Magnitud de las variables del salto con contramovimiento obtenidas a partir de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto durante la fase ascendente.

Variable	Umbral	Coeficiente de variación [Intervalo de confianza al 95%] (%)			
		17 kg	30 kg	45 kg	60 kg
Fuerza media	10N	1532,4 [139,6]	1614,8 [142,7]	1693,3 [150,0]	1822,1 [154,5]
	50N	1532,9 [140,0] <sub>a,c</sub>	1615,3 [142,8]	1693,8 [150,2]	1823,1 [154,2] <sub>a</sub>
	1%PS	1532,4 [139,6]	1616,9 [145,6]	1693,4 [150,0]	1822,2 [154,6]
	10%PS	1533,4 [140,1] <sub>a,b,c,d</sub>	1618,2 [145,9] <sub>c</sub>	1697,2 [155,1]	1824,7 [154,3] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	1532,4 [139,6]	1614,0 [143,1]	1693,3 [150,0]	1822,2 [154,5]
Potencia media	10N	1809,9 [318,8]	1744,9 [298,9]	1594,3 [343,2]	1522,2 [344,7]
	50N	1826,3 [316,5] <sub>a,c,d</sub>	1756,5 [298,6] <sub>a,d</sub>	1603,9 [343,4] <sub>a,c,d</sub>	1532,7 [344,5] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	1809,7 [319,0]	1750,1 [305,4]	1594,2 [342,5]	1523,0 [344,8]
	10%PS	1844,9 [316,3] <sub>a,b,c,d</sub>	1778,2 [305,8] <sub>a,b,c,d</sub>	1626,7 [356,7] <sub>a,b,c,d</sub>	1553,0 [345,3] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	1810,2 [316,8]	1743,9 [301,0]	1594,3 [341,0]	1525,0 [345,9]
Velocidad media	10N	1,267 [0,138]	1,152 [0,122]	0,991 [0,143]	0,874 [0,153]
	50N	1,278 [0,137] <sub>a,c,d</sub>	1,159 [0,121] <sub>a,d</sub>	0,996 [0,142] <sub>a,c,d</sub>	0,880 [0,153] <sub>a,c</sub>
	1%PS	1,267 [0,138]	1,154 [0,123]	0,991 [0,142]	0,875 [0,153]
	10%PS	1,289 [0,137] <sub>a,b,c,d</sub>	1,171 [0,122] <sub>a,b,c,d</sub>	1,008 [0,146] <sub>a,b,c,d</sub>	0,891 [0,152] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	1,267 [0,137]	1,152 [0,123]	0,991 [0,141]	0,876 [0,153]
Fuerza máxima	10N	1854,3 [125,3]	1947,6 [169,8]	2069,8 [160,3]	2255,2 [161,6]
	50N	1854,3 [125,8]	1947,6 [169,8]	2069,8 [160,3]	2255,4 [161,6]
	1%PS	1854,3 [125,8]	1948,4 [170,5]	2069,8 [160,3]	2255,2 [161,6]
	10%PS	1854,3 [125,8]	1948,4 [170,5]	2072,5 [164,0]	2255,6 [161,7]
	5DSPS	1854,3 [125,8]	1948,2 [169,7]	2069,8 [160,3]	2255,2 [161,6]
Potencia máxima	10N	3547,7 [511,9]	3472,3 [514,6]	3327,8 [574,3]	3262,7 [563,0]
	50N	3574,9 [508,7] <sub>a,c,d</sub>	3490,9 [516,9] <sub>a,d</sub>	3346,9 [574,8] <sub>a,c,d</sub>	3284,9 [559,5] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	3547,5 [512,1]	3479,7 [519,2]	3329,2 [572,6]	3265,0 [563,8]
	10%PS	3602,5 [508,7] <sub>a,b,c,d</sub>	3526,6 [525,6] <sub>a,b,c,d</sub>	3396,0 [607,4] <sub>a,c,d</sub>	3327,2 [558,6] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	3549,2 [509,7]	3475,2 [513,6]	3330,0 [571,2]	3268,7 [565,0]
Velocidad máxima	10N	2,282 [0,200]	2,085 [0,170]	1,850 [0,204]	1,654 [0,212]
	50N	2,299 [0,197] <sub>a,c,d</sub>	2,095 [0,169] <sub>a,d</sub>	1,860 [0,204] <sub>a,c,d</sub>	1,665 [0,209] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	2,282 [0,201]	2,088 [0,171]	1,851 [0,203]	1,655 [0,212]
	10%PS	2,315 [0,196] <sub>a,b,c,d</sub>	2,113 [0,171] <sub>a,b,c,d</sub>	1,880 [0,210] <sub>a,b,c,d</sub>	1,685 [0,207] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	2,283 [0,199]	2,086 [0,169]	1,852 [0,203]	1,657 [0,212]
Tiempo hasta fuerza máxima	10N	0,132 [0,121]	0,156 [0,145]	0,230 [0,157]	0,309 [0,154]
	50N	0,134 [0,122]	0,157 [0,145] <sub>a</sub>	0,231 [0,158] <sub>d</sub>	0,312 [0,155] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	0,132 [0,121]	0,156 [0,144]	0,230 [0,157]	0,310 [0,154]
	10%PS	0,135 [0,123] <sub>a,b,c,d</sub>	0,159 [0,149] <sub>a,c</sub>	0,234 [0,160] <sub>a,b,c,d</sub>	0,317 [0,158] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	0,132 [0,121]	0,157 [0,146]	0,230 [0,157]	0,310 [0,154]
Tiempo hasta potencia máxima	10N	0,265 [0,037]	0,295 [0,053]	0,339 [0,063]	0,381 [0,078]
	50N	0,266 [0,037]	0,296 [0,053] <sub>a,c</sub>	0,341 [0,063] <sub>c,d</sub>	0,384 [0,079] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	0,265 [0,037]	0,294 [0,054]	0,339 [0,063]	0,381 [0,078]
	10%PS	0,268 [0,038] <sub>a,b,c,d</sub>	0,297 [0,054] <sub>c</sub>	0,343 [0,064]	0,389 [0,081] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	0,265 [0,037]	0,295 [0,054]	0,340 [0,063]	0,382 [0,079]
Tiempo hasta velocidad máxima	10N	0,305 [0,035]	0,335 [0,052]	0,379 [0,062]	0,422 [0,078]
	50N	0,307 [0,036]	0,336 [0,052] <sub>a,c</sub>	0,381 [0,063] <sub>c,d</sub>	0,425 [0,079] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	0,305 [0,035]	0,334 [0,053]	0,380 [0,062]	0,423 [0,078]
	10%PS	0,308 [0,037] <sub>a,b,c,d</sub>	0,337 [0,053] <sub>a,c</sub>	0,383 [0,064]	0,431 [0,081] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	0,306 [0,035]	0,336 [0,054]	0,380 [0,063]	0,423 [0,078]
Impulso	10N	203,1 [25,0]	205,9 [26,0]	204,3 [33,6]	196,0 [39,9]
	50N	204,2 [25,0] <sub>a,c,d</sub>	206,6 [26,0] <sub>a,d</sub>	205,4 [33,4] <sub>a,c,d</sub>	197,6 [39,4] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	203,1 [25,0]	206,2 [26,2]	204,5 [33,4]	196,2 [39,9]
	10%PS	205,1 [25,0] <sub>a,b,c,d</sub>	208,2 [26,2] <sub>a,b,c,d</sub>	207,5 [33,8] <sub>a,b,c,d</sub>	200,3 [39,2] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	203,3 [25,0]	205,9 [25,9]	204,5 [33,3]	196,4 [39,8]
Duración de la fase	10N	0,336 [0,038]	0,370 [0,055]	0,419 [0,062]	0,473 [0,082]
	50N	0,338 [0,039]	0,371 [0,055] <sub>a,c</sub>	0,421 [0,063] <sub>c,d</sub>	0,476 [0,083] <sub>a,c,d</sub>
	1%PS	0,336 [0,038]	0,370 [0,055]	0,420 [0,063]	0,473 [0,082]

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

	10%PS	0,339 [0,040] <sub>a,b,c,d</sub>	0,372 [0,056] <sub>a,c</sub>	0,423 [0,064]	0,481 [0,086] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	0,336 [0,038]	0,371 [0,056]	0,420 [0,063]	0,474 [0,082]
	10N	0,424 [0,042]	0,423 [0,041]	0,411 [0,050]	0,405 [0,047]
	50N	0,430 [0,042] <sub>a,c,d</sub>	0,427 [0,042] <sub>a,c,d</sub>	0,415 [0,050] <sub>a,c,d</sub>	0,410 [0,046] <sub>a,c,d</sub>
Desplazamiento	1%PS	0,424 [0,042]	0,423 [0,042]	0,411 [0,049]	0,405 [0,047]
	10%PS	0,435 [0,043] <sub>a,b,c,d</sub>	0,433 [0,045] <sub>a,b,c,d</sub>	0,422 [0,051] <sub>a,b,c,d</sub>	0,419 [0,046] <sub>a,b,c,d</sub>
	5DSPS	0,424 [0,042]	0,424 [0,042]	0,411 [0,049]	0,406 [0,047]

DS, desviación estándar; PS, peso del sistema. a, significativamente mayor que 10N; b, significativamente mayor que 50N; c, significativamente mayor que 1%PS; d, significativamente mayor que 5DSPS ( $P < 0,05$ ; ANOVA con corrección de Bonferroni).

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

### 4.3. Optimización del procedimiento utilizado para evaluar la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical: método de dos puntos

*Estudio 5: Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps.*

○ *Fiabilidad de los parámetros de la relación fuerza-velocidad:*

La fiabilidad de los métodos de dos puntos tendió a disminuir con el uso de cargas más proximales en ambas modalidades de salto (**Tablas 15 y 16**). Sólo se observó una fiabilidad aceptable ( $CV < 10\%$  y  $CCI > 0,70$ ) de los parámetros de la relación fuerza-velocidad para ambas modalidades de salto con el método de múltiples puntos y el método de dos puntos basado en las cargas más distantes (es decir, 0-75 kg). La única excepción fue la pendiente de la relación fuerza-velocidad para el CMJ: CV de 10,9% y 12,1% para el método de múltiples puntos y método de dos puntos de 0-75, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en la fiabilidad entre los métodos de múltiples puntos y los métodos de dos puntos más distantes (es decir, 0-60 y 0-75 kg) para el ejercicio SJ (**Tabla 15**), así como entre el método de múltiples puntos y el método de dos puntos de 0-75 para el ejercicio CMJ (**Tabla 16**).

○ *Validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad:*

La relación fuerza-velocidad registrada a partir del método de múltiples puntos fue altamente lineal cuando se obtuvo a partir de los datos promediados entre los participantes ( $r \geq 0,99$ ) o de los datos individuales de fuerza y velocidad ( $r = 0,99$  [0,97, 1,00] para SJ;  $r = 0,98$  [0,95, 0,99] para CMJ). Como consecuencia de la alta linealidad informada, las relaciones fuerza-velocidad obtenidas de los métodos de dos puntos (particularmente los métodos de dos puntos de 0-60 y 0-75) se superponen considerablemente con la relación fuerza-velocidad obtenida del método de múltiples puntos (**Figura 4**).

La validez concurrente de los parámetros de relación fuerza-velocidad obtenidos de los métodos de dos puntos tendió a disminuir con el uso de cargas más proximales (0-17 kg < 0-30 kg < 0-45 kg < 0-60 kg = 0-75 kg) (**Tabla 17**). Solo los dos métodos de dos puntos más distantes (es decir, 0-60 kg y 0-75 kg) proporcionaron correlaciones prácticamente perfectas ( $0,91 \leq r \leq 0,98$ ) así como pequeñas diferencias en sus magnitudes ( $ES \leq 0,23$ ) con respecto al método de múltiples puntos.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

○ *Cambio en la altura de salto después del procedimiento de prueba:*

Se observaron disminuciones significativas en la altura de salto sin carga después de los procedimientos de prueba realizados con los ejercicios SJ y CMJ (**Figura 9**). No se observaron correlaciones significativas entre el cambio en la altura del salto sin carga y la magnitud de los parámetros de relación fuerza-velocidad con la única excepción de  $V_0$  durante el procedimiento de prueba SJ ( $P = 0,022$ ,  $r = 0,54$ ) (**Figura 9**).

**Tabla 15.** Magnitud y fiabilidad de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por el método de múltiples puntos y los métodos de dos puntos seleccionados durante el ejercicio de salto vertical sin contramovimiento.

Métodos	Parámetros	Sesión 1	Sesión 2	CV (IC 95%)	CCI (CI 95%)
Múltiples puntos	$F_0$	3310 ± 326	3426 ± 370	3,61 (2,71, 5,41)	0,89 (0,74, 0,96)
	$V_0$	5,45 ± 0,53	5,39 ± 0,53	5,17 (3,88, 7,75)	0,74 (0,43, 0,90)
	$P_{max}$	4506 ± 566	4592 ± 503	3,39 (2,54, 5,08)	0,93 (0,82, 0,97)
	$a$	614 ± 94	645 ± 120	8,62 (6,47, 12,9)	0,77 (0,48, 0,91)
Dos puntos 0-75 kg	$F_0$	3314 ± 341	3439 ± 399	3,39 (2,54, 5,08)	0,92 (0,79, 0,97)
	$V_0$	5,49 ± 0,54	5,41 ± 0,51	5,34 (4,01, 8,01)	0,72 (0,39, 0,88)
	$P_{max}$	4537 ± 545	4625 ± 476	4,04 (3,03, 6,05)	0,88 (0,72, 0,95)
	$a$	611 ± 102	645 ± 122	8,06 (6,05, 12,1)	0,82 (0,57, 0,93)
Dos puntos 0-60 kg	$F_0$	3332 ± 348	3393 ± 381	5,36 (4,02, 8,04)	0,78 (0,50, 0,91)
	$V_0$	5,46 ± 0,57	5,50 ± 0,58	6,47 (4,86, 9,71)	0,65 (0,28, 0,85)
	$P_{max}$	4533 ± 530	4640 ± 482	3,72 (2,79, 5,57)	0,90 (0,75, 0,96)
	$a$	619 ± 108	627 ± 123	11,6 (8,71, 17,41)	0,63 (0,25, 0,85)
Dos puntos 0-45 kg	$F_0$	3243 ± 438	3382 ± 355	6,71 (5,04, 10,1)*	0,71 (0,38, 0,88)*
	$V_0$	5,68 ± 0,60	5,52 ± 0,65	9,56 (7,17, 14,3)*	0,29 (-0,19, 0,66)*
	$P_{max}$	4568 ± 524	4636 ± 484	4,35 (3,26, 6,52)	0,86 (0,66, 0,94)
	$a$	582 ± 127	624 ± 110	15,4 (11,6, 23,12)*	0,41 (-0,06, 0,73)*
Dos puntos 0-30 kg	$F_0$	3258 ± 533	3291 ± 567	8,44 (6,34, 12,7)*	0,77 (0,48, 0,91)
	$V_0$	5,79 ± 0,98	5,85 ± 0,91	11,0 (8,24, 16,5)*	0,57 (0,15, 0,81)
	$P_{max}$	4628 ± 591	4717 ± 453	4,92 (3,69, 7,37)	0,83 (0,60, 0,93)
	$a$	589 ± 178	587 ± 183	19,4 (14,6, 29,1)*	0,62 (0,24, 0,84)
Dos puntos 0-17 kg	$F_0$	4228 ± 4497	3168 ± 805	81,9 (61,5, 122,8)*	0,13 (-0,35, 0,55)*
	$V_0$	6,40 ± 2,10	7,60 ± 5,16	45,5 (34,1, 68,2)*	0,37 (-0,11, 0,70)*
	$P_{max}$	5415 ± 2084	5383 ± 1925	37,5 (28,1, 56,1)*	-0,02 (-0,47, 0,44)*
	$a$	1027 ± 2008	541 ± 285	173,9 (130,5, 260,7)*	0,10 (-0,37, 0,53)*

$F_0$ , fuerza máxima teórica (N);  $V_0$ , velocidad máxima teórica (m·s<sup>-1</sup>);  $P_{max}$ , potencia máxima teórica (W);  $a$ , pendiente de la relación fuerza-velocidad (N·s·m<sup>-1</sup>); CV, coeficiente de variación; IC 95%, intervalo de confianza al 95%; CCI, coeficiente de correlación intraclase; \*, por debajo (CCI) o por encima (CV) del CI 95% observado para el método de múltiples puntos.

**Tabla 16.** Magnitud y fiabilidad de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos por el método de múltiples puntos y los métodos de dos puntos seleccionados durante el ejercicio de salto vertical sin contramovimiento.

Métodos	Parámetros	Sesión 1	Sesión 2	CV (IC 95%)	CCI (CI 95%)
Múltiples puntos	$F_0$	3253 ± 343	3219 ± 289	3,91 (2,94, 5,87)	0,86 (0,66, 0,94)
	$V_0$	5,84 ± 1,11	5,96 ± 1,07	6,62 (4,96, 9,92)	0,72 (0,72, 0,96)
	$P_{max}$	4684 ± 563	4743 ± 547	3,31 (2,48, 4,96)	0,82 (0,82, 0,97)
	$a$	579 ± 135	558 ± 114	10,9 (8,14, 16,3)	0,78 (0,50, 0,91)
Dos puntos 0-75 kg	$F_0$	3268 ± 375	3280 ± 327	4,26 (3,20, 6,39)	0,86 (0,66, 0,94)
	$V_0$	5,95 ± 1,05	5,91 ± 1,01	8,28 (6,21, 12,4)	0,79 (0,53, 0,92)
	$P_{max}$	4799 ± 552	4795 ± 540	4,82 (3,62, 7,23)	0,84 (0,62, 0,94)
	$a$	570 ± 137	572 ± 117	12,1 (9,08, 18,2)	0,73 (0,41, 0,89)
Dos puntos 0-60 kg	$F_0$	3213 ± 322	3144 ± 249	5,16 (3,87, 7,74)	0,70 (0,36, 0,88)
	$V_0$	6,07 ± 1,07	6,24 ± 1,19	10,3 (7,70, 15,4)*	0,71 (0,38, 0,88)*
	$P_{max}$	4815 ± 561	4855 ± 627	5,56 (4,18, 8,34)*	0,82 (0,57, 0,93)*
	$a$	550 ± 134	522 ± 108	14,9 (11,2, 22,4)	0,59 (0,19, 0,83)
Dos puntos 0-45 kg	$F_0$	3068 ± 367	3089 ± 247	7,53 (5,65, 11,3)*	0,48 (0,03, 0,77)*
	$V_0$	6,52 ± 1,25	6,58 ± 1,29	14,6 (11,0, 21,9)*	0,46 (0,00, 0,76)*
	$P_{max}$	4926 ± 658	4940 ± 689	7,45 (5,59, 11,2)*	0,73 (0,40, 0,89)*
	$a$	495 ± 142	482 ± 112	21,2 (15,9, 31,8)*	0,36 (-0,11, 0,70)*
Dos puntos 0-30 kg	$F_0$	2926 ± 376	2979 ± 380	9,98 (7,39, 14,8)*	0,43 (-0,03, 0,74)*
	$V_0$	7,08 ± 1,61	7,45 ± 3,09	30,0 (22,5, 45,0)*	0,23 (-0,25, 0,62)*
	$P_{max}$	5080 ± 814	5308 ± 1310	17,2 (12,9, 25,8)*	0,35 (-0,13, 0,69)*
	$a$	442 ± 151	459 ± 169,1	28,5 (21,4, 42,7)*	0,38, (-0,09, 0,71)*
Dos puntos 0-17 kg	$F_0$	2693 ± 598,2	3034 ± 702	21,0 (15,8, 31,5)*	0,16 (-0,32, 0,57)*
	$V_0$	13,46 ± 18,31	9,36 ± 8,07	103,8 (77,9, 155,6)*	0,32 (-0,16, 0,68)*
	$P_{max}$	7823 ± 8103	6218 ± 3513	75,2 (56,4, 112,7)*	0,30 (-0,18, 0,67)*
	$a$	352 ± 244	481 ± 289	59,7 (44,8, 89,5)*	0,14 (-0,33, 0,56)*

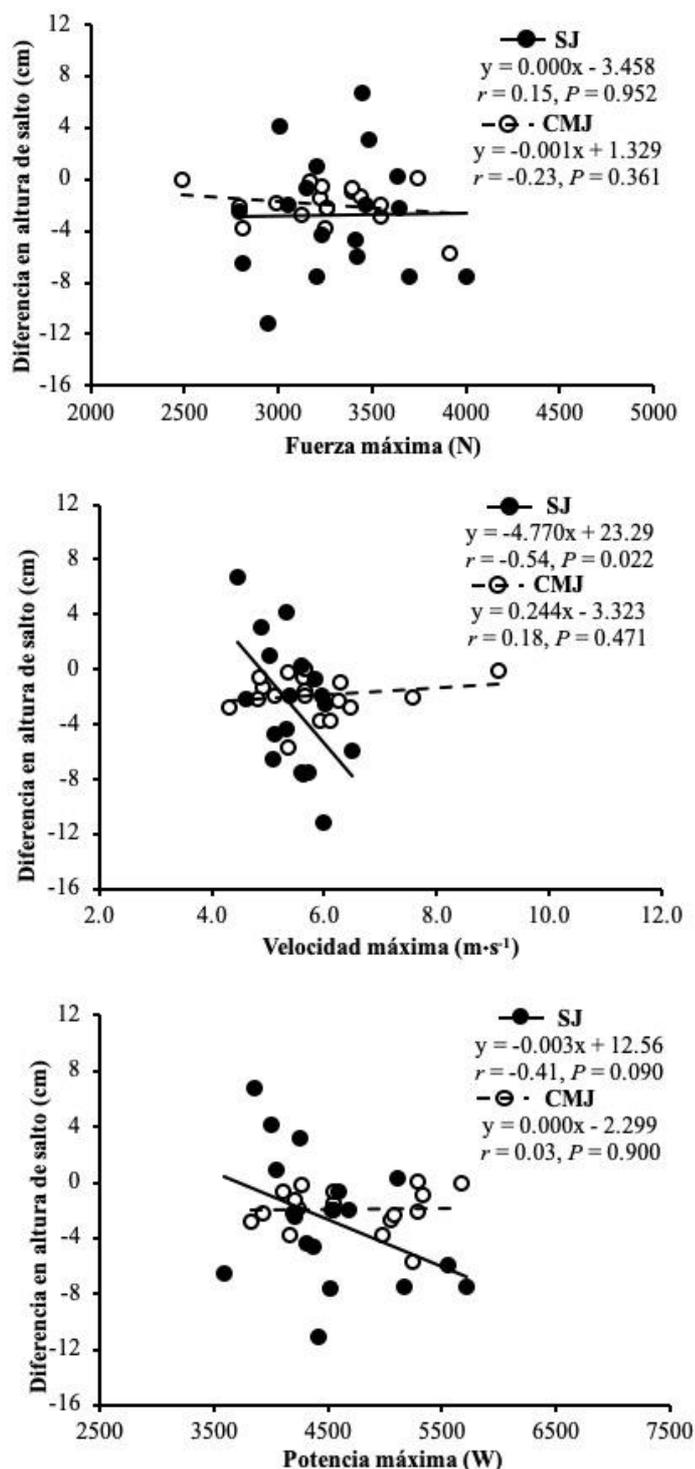
$F_0$ , fuerza máxima teórica (N);  $V_0$ , velocidad máxima teórica (m·s<sup>-1</sup>);  $P_{max}$ , potencia máxima teórica (W);  $a$ , pendiente de la relación fuerza-velocidad (N·s·m<sup>-1</sup>); CV, coeficiente de variación; IC 95%, intervalo de confianza al 95%; CCI, coeficiente de correlación intraclase; \*, por debajo (CCI) o por encima (CV) del CI 95% observado para el método de múltiples puntos.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Tabla 17.** Comparación de los parámetros de la relación fuerza-velocidad entre el método de múltiples p... seleccionados durante los ejercicios de salto vertical sin contramovimiento (SJ) y salto vertical con contramo...

Método de dos puntos	Parámetros	SJ						
		<i>P</i>	DME	<i>r</i> (95% CI)	Sesgo (LA 95%)	<i>P</i>	DME	<i>r</i> (95% CI)
0-75 kg	<i>F</i> <sub>0</sub>	0,871	-0,01	0,97 (0,92, 0,99)	-3,5 (-178,7, 171,7)	0,510	-0,04	0,97 (0,92, 0,99)
	<i>V</i> <sub>0</sub>	0,316	-0,07	0,91 (0,77, 0,97)	-0,04 (-0,50, 0,42)	0,151	-0,11	0,96 (0,92, 0,99)
	<i>P</i> <sub>max</sub>	0,219	-0,06	0,98 (0,95, 0,99)	-30,9 (-251,5, 189,7)	0,003	-0,21	0,97 (0,92, 0,99)
	<i>a</i>	0,531	0,03	0,92 (0,79, 0,97)	2,7 (-77,6, 83,0)	0,367	0,07	0,95 (0,92, 0,99)
0-60 kg	<i>F</i> <sub>0</sub>	0,393	-0,07	0,97 (0,92, 0,99)	-22,0 (-199,4, 155,4)	0,100	0,12	0,96 (0,92, 0,99)
	<i>V</i> <sub>0</sub>	0,505	-0,02	0,90 (0,75, 0,96)	-0,01 (-0,50, 0,48)	0,006	-0,21	0,96 (0,92, 0,99)
	<i>P</i> <sub>max</sub>	0,884	-0,05	0,98 (0,95, 0,99)	-26,4 (-237,1, 184,2)	0,001	-0,23	0,97 (0,92, 0,99)
	<i>a</i>	0,840	-0,05	0,92 (0,79, 0,97)	-5,5 (-86,8, 75,9)	0,006	0,22	0,96 (0,92, 0,99)
0-45 kg	<i>F</i> <sub>0</sub>	0,122	0,18	0,87 (0,68, 0,95) <sub>a,b</sub>	67,5 (-371,9, 506,9)	0,001	0,52	0,83 (0,68, 0,95)
	<i>V</i> <sub>0</sub>	0,067	-0,40	0,59 (0,17, 0,83) <sub>a,b</sub>	-0,22 (-1,24, 0,79)	0,002	-0,58	0,79 (0,17, 0,83)
	<i>P</i> <sub>max</sub>	0,260	-0,11	0,97 (0,92, 0,99)	-61,6 (-334,7, 211,6)	0,003	-0,40	0,89 (0,92, 0,99)
	<i>a</i>	0,311	0,29	0,69 (0,33, 0,88) <sub>a,b</sub>	31,6 (-149,5, 212,8)	0,001	0,61	0,80 (0,33, 0,88)
0-30 kg	<i>F</i> <sub>0</sub>	0,078	0,12	0,78 (0,49, 0,91) <sub>a,b</sub>	52,0 (-623,4, 727,4)	0,001	0,91	0,58 (0,49, 0,91)
	<i>V</i> <sub>0</sub>	0,036	-0,44	0,47 (0,00, 0,77) <sub>a,b</sub>	-0,33 (-2,02, 1,36)	0,002	-0,91	0,46 (0,00, 0,77)
	<i>P</i> <sub>max</sub>	0,083	-0,22	0,92 (0,79, 0,97) <sub>a,b</sub>	-121,9 (-568,4, 324,6)	0,009	-0,57	0,72 (0,79, 0,97)
	<i>a</i>	0,785	0,18	0,57 (0,14, 0,82) <sub>a,b</sub>	24,9 (-260,8, 310,6)	< 0,001	0,96	0,56 (0,14, 0,82)
0-17 kg	<i>F</i> <sub>0</sub>	0,584	-0,38	0,22 (-0,28, 0,62) <sub>a,b,c,d</sub>	-917,6 (-9614,1, 7779,0)	0,001	1,19	0,30 (-0,28, 0,62)
	<i>V</i> <sub>0</sub>	0,165	-0,72	0,22 (-0,28, 0,62) <sub>a,b</sub>	-0,95 (-4,97, 3,07)	0,097	-0,78	0,21 (-0,28, 0,62)
	<i>P</i> <sub>max</sub>	0,479	-0,69	0,12 (-0,37, 0,56) <sub>a,b,c,d</sub>	-908,7 (-5011,6, 3194,2)	0,119	-0,72	0,19 (-0,37, 0,56)
	<i>a</i>	0,001	-0,39	0,30 (-0,19, 0,67) <sub>a,b,c</sub>	-413,0 (-4299,4, 3473,3)	0,001	1,20	0,30 (-0,19, 0,67)

*F*<sub>0</sub>, fuerza máxima teórica (N); *V*<sub>0</sub>, velocidad máxima teórica (m·s<sup>-1</sup>); *P*<sub>max</sub>, potencia máxima teórica (W); *a*, por debajo del IC del 95% CI observado para el método 0-75 kg; *b*, por debajo del IC del 95% CI observado para el método 0-60 kg; *c*, por debajo del IC del 95% CI observado para el método 0-45 kg; *d*, por debajo del IC del 95% CI observado para el método 0-30 kg.



**Figura 9.** Relación entre los cambios en la altura de salto sin carga y la fuerza máxima (panel superior), la velocidad máxima (panel central) y la potencia máxima (panel inferior) durante los ejercicios de salto vertical sin contramovimiento (SJ; línea recta y puntos rellenos) y salto vertical con contramovimiento (CMJ; línea discontinua y puntos vacíos).  $r$ , coeficiente de correlación de Pearson.

## 5. DISCUSIÓN

A continuación, se discuten los principales resultados de cada estudio que compone la presente Tesis Doctoral con respecto a los hallazgos previos reportados en la literatura científica:

***Estudio I:** Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.*

El presente estudio fue diseñado para comparar la fiabilidad y la magnitud del rendimiento de la altura de salto entre dos procedimientos estándar de análisis de datos registrados por una plataforma de fuerza para estimar la altura del salto (velocidad de despegue y tiempo de vuelo) en el ejercicio SJ sobrecargado realizado con una barra libre y con un pódico guiado. Nuestra primera hipótesis fue parcialmente rechazada. Es decir, si bien no se observaron diferencias significativas en la fiabilidad entre los dos procedimientos (CV ratio < 1,15), el pódico guiado proporcionó un rendimiento de altura de salto con mayor fiabilidad que la barra libre (CV ratio > 1,15). Nuestra segunda hipótesis se confirmó ya que el procedimiento basado en la velocidad de despegue proporcionó mayores magnitudes de altura de salto que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo para el SJ sobrecargado realizado con un pódico guiado. No se observaron diferencias significativas entre ambos procedimientos en el ejercicio SJ realizado con una barra libre. Tomando estos resultados en conjunto, se recomienda el uso de un pódico guiado junto con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo para determinar con precisión el rendimiento de la altura en el SJ sobrecargado.

Los procedimientos basados en la velocidad de despegue y en el tiempo de vuelo evaluados en el presente estudio se han utilizado rutinariamente para estimar el rendimiento de altura de salto a partir de los datos de FRVS registrados por una plataforma de fuerza (Chamari, 2004; García-Ramos et al., 2015; McMahon, Jones, & Comfort, 2016). De interés para los profesionales del deporte sería tratar de identificar cuál de los dos procedimientos estándar les permite detectar cambios en el rendimiento de altura de salto con mayor precisión. Debido a la influencia de la técnica de salto, especialmente durante el aterrizaje, planteamos la hipótesis de que el procedimiento basado en la velocidad de despegue proporcionaría una altura de salto con mayor fiabilidad que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo. Esta hipótesis fue rechazada ya que CV ratio que compara la fiabilidad absoluta (es decir, los valores CV) entre ambos procedimientos no excedió la relación de 1,15. Moir et al. (2009) informaron una fiabilidad ligeramente mayor para el procedimiento basado en la velocidad de despegue (CV =

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza (2,1% en hombres y 2,2% en mujeres) que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo (CV = 2,3% en hombres y 2,6% en mujeres) (CV ratio = 1,10 para hombres y 1,18 para mujeres) durante el CMJ descargado. Contrariamente a Moir et al. (2009), nuestros resultados sugieren que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo podría ser un poco más fiable que el procedimiento basado en la velocidad de despegue en el SJ sobrecargado (CV ratio = 1,14). Este resultado contradictorio puede explicarse porque la determinación exacta del inicio del movimiento de salto, que debe determinarse adecuadamente para estimar con precisión la altura de salto a partir del procedimiento basado en la velocidad de despegue, es más difícil de determinar en el SJ (los sujetos comienzan el salto manteniendo una posición isométrica de sentadilla a 90°) que en el CMJ (los sujetos inician el salto desde una posición extendida). Este problema podría acentuarse aún más en el SJ sobrecargado ya que los sujetos tienen que mantener la posición de sentadilla a 90° con la carga externa sobre sus hombros.

Dado que el SJ sobrecargado se ha evaluado indistintamente con una barra libre o con un pórtico guiado, intentamos aclarar si uno de los dos tipos de SJ es más fiable que el otro. Nuestra hipótesis se confirmó ya que el pórtico guiado, que sólo permite un desplazamiento vertical de la barra a lo largo de un movimiento fijo, proporcionó un rendimiento de altura de salto con una mayor fiabilidad que la barra libre. La mayor fiabilidad observada con el uso de un pórtico guiado podría explicarse por la reducción en la redundancia cinemática que podría permitir una técnica de ejecución más reproducible. Es importante señalar que las mayores diferencias en fiabilidad se observaron con las cargas más pesadas. Es plausible que la necesidad de tener que equilibrar las cargas pesadas antes del inicio del movimiento del salto (a 90° de flexión de la rodilla) se minimice con un pórtico guiado en comparación con una barra libre. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el uso de un pórtico guiado presenta algunas limitaciones relevantes (ej., alto costo, pobre versatilidad, menor validez ecológica, etc.) que limitan su uso a condiciones de laboratorio. También es plausible que con sujetos más entrenados (atletas de alto nivel) se hubieran presentado diferencias más bajas en la fiabilidad entre el pórtico guiado y la barra libre (Aragón-Vargas & Gross, 1997). Aunque se precisan más estudios para aclarar estos supuestos, al probar la altura del SJ sobrecargado con sujetos poco experimentados, se podría recomendar el uso de un pórtico guiado.

También examinamos las diferencias en la magnitud del rendimiento de altura de salto entre los procedimientos basados en la velocidad de despegue y en el tiempo de vuelo por separado para cada tipo de SJ. Nuestra segunda hipótesis se confirmó ya que la altura de salto no difirió entre ambos procedimientos en el ejercicio SJ sobrecargado con una barra libre,

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza mientras que el procedimiento basado en la velocidad de despegue sobreestimó la altura de salto en comparación con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo en el ejercicio SJ sobrecargado en un pórtico guiado. El efecto de la fuerza de fricción con los dos cojinetes lineales de las barras verticales del pórtico guiado podría haber causado una sobreestimación de la velocidad de despegue y, en consecuencia, del rendimiento de la altura de salto (García-Ramos, Stirn, et al., 2016). Es plausible que las fuerzas de fricción resultaron en un mayor tiempo de propulsión, incrementando así el impulso vertical neto y, por lo tanto, la velocidad de despegue. La sobreestimación del rendimiento de la altura de salto mediante el procedimiento basado en la velocidad de despegue se acentuó bajo cargas externas más pesadas, lo que puede ser consecuencia de un mayor tiempo de ejecución del salto. Por lo tanto, los practicantes deportivos deberían saber que el verdadero rendimiento de la altura de salto se puede sobreestimar con un pórtico guiado cuando se utiliza el procedimiento basado en la velocidad de despegue. La magnitud de la sobreestimación podría estar directamente relacionada con la fuerza de fricción impuesta por los dos cojinetes lineales del pórtico guiado.

Recientemente se ha propuesto un simple método de campo, que utiliza la altura de salto como variable de entrada (junto con la distancia de empuje y la masa del sistema) para evaluar las capacidades mecánicas de los músculos de la parte inferior del cuerpo a través de saltos verticales sobrecargados (Samozino et al., 2008). Los perfiles individuales de fuerza-velocidad se pueden determinar mediante la aplicación de múltiples saltos verticales sobrecargados (generalmente de 4 a 6 cargas externas) que proporcionan un amplio rango de datos de fuerza y velocidad. Se ha propuesto que cada individuo presenta un perfil óptimo de fuerza-velocidad que maximice el rendimiento balístico (Samozino et al., 2012). En este sentido, un programa de entrenamiento dirigido individualmente para reducir el déficit de fuerza o velocidad de un atleta ha demostrado ser efectivo para mejorar el rendimiento balístico (Jiménez-Reyes et al., 2017). Como lo demuestran Jiménez-Reyes et al. (2017), nuestros resultados sugieren que la combinación más fiable para obtener la relación fuerza-velocidad podría ser a través de la altura de salto obtenida del procedimiento basado en el tiempo de vuelo y realizado en un pórtico guiado. De especial relevancia es la considerable sobreestimación de la altura de salto por el procedimiento basado en la velocidad de despegue junto con el incremento progresivo de la carga (ver **Figura 5**). Esto implica que el modelado de la relación fuerza-velocidad a través del teorema del impulso-momento en saltos verticales realizados con un pórtico guiado podría proporcionar diferentes perfiles de fuerza-velocidad (más orientados hacia la capacidad de fuerza) que el que se podría obtener a partir de las ecuaciones propuestas

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza por Samozino que utilizan el procedimiento basado en el tiempo de vuelo (Samozino et al., 2012; Samozino et al., 2008).

***Estudio 2: Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.***

El presente estudio fue diseñado para comparar la fiabilidad y la magnitud de la altura de salto entre los dos procedimientos estándar de análisis de datos de fuerza-tiempo con una plataforma de fuerza (velocidad de despegue y tiempo de vuelo) durante el ejercicio de CMJ sobrecargado realizado con una barra de peso libre y en un pórtico guiado. Cabe señalar que el procedimiento más fiable para estimar la altura del salto dependía del tipo de CMJ. Es decir, si bien no se identificaron diferencias significativas entre ambos procedimientos durante el CMJ realizado con una barra libre, el procedimiento basado en el tiempo de vuelo fue más fiable durante el CMJ realizado en un pórtico guiado. El análisis de Bland-Altman sugirieron triviales diferencias y ausencia de heterocedasticidad para las magnitudes de altura de salto obtenidas por ambos procedimientos. Finalmente, también se debe tener en cuenta que el error aleatorio entre ambos procedimientos fue más prominente para el CMJ realizado en un pórtico guiado. En conjunto, estos resultados sugieren que el uso de un pórtico guiado junto con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo debería proporcionar la medición más fiable del rendimiento de altura de salto en el CMJ sobrecargado.

Estudios anteriores han revelado una alta fiabilidad ( $CV < 5,0\%$ ,  $CCI > 0,87$ ) de la altura del CMJ descargado cuando se obtiene de los procedimientos basados en la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo (Cormack et al., 2008; Moir et al., 2009). Nuestros resultados corroboran estos hallazgos durante el ejercicio CMJ sobrecargado, aunque debe tenerse en cuenta que la fiabilidad disminuyó con el incremento de la carga. También buscamos determinar cuál de los dos procedimientos estándar permite la determinación del rendimiento de altura del CMJ sobrecargado con mayor fiabilidad. En línea con los hallazgos obtenidos por Pérez-Castilla et al. (2017) durante el SJ sobrecargado, los resultados del presente estudio revelaron que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo junto con el uso de un pórtico guiado también fue la combinación más fiable para estimar la altura del CMJ sobrecargado. Por otro lado, ambos procedimientos pudieron estimar la altura de salto con una fiabilidad similar durante el CMJ sobrecargado realizada con una barra de peso libre. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que el procedimiento basado en la velocidad de despegue no debe

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza usarse para estimar la altura de salto durante el CMJ realizado en un pórtico guiado. Este resultado probablemente se deba al hecho de que la fuerza de fricción con los cojinetes lineales del pórtico guiado puede comprometer la precisión del teorema del impulso-momento para estimar la altura de salto (García-Ramos, Stirn, et al., 2016; Pérez-Castilla et al., 2017).

La magnitud de la altura de salto fue similar para el CMJ sobrecargado realizado con una barra de peso libre y en un pórtico guiado. Un estudio previo realizado en el SJ sobrecargado reveló valores más altos de altura de salto cuando fueron obtenidos por el procedimiento basado en la velocidad de despegue en comparación con el basado en el tiempo de vuelo durante el SJ realizado en un pórtico guiado, así como también una mayor heterocedasticidad de los errores (es decir, mayores diferencias con el aumento de las cargas) (Pérez-Castilla et al., 2017). Es plausible que la mayor sobreestimación del rendimiento de altura del SJ bajo cargas externas más pesadas se promoviera por la mayor duración de la fase ascendente (Pérez-Castilla et al., 2017). Por el contrario, los resultados del presente estudio revelaron un sesgo sistemático trivial y ninguna heterocedasticidad de errores entre ambos procedimientos. Si bien la fuerza de fricción con los dos cojinetes lineales de la máquina Smith se propuso como responsable de la sobreestimación de la velocidad de despegue durante el SJ realizado en un pórtico guiado (García-Ramos, Stirn, et al., 2016; Pérez-Castilla et al., 2017), la inclusión en el análisis de la fase descendente durante el CMJ podría haber mitigado esta sobreestimación. Finalmente, tenga en cuenta que el error aleatorio de la altura del CMJ entre ambos procedimientos fue mayor para el CMJ realizado en un pórtico guiado (2,02 cm) en comparación con una barra libre (1,26 cm), lo que podría ser otro indicador de la alta variabilidad del procedimiento basado en el tiempo de vuelo para estimar la altura de salto en un pórtico guiado.

***Estudio 3: Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?***

Este estudio fue diseñado para explorar la influencia del umbral de inicio del movimiento de salto sobre la fiabilidad y magnitud de las diferentes variables de rendimiento reportadas por una plataforma de fuerza durante el SJ descargado y sobrecargado. Apoyando nuestra primera hipótesis, la fiabilidad fue mayor para los dos umbrales más conservadores (50N y 10%PS) y 5DSPS en comparación con los dos umbrales menos conservadores (10N y 1%PS). Se observaron diferencias significativas en la fiabilidad para todas las variables con la

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza excepción de los valores máximos y la altura de salto. Nuestra segunda hipótesis también se confirmó ya que la magnitud de las diferentes variables de rendimiento del SJ obtenidas por los umbrales de 50N y 10%PS diferían significativamente con respecto a los umbrales de 10N y 1%PS (excepto la fuerza pico y el pRFD). La magnitud de las variables que utilizan el umbral 5DSPS fue comparable a los umbrales menos conservadores. Estos resultados sugieren que tanto la fiabilidad como la magnitud de las variables de rendimiento del SJ descargado y sobrecargado pueden estar influenciadas por el umbral de inicio del movimiento de salto. Se debe recomendar el umbral 5DSPS para maximizar la fiabilidad de las variables de rendimiento del SJ, al tiempo que se preserve en los análisis más señal de fuerza que con los umbrales 50N y 10%PS.

El presente estudio tuvo como objetivo examinar exhaustivamente la fiabilidad de las principales variables cinéticas y cinemáticas recopiladas con una plataforma de fuerza durante el SJ descargado y sobrecargado. Independientemente del umbral de inicio del movimiento de salto, los valores máximos de fuerza, potencia y velocidad fueron las únicas variables que informaron una fiabilidad aceptable en todas las condiciones de carga ( $CV < 10\%$  y  $CCI > 0,70$ ). Estos hallazgos están de acuerdo con estudios previos que han demostrado una fiabilidad muy alta para la fuerza máxima ( $CV < 2,8\%$  y  $CCI > 0,96$ ), la velocidad máxima ( $CV < 2,4\%$  y  $CCI > 0,98$ ) y la potencia máxima ( $CV < 4,2\%$  y  $CCI > 0,94$ ) durante el ejercicio SJ realizado contra un rango de cargas externas (García-Ramos, Stirn, et al., 2016; McLellan et al., 2011; Moir et al., 2005). La fiabilidad de las variables restantes fue generalmente menor. El tiempo hasta los valores máximos, los valores medios, el impulso y el tiempo de contacto fueron las variables más afectadas por el umbral de inicio del movimiento de salto. Específicamente, los umbrales menos conservadores (es decir, 10N y 1%PS) deben evitarse para obtener mediciones reproducibles de estas variables durante el ejercicio SJ. Se han informado hallazgos de fiabilidad similares para el tiempo hasta la fuerza máxima ( $CV = 13,2\%$  y  $CCI = 0,88$ ), el aRFD ( $CV$  rango = 4,6-16,9% y  $CCI$  rango = 0,75-0,89) y el pRFD ( $CV$  rango = 12,7-17,1% y  $CCI$  rango = 0,53-0,89) cuando se usó un umbral de 10N para determinar el inicio del movimiento del SJ (McLellan et al., 2011; Moir et al., 2005). La mayor fiabilidad observada en el presente estudio fue para los valores máximos, que no se vio afectada por el umbral de inicio del movimiento de salto, corrobora que los valores máximos deben usarse preferiblemente para evaluar el rendimiento del SJ (Dugan, Doyle, Humphries, Hasson, & Newton, 2004; García-Ramos, Stirn, et al., 2016; Hori et al., 2007). Específicamente, la velocidad máxima podría recomendarse porque es el indicador más sensible para discriminar la capacidad de salto

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza (Jiménez-Reyes, Pareja-Blanco, Rodríguez-Rosell, Marques, & González-Badillo, 2016) y puede presentar una mayor asociación con el rendimiento deportivo (García-Ramos, Tomazin, et al., 2016).

Dado que es razonable esperar una considerable variabilidad en la fase de pesaje debido a la necesidad de mantener una posición isométrica a un ángulo de rodilla de 90°, planteamos la hipótesis de que la fiabilidad de los dos umbrales más conservadores (50N y 10%PS) y 5DSPS sería mayor en comparación a los dos umbrales menos conservadores (10N y 1%PS). Apoyando nuestra primera hipótesis, se observaron diferencias significativas en la fiabilidad para todas las variables con la excepción de los valores máximos y la altura de salto. Meylan et al. (2015) no encontraron diferencias en la fiabilidad para las variables reportadas durante la fase ascendente durante el CMJ descargado entre tres umbrales de inicio del movimiento de salto (2.5%PS, 5%PS y 10%PS). Este resultado aparentemente contradictorio puede explicarse porque los criterios utilizados para determinar el inicio de la fase ascendente durante el CMJ (es decir, cuando la velocidad se volvió positiva) prácticamente no se ven afectados por el umbral de inicio del movimiento de salto. También se debe tener en cuenta que se espera que la variabilidad de la fase de pesaje durante el SJ sea mayor que durante el CMJ debido a las diferentes posiciones adoptadas durante la fase de pesaje (es decir, ángulo de rodilla isométrico a 90° en SJ vs. posición vertical en CMJ). Por lo tanto, es razonable utilizar un umbral de inicio del movimiento más conservador para analizar el SJ en comparación con el CMJ.

Se ha argumentado que la variabilidad de la señal de fuerza-tiempo durante la fase de pesaje debe minimizarse para facilitar la identificación del inicio del movimiento de salto (Chavda et al., 2018; McMahon et al., 2018; Owen et al., 2014). Dado que los umbrales menos conservadores pueden detectar prematuramente el inicio del movimiento de salto y los umbrales más conservadores pueden excluir del análisis la parte inicial del salto, planteamos la hipótesis de que la magnitud de las variables diferiría significativamente entre los umbrales más y menos conservadores. Esta hipótesis se confirmó ya que la magnitud de las diferentes variables del SJ generalmente difería entre los umbrales 50N y el 10%PS y los umbrales 10N y 1%PS. Estos resultados están en línea con los hallazgos de Meylan et al. (2015) quienes encontraron diferencias significativas en todas las variables (excepto para la fuerza máxima y la fuerza a velocidad cero) entre los umbrales de 2.5%PS, 5%PS y 10%PS. Más importante aún, la magnitud de las variables para el umbral 5DSPS fue comparable a los umbrales menos conservadores y difirió significativamente con respecto a los umbrales más conservadores. Por lo tanto, dado que es importante adoptar un umbral constante para fines comparativos (Chavda

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza et al., 2018), se podría recomendar el umbral 5DSPA para evaluar el rendimiento de SJ descargado y sobrecargado realizado a 90° de flexión de rodilla porque retiene más señal de registro de fuerza en comparación con los dos umbrales más conservadores, mientras que proporciona una fiabilidad comparable. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el umbral de 5DSPA puede verse afectado por la condición de carga ya que el DS de la fase de pesaje se acentúa con cargas externas más pesadas y, en consecuencia, una gran parte inicial del salto podría excluirse del análisis al saltar contra cargas externas.

***Estudio 4: Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation.***

El presente estudio exploró la influencia de diferentes umbrales de inicio del movimiento de salto en las variables cinéticas y cinemáticas derivadas del análisis de la plataforma de fuerza durante el ejercicio CMJ sobrecargado. El principal hallazgo fue que el umbral de inicio del movimiento puede influir tanto en la fiabilidad como en la magnitud de las distintas variables de rendimiento del ejercicio CMJ sobrecargado. Específicamente, la fiabilidad de los valores medios de velocidad y potencia, así como las diferentes variables temporales (valores de tiempo hasta fuerza, potencia y velocidad máxima, y duración de fase) fueron mayores para los umbrales 50N, 10%PS y 5DSPA en comparación con los umbrales 10N y 1%PS durante la fase descendente, mientras que se observó una fiabilidad comparable entre los cinco umbrales de inicio del movimiento de salto para todas las variables recopiladas durante la fase ascendente. La magnitud de las variables reportadas durante las fases descendentes y ascendentes para los dos umbrales más conservadores (50N y 10%PS) y 5DSPA generalmente difiere con respecto a los umbrales 10N y 1%PS. Tomados estos hallazgos en conjunto, recomendamos el umbral de 5DSPA ya que es uno de los umbrales (junto con el 50N y el 10%PS) que proporciona una mayor fiabilidad para las variables reportadas durante la fase descendente, mientras que incluye en el análisis más señal de fuerza-tiempo que los umbrales 50N y 10%PS.

Uno de los principales requisitos previos de las pruebas de aptitud es seleccionar un dispositivo de medición y variables de rendimiento que proporcionen una fiabilidad aceptable (Hopkins, 2000). Hasta donde sabemos, este es el estudio más completo que ha examinado la fiabilidad de las diferentes variables de rendimiento del CMJ sobrecargado reportadas con una plataforma de fuerza durante la fase descendente y ascendente. La fuerza media, la fuerza

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza máxima y el impulso fueron las únicas variables que informaron una fiabilidad aceptable ( $CV < 10\%$ ) para todos los umbrales y cargas durante la fase descendente. La fiabilidad de las variables restantes reportadas durante la fase descendente generalmente se vio comprometida por el incremento de la carga o el uso de los umbrales 10N y 1%PS (ver **Tabla 11**). Por otro lado, se informó una fiabilidad aceptable para las diferentes variables reportadas durante la fase ascendente con la excepción del tiempo hasta los valores máximos de fuerza (todos  $CV > 10\%$ ) y potencia (todos  $CV > 10\%$  para 45 y 60 kg). Estos resultados agregan evidencia que apoya el CMJ sobrecargado como una prueba reproducible dentro de las baterías de evaluación del rendimiento balístico de la parte inferior del cuerpo (Jiménez-Reyes et al., 2014; Kitamura et al., 2017; Mundy et al., 2016). Sin embargo, desaconsejamos el uso de cargas externas pesadas ( $> 30$  kg) o un umbral de inicio del movimiento de salto menos conservador (10N y 1%PS) para obtener mediciones reproducibles durante la fase descendente del salto.

Dado que se espera que los umbrales más conservadores (50 N y 10%PS) y el umbral 5DSPS se vean menos afectados por la fluctuación de la FRVS durante la fase de pesaje, nuestra hipótesis fue que la fiabilidad de los umbrales 50N, 10%PS y 5DSPS sería mayor en comparación con los umbrales 10N y 1%PS. Apoyando nuestra primera hipótesis, se observaron diferencias significativas en la fiabilidad para los valores medios de velocidad y potencia durante la fase descendente, así como también para las variables temporales (valores de tiempo hasta fuerza, potencia y velocidad máxima, y duración de fase). En cambio, no se observaron diferencias significativas en la fiabilidad para las variables obtenidas durante la fase ascendente con la única excepción de la potencia media que fue más confiable para el umbral de 50N. Estos resultados están en línea con el estudio de Meylan et al. (2015), quienes revelaron que durante el ejercicio CMJ descargado, la fiabilidad de varias variables reportadas durante la fase descendente (tiempo hasta fuerza y potencia máxima, impulso y tiempo de contacto) aumentó usando umbrales de inicio del movimiento de salto más conservadores (10%PS  $>$  5%PS  $>$  2.5%PS). Es plausible que la fiabilidad de los umbrales menos conservadores pueda verse comprometida por su incapacidad para detectar con precisión el inicio del movimiento. Por lo tanto, el punto de inicio del análisis de salto debe detectarse preferiblemente por medio de los umbrales 50N, 10%PS o 5DSPS en un intento de maximizar la fiabilidad de las variables reportadas durante la fase descendente, mientras que el umbral de inicio de salto seleccionado no influye significativamente sobre la fiabilidad de las variables reportadas durante la fase ascendente.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

De manera similar, debido a que el uso de los dos umbrales más conservadores puede excluir del análisis una parte significativa de la fase descendente y los umbrales menos conservadores pueden detectar prematuramente el inicio del movimiento, planteamos la hipótesis de que la magnitud de las variables diferiría significativamente entre los umbrales más y menos conservadores. Esta hipótesis se confirmó ya que la magnitud de las variables generalmente difería entre los umbrales de 50N y 10%PS en comparación con los umbrales de 10N y 1%PS. En general, la magnitud de las variables para el umbral 5DPS varió entre los valores observados para los umbrales más y menos conservadores. Apoyando los hallazgos previos de Meylan et al. (2015), nuestros resultados revelaron que los dos umbrales más conservadores y 5DPS subestimaron las variables obtenidas durante la fase descendente (excepto la velocidad y potencia media), pero sobreestimaron las variables obtenidas durante la fase ascendente. Por lo tanto, los investigadores y los profesionales del deporte deben ser prudentes al interpretar los hallazgos de estudios anteriores debido a la diversidad de las metodologías adoptadas para determinar el umbral de inicio del movimiento de salto (Giroux et al., 2015; Meylan et al., 2011; Owen et al., 2014). Dado que es necesario adoptar un umbral constante para fines comparativos, recomendamos el umbral de 5DPS ya que retiene más señal para el análisis en comparación con los dos umbrales más conservadores que proporcionan una fiabilidad comparable. Cabe señalar que el umbral 5DPS estaba más cerca de los dos umbrales menos conservadores por dos razones principales: 1) la baja variabilidad de la FRVS ( $DS$  [rango] =  $3,6 \pm 1,3$  N [0,6-6,6 N]) durante la fase de pesaje, y 2) el inicio del movimiento se definió 30 ms antes de que la señal de FRVS excediera 5 veces la DS del PS, según lo recomendado por Owen et al. (2014). Los estudios futuros deberían investigar si se obtienen hallazgos similares en otras poblaciones, así como en otros tipos de salto vertical comúnmente utilizados para probar el rendimiento balístico de la parte inferior del cuerpo.

***Estudio 5: Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps.***

El presente estudio fue diseñado para explorar (I) la fiabilidad y validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos a partir del método de dos puntos variando la distancia entre puntos experimentales con respecto al método de múltiples puntos durante dos modalidades de salto (SJ y CMJ), así como (II) para examinar el efecto de un procedimiento de prueba de salto vertical basado en múltiples cargas en la altura de salto sin carga. Apoyando la primera hipótesis, el método de dos puntos obtenido a partir de las dos

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza cargas más distantes (es decir, 0-75 kg) reveló una fiabilidad comparable y una alta validez concurrente con respecto al método de múltiples puntos. Sin embargo, tanto la fiabilidad como la validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad tendieron a disminuir gradualmente con el uso de cargas más proximales. La segunda hipótesis también se confirmó ya que la altura de salto sin carga se redujo significativamente después de los procedimientos de prueba SJ y CMJ. Colectivamente, estos resultados respaldan el uso del método de dos puntos basado en cargas distantes para probar la función muscular de la parte inferior del cuerpo a través de los saltos verticales.

El requisito básico para la aplicación previa del método de dos puntos es que la relación fuerza-velocidad debe ser fuerte y, como consecuencia, altamente lineal (Jaric, 2016). De acuerdo con estudios previos realizados con saltos verticales, la relación fuerza-velocidad modelada a partir de los datos de fuerza y velocidad registrados bajo seis condiciones de carga (0–17–30–45–60–75 kg) fue altamente lineal ( $r > 0,98$ ) para el SJ y CMJ (Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2016; Samozino et al., 2014). Debido a la alta linealidad esperada de la relación fuerza-velocidad, planteamos la hipótesis de que los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos del método de dos puntos, especialmente cuando se basan en las dos cargas más distantes (es decir, 0-75 kg), serían fiables y válidos en comparación con el método de múltiples puntos. Nuestros resultados están en línea con estudios previos que muestran que el método de dos puntos basado en los puntos de datos más distantes proporciona a los parámetros de la relación fuerza-velocidad una fiabilidad y una alta validez con respecto al método de múltiples puntos en varios movimientos de multiarticulaciones, como en cicloergómetro de piernas, press de banca, entre otros (García-Ramos, Torrejón, et al., 2018; Pérez-Castilla et al., 2018; Zivkovic et al., 2017). Sin embargo, los resultados también confirman que la selección de las dos cargas particulares para la aplicación del método de dos puntos con respecto a su magnitud como a la distancia entre ellas influye significativamente tanto en la fiabilidad como en la validez de los parámetros de la relación fuerza-velocidad (García-Ramos & Jaric, 2018).

Hasta donde sabemos, solo dos estudios previos han examinado el efecto de la distancia entre los puntos experimentales sobre la fiabilidad y la validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad obtenidos del método de dos puntos. Pérez-Castilla et al. (2018) descubrieron que la fiabilidad y la validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad durante el ejercicio de press de banca lanzado tendían a disminuir con la proximidad entre los puntos experimentales (40–50% < 30–60% < 20–70% de la repetición máxima). Del mismo modo, García-Ramos et al. (2018) mostraron que se deberían considerar dos cargas

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza distantes en el ejercicio de cicloergómetro de piernas para maximizar la fiabilidad de los parámetros de la relación de fuerza-velocidad, pero evitando resistencias muy altas que proporcionan cadencias inferiores a 110 rpm ya que su menor fiabilidad podría comprometer la precisión de la relación fuerza-velocidad. Nuestros resultados están en línea con los hallazgos anteriores, ya que tanto la fiabilidad como la validez concurrente de los parámetros de la relación fuerza-velocidad tendieron a disminuir con la proximidad entre los puntos experimentales. En este sentido, se deben considerar dos cargas distantes para maximizar la fiabilidad de la relación fuerza-velocidad durante las dos modalidades de salto evaluadas (SJ y CMJ). Sin embargo, dado que la fiabilidad de la altura de salto es notablemente menor cuando se prueba contra cargas externas pesadas que no permiten una altura de salto superior a 10 cm (Perez-Castilla, Garcia-Ramos, Pérez-Castilla, & García-Ramos, 2018; Pérez-Castilla et al., 2017), recomendamos que el método de dos puntos durante los saltos verticales se base en un salto sin carga (condición de mínima carga posible) y una carga pesada que permita una altura de salto ligeramente superior a 10 cm. Una carga asociada con una altura de salto de 10 cm proporcionaría un punto experimental cercano a  $F_0$ , mientras que las cargas más pesadas podrían comprometer la fiabilidad de las variables mecánicas (es decir, valores de fuerza, velocidad o altura de salto) y, a su vez, la precisión del modelaje de la relación fuerza-velocidad. También debe tenerse en cuenta que el uso de dos cargas más proximales (ej., 0-17 kg, 0-30 kg y 0-45 kg) conduce a resultados inconsistentes y sesgos significativos.

Finalmente, dado que el procedimiento de prueba de salto vertical de rutina utilizado para determinar la relación la fuerza-velocidad se basa en múltiples condiciones de carga (ej., 6 cargas en el presente estudio), planteamos la hipótesis de que este procedimiento induciría fatiga. Para respaldar esta hipótesis, se observó una pérdida de altura de salto sin carga significativa después de cada procedimiento de prueba a pesar de proporcionar largos intervalos de descanso (3-4 min) entre las diferentes pruebas. Aunque la magnitud de la disminución en la altura de salto fue comparable para los procedimientos de prueba SJ y CMJ, la variabilidad en el cambio de altura de salto fue mayor durante el procedimiento de prueba SJ. Los futuros estudios deberían dilucidar por qué la variabilidad es mayor durante el ejercicio SJ ya que en el presente estudio observamos una fiabilidad comparable de la altura de salto sin carga para ambos tipos de salto (CV = 6,24% y 4,70% para SJ y CMJ, respectivamente). En general, las magnitudes de los parámetros de la relación fuerza-velocidad no estaban relacionadas con el cambio en la altura del salto después del procedimiento de prueba. La única asociación significativa fue observada entre los valores de  $V_0$  y el cambio en la altura del salto

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza después del procedimiento de prueba realizado con el ejercicio SJ requiere más investigación. Por lo tanto, el procedimiento de rutina utilizado para determinar la relación fuerza-velocidad basado en la aplicación de múltiples condiciones de carga podría causar una reducción asociada a la fatiga en las capacidades mecánicas máximas de los músculos (es decir,  $F_0$ ,  $V_0$  y  $P_{max}$ ) evaluados a través de la relación fuerza-velocidad. Estos efectos se esperan independientemente de si las cargas se aplican en una secuencia incremental o aleatoria (Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2016; Samozino et al., 2014). Particularmente, el desarrollo progresivo de la fatiga durante la prueba subestimaría principalmente la capacidad de fuerza máxima ( $F_0$ ) cuando las cargas se aplican en un orden incremental. Los resultados de la relación fuerza-velocidad se verían afectados aleatoriamente cuando las cargas se aplican en un orden aleatorio (es decir, cuando las cargas pesadas se aplican al final de la prueba se espera que afecten principalmente a  $F_0$ , mientras que si las cargas ligeras se aplican al final de la prueba se espera que afecten a  $V_0$ ). Por lo tanto, el método de dos puntos podría considerarse como una alternativa viable al método de múltiples puntos durante los procedimientos de prueba de salto vertical ya que reduce notablemente la complejidad del protocolo de prueba y la fatiga asociada, al tiempo que proporciona resultados fiables y válidos.

## 6. CONCLUSIONES / CONCLUSIONS

La conclusión general de la presente Tesis Doctoral en relación al primer tópico ***“identificación del procedimiento más fiable para determinar la altura de salto: velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo”*** (estudios 1 y 2) sugiere que el uso de un pórtico guiado junto con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo debería proporcionar una medición más fiable del rendimiento de la altura de salto. Por el contrario, se debe desalentar el uso de un pórtico guiado junto con el procedimiento basado en la velocidad de despegue debido a los mayores errores de medida (especialmente durante el ejercicio SJ). Respecto al segundo tópico ***“influencia del umbral utilizado para determinar el inicio del movimiento sobre las variables de rendimiento en el ejercicio de salto vertical”*** (estudios 3 y 4), se concluye que el umbral utilizado para detectar el inicio del movimiento de salto influye tanto en la fiabilidad como en la magnitud de las variables de rendimiento de los saltos verticales. Por lo tanto, para estandarizar los protocolos de evaluación de los saltos verticales entre diferentes centros de investigación, recomendamos el umbral 5DSPS debido a que proporciona una fiabilidad comparable a los umbrales más conservadores (es decir, 50N y 5%PS) mientras que considera más señal del registro de fuerza-tiempo en los análisis. Finalmente, el último tópico de la

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza presente Tesis Doctoral *“optimización del procedimiento utilizado para evaluar la relación fuerza-velocidad en el ejercicio de salto vertical: método de dos puntos”* (estudio 5) muestra que el método de dos puntos basado en las cargas más distantes es un procedimiento fiable y válido en comparación con el método de múltiples puntos. En este sentido, este novedoso método podría ser una alternativa más rápida y menos propensa a la fatiga a la hora de evaluar la función de la musculatura de la parte inferior del cuerpo durante los ejercicios de salto vertical. Específicamente, recomendamos que el método de dos puntos durante los saltos verticales se base en un salto sin carga y una carga pesada que permita alcanzar una altura de salto de aproximadamente 10 cm.

Las conclusiones específicas para cada uno de los estudios que componen la presente Tesis Doctoral fueron:

***Estudio 1: Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures.***

- No se observaron diferencias sustanciales en la fiabilidad entre el procedimiento basado en la velocidad de despegue y el basado en el tiempo de vuelo.
- El uso de un pórtico guiado proporcionó un rendimiento de altura de salto con mayor fiabilidad que el uso de una barra libre usando el procedimiento de tiempo de vuelo.
- El rendimiento de la altura de salto se sobreestimó al usar el procedimiento basado en la velocidad de despegue con el uso de un pórtico guiado, mientras que no se observaron diferencias entre ambos procedimientos cuando el SJ se realizó con una barra libre.

***Estudio 2: Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.***

- Mientras que no se identificaron diferencias significativas entre las medidas de fiabilidad para ambos procedimientos durante el ejercicio de CMJ realizado con una barra libre, el procedimiento basado en el tiempo de vuelo fue más fiable durante el CMJ realizado con un pórtico guiado.
- El análisis de Bland-Altman sugiere triviales diferencias y ausencia de heterocedasticidad para las magnitudes de altura de salto obtenidas por ambos procedimientos, sin embargo, el error aleatorio entre ambos procedimientos fue más prominente para el ejercicio de CMJ realizado en un pórtico guiado.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Estudio 3:** *Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: which jump starting threshold provided more reliable outcomes?*

- Los umbrales 50N, 10%PS y 5DSPS revelaron una mayor fiabilidad para varias variables en comparación con los umbrales 10N y 1%PS (valores medios y tiempos hasta fuerza, potencia y velocidad, aRFD, iRFD, impulso y tiempo de contacto), pero no se observaron diferencias significativas para otras variables (valores máximos, altura de salto y pRFD).
- La magnitud de las variables obtenidas por los umbrales 50N y 10%PS generalmente difiere con respecto a los umbrales 10N, 1%PS y 5DSPS.

**Estudio 4:** *Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: a technical examination of the jump threshold initiation.*

- Los umbrales 50N, 10%PS y 5DSPS informaron una mayor fiabilidad para varias variables obtenidas durante la fase descendente en comparación con los umbrales 10N y 1%PS, mientras que no se observaron diferencias significativas en la fiabilidad entre los umbrales de inicio del movimiento de salto para las variables obtenidas durante la fase ascendente.
- La magnitud de la mayoría de las variables reportadas durante la fase descendente y ascendente a partir de los dos umbrales más conservadores (50N y 10%PS) y el umbral 5DSPS diferían significativamente con respecto a las mismas variables determinados por los umbrales 10N, 1%PS.

**Estudio 5:** *Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps.*

- El método de dos puntos basado en las dos cargas más distantes reportó una fiabilidad comparable y una alta validez con respecto al método de múltiples puntos, sin embargo, la fiabilidad y la validez de los métodos de dos puntos disminuyó con la proximidad de las cargas aplicadas.
- El procedimiento de prueba de rutina de la relación fuerza-velocidad basado en múltiples condiciones de carga podría subestimar los resultados de la relación fuerza-velocidad debido a la progresiva fatiga inducida por el procedimiento de evaluación.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

The general conclusion of this Doctoral Thesis in relation to the first topic ***“identification of the most reliable procedure to determine the jump height: take-off velocity vs. flight time”*** (studies 1 and 2) suggests that the use of a Smith machine in conjunction with the flight time procedure should provide a more reliable measurement of jump height performance. On the contrary, the use of a Smith machine should be discouraged together with the take-off velocity procedure due to the large measurement errors (especially during the SJ exercise). Regarding the second topic ***“influence of the threshold used to determine the start of the movement on the performance variables during the vertical jump exercise”*** (studies 3 and 4), it is concluded that the threshold used to detect the start of the jump influences both reliability and magnitude of the vertical jump performance variables. Therefore, to standardize the vertical jump routine testing between different research centres, we recommend the 5SDSW threshold because it provides a comparable reliability to conservative thresholds (i.e., 50N and 5%SW) while considering more force-time signal for the analysis. Finally, the last topic of this Doctoral Thesis ***“optimization of the procedure used to evaluate the force-velocity relationship in the vertical jump exercise: two-point method”*** (study 5) shows that the two-point method based on the most distant loads is a reliable and valid procedure as compared to the multiple-point method. In this sense, this novel method could be a quick and less prone to fatigue alternative for testing the lower-body muscle function during the vertical jump exercises. Specifically, we recommend that the two-point method during traditional vertical jumps should be based on an unloaded jump and a heavy load that allows reaching a jump height of about 10 cm.

The specific conclusions for each of the studies that make up this Doctoral Thesis were:  
***Study 1: Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: Comparison of the take-off velocity and flight time procedures.***

- No substantial differences in reliability were observed between the take-off velocity and flight time procedures.
- The use of a Smith machine provided a jump height performance with greater reliability than the use of a free-weight barbell.
- The jump height performance was overestimated when using the take-off velocity procedure with the use of a Smith machine, while no differences were observed between both procedures when the SJ exercise was performed with a free-weight barbell.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

**Study 2:** *Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time.*

- While no significant differences were identified for the reliability measures between both procedures during the CMJ exercise performed with a free-weight barbell, the flight time procedure was more reliable during the CMJ performed with a Smith machine.
- The Bland-Altman analysis suggests trivial differences and absence of heterocedasticity for the jump height magnitudes obtained by both procedures, however, the random error between both procedures was more prominent for the CMJ exercise performed in a Smith machine.

**Study 3:** *Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: Which jump starting threshold provided more reliable outcomes?*

- The 50N, 10%SW and 5SDSW thresholds revealed greater reliability for several variables compared to the 10N and 1%SW thresholds (mean and time to peak values of force, power and velocity, peak values of power and velocity, aRFD, iRFD, impulse, and push-off time), but no significant differences were observed for other variables (maximum values, jump height, and pRFD).
- The magnitude of the performance variables obtained by the 50N and 10%SW thresholds generally differs from the 10N, 1%SW and 5SDSW thresholds.

**Study 4:** *Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: A technical examination of the jump threshold initiation.*

- The 50N, 10%SW and 5SDSW thresholds reported greater reliability for several variables obtained during the descending phase compared to the 10N and 1%SW thresholds, while no significant differences were observed in the reliability between the jump starting thresholds for the variables obtained during the ascending phase.
- The magnitude of the majority of the performance variables reported during the descending and ascending phase from the two more conservative thresholds (50N and 10%SW) and the 5SDSW threshold differed significantly with respect to the same variables determined by the 10N, 1%SW thresholds.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

*Study 5: Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps.*

- The two-point method based on the two most distant loads reported a comparable reliability and high concurrent validity compared to the multiple-point method, however, the reliability and validity of the two-point methods decreased with the proximity of the applied loads.
- The routine testing procedure of the F-V relationship based on multiple loading conditions could underestimate the outcomes of the F-V relationship due to the progressive fatigue induced by the testing procedure.

## **7. LÍMITACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE ESTUDIO**

Los estudios que componen la presente Tesis Doctoral presentan una serie de limitaciones que deben ser reconocidas. La principal limitación fue el uso de un tamaño de muestra relativamente pequeño compuesto exclusivamente por hombres con una variedad de antecedentes deportivos. Dado que los niveles de fuerza máxima de la parte inferior del cuerpo y la capacidad de salto difiere entre ambos sexos (Beckham et al., 2019), el hecho de sólo examinar hombres podría tratarse de un factor de confusión y no sabemos si nuestros resultados serían aplicables al sexo femenino. También es plausible que con sujetos más entrenados (es decir, atletas de alto nivel) se hubieran presentado diferencias más bajas en la fiabilidad de las mediciones de altura de salto entre el uso del pódico guiado y de la barra libre (estudios 1 y 2) (Aragón-Vargas & Gross, 1997), así como una variabilidad menos acentuada durante la fase de pesaje (estudios 3 y 4). Los estudios futuros deberían explorar si el sexo y los antecedentes deportivos (es decir, sujetos más familiarizados con los ejercicios de salto vertical sobrecargados) pueden influir en 1) la fiabilidad de la altura de salto reportada a partir de los procedimientos de velocidad de despegue y tiempo de vuelo y 2) la fiabilidad y la magnitud de las variables de rendimiento obtenida a partir de diferentes umbrales absolutos y relativos de inicio del movimiento de salto. Por otro lado, dado que la posición inicial en el ejercicio SJ no estaba estrictamente estandarizada a 90° de flexión de la rodilla, es posible que la variabilidad de la fase de pesaje también se vea afectada por el ángulo inicial de la rodilla (estudio 3). Los estudios futuros deberían examinar la influencia del ángulo de rodilla adoptado durante la ejecución de los saltos verticales sobre la fiabilidad y magnitud de las diferentes variables de rendimiento. Finalmente, se debe tener en cuenta que la fiabilidad y la validez concurrente de los métodos de dos puntos se exploraron a partir de un procedimiento de prueba basado en

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza múltiples cargas (estudio 5). Hasta la fecha, sólo un estudio ha confirmado la viabilidad del método de dos puntos aplicado en condiciones de campo (cuando sólo se aplican dos cargas en el protocolo de evaluación) durante el ejercicio de cicloergómetro de piernas (García-Ramos, Torrejón, et al., 2018). Por lo tanto, se necesita más investigación para desarrollar el procedimiento de prueba basado en sólo dos cargas durante diferentes ejercicios.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, F. C., & Pandy, M. G. (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*, 26(12), 1413–1427.
- Aragón-Vargas, L. F., & Gross, M. M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(1), 24–44.
- Aragón, L. F. (2000). Evaluation of four vertical jump tests: methodology, reliability, validity, and accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 4(4), 215–228.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217–238.
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(2), 131–136.
- Beckham, G. K., Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bailey, C. A., Grazer, J. L., Kim, S. B., ... Stone, M. H. (2019). Influence of sex and maximum strength on reactive strength index-modified. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(1), 65–72.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11), 1402–1412.
- Boullosa, D., Abreu, L., Conceição, F., Cordero, Y., & Jimenez-Reyes, P. (2018). The influence of training background on different rate of force development calculations during countermovement jump. *Kinesiology: International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology*, 50(Supplement 1), 90-95.
- Chamari, K. (2004). Field and laboratory testing in young elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(2), 191–196.

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

- Chandler, P. T., Greig, M., Comfort, P., & McMahon, J. J. (2018). Variability of plyometric and ballistic exercise technique maintains jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(6), 1571–1582.
- Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A. N., ... Mundy, P. D. (2018). Force-time characteristics of the countermovement jump. *Strength and Conditioning Journal*, *40*(2), 67–77.
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(10), 2670–2676.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 273-283). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R., & Doyle, T. L. A. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *3*(2), 131–144.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2008). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load. *Journal of Applied Biomechanics*, *24*(2), 112–120.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(1), 177–186.
- Cronin, J. B., Hing, R. D., & McNair, P. J. (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(3), 590–593.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(8), 1703–1714.
- De Villarreal, E. S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(2), 495–506.
- Dugan, E. L., Doyle, T. L. A., Humphries, B., Hasson, C. J., & Newton, R. U. (2004).

Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 668–674.

Feeney, D., Stanhope, S. J., Kaminski, T. W., Machi, A., & Jaric, S. (2016). Loaded vertical jumping: force-velocity relationship, work, and power. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 120–127.

Fulton, S. K., Pyne, D., Hopkins, W., & Burkett, B. (2009). Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 27(5), 535–539.

García-Ramos, A., Feriche, B., Pérez-Castilla, A., Padial, P., Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *European Journal of Sport Science*, 17(6), 690–698.

García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., & Jaric, S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports Biomechanics*. In press. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1545044>

García-Ramos, A., Štirn, I., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., Strojnik, V., & Feriche, B. (2015). Predicting vertical jump height from bar velocity. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(2), 256.

García-Ramos, A., Štirn, I., Strojnik, V., Padial, P., De la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., & Feriche, B. (2016). Comparison of the force-, velocity-, and power-time curves recorded with a force plate and a linear velocity transducer. *Sports Biomechanics*, 15(3), 329–341.

García-Ramos, A., Tomazin, K., Feriche, B., Strojnik, V., de la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., ... Štirn, I. (2016). The relationship between the lower-body muscular profile and swimming start performance. *Journal of Human Kinetics*, 50(1), 157–165.

García-Ramos, A., Torrejón, A., Pérez-Castilla, A., Morales-Artacho, A. J., & Jaric, S. (2018). Selective changes in the mechanical capacities of lower-body muscles after cycle-ergometer sprint training against heavy and light resistances. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 290–297.

García-Ramos, A., Zivkovic, M., Djuric, S., Majstorovic, N., Manovski, K., & Jaric, S. (2018). Assessment of the two-point method applied in field conditions for routine testing of muscle mechanical capacities in a leg cycle ergometer. *European Journal of Applied*

*Physiology*, 118(9), 1877–1884.

Garcia-Ramos, Amador, & Jaric, S. (2018). Two-point method: a quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the one-repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, 40(2), 54–66.

Garcia-Ramos, Amador, Jaric, S., Perez-Castilla, A., Padial, P., & Feriche, B. (2017). Reliability and magnitude of mechanical variables assessed from unconstrained and constrained loaded countermovement jumps. *Sports Biomechanics*, 16(4), 514–526.

Garcia-Ramos, Amador, Padial, P., de la Fuente, B., Arguelles-Cienfuegos, J., Bonitch-Gongora, J., & Feriche, B. (2016). Relationship between vertical jump height and swimming start performance before and after an altitude training camp. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1638–1645.

Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84–92.

Giroux, C, Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2015). What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *International Journal of Sports Medicine*, 36(2), 143–149.

Giroux, Caroline, Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2016). Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(1), 59–68.

Gutierrez-Davila, M., Amaro, F. J., Garrido, J. M., & Rojas, J. F. (2014). An analysis of two styles of arm action in the vertical countermovement jump. *Sports Biomechanics*, 13(2), 135–143.

Hansen, K. T., Cronin, J. B., & Newton, M. J. (2011). The reliability of linear position transducer and force plate measurement of explosive force-time variables during a loaded jump squat in elite athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1447–1456.

Hanson, E. D., Leigh, S., & Mynark, R. G. (2007). Acute effects of heavy- and light-load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1012–1017.

Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics

- for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15.
- Hopkins, W. G. (2000). Calculations for reliability (Excel spreadsheet). Calculations for reliability (Excel spreadsheet). A new view of statistics. Retrieved 2018, February 16, from <http://www.sportsci.org/resource/stats/relycalc.html#excel>
- Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R., & Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 314–320.
- Iglesias-Soler, E., Fariñas, J., Mayo, X., Santos, L., & Jaric, S. (2019). Comparison of different regression models to fit the force–velocity relationship of a knee extension exercise. *Sports Biomechanics*, 18(2), 174–189.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(9), 699–704.
- Jaric, S. (2016). Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585–1589.
- Jiménez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Marques, M. C., & González-Badillo, J. J. (2016). Maximal velocity as a discriminating factor in the performance of loaded squat jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 227–234.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Peñafiel, V., Conceição, F., González-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2014). Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2281–2288.
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceicao, F., Cuadrado-Penafiel, V., Gonzalez-Badillo, J. J., & Morin, J.B. (2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International Journal of Sports*

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

*Physiology and Performance*, 12(1), 36–43.

Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(3), 207–214.

Kitamura, K., Pereira, L. A., Kobal, R., Cal Abad, C. C., Finotti, R., Nakamura, F. Y., & Loturco, I. (2017). Loaded and unloaded jump performance of top-level volleyball players from different age categories. *Biology of Sport*, 34(3), 273–278.

Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198–1204.

Loturco, I., Pereira, L. A., Kobal, R., & Nakamura, F. Y. (2018). Using loaded and unloaded jumps to increase speed and power performance in elite young and senior soccer players. *Strength and Conditioning Journal*, 40(3), 95–103.

Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 349–355.

Markovic, S., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Human Movement Science*, 33, 203–210.

McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 379–385.

McMahon, J. J., Jones, P. A., & Comfort, P. (2016). A correction equation for jump height measured using the just jump system. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 555–557.

McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*, 40(4), 96–106.

Meylan, C. M. P., Nosaka, K., Green, J., & Cronin, J. B. (2011). The effect of three different start thresholds on the kinematics and kinetics of a countermovement jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1164–1167.

Meylan, C. M. P., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. M., Jidovtseff, B., & Pinder, S.

- (2015). The reliability of isoinertial force–velocity–power profiling and maximal strength assessment in youth. *Sports Biomechanics*, *14*(1), 68–80.
- Meylan, C. M. P., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & McMaster, D. (2012). The reliability of jump kinematics and kinetics in children of different maturity status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(4), 1015–1026.
- Mitchell, L. J., Argus, C. K., Taylor, K.-L., Sheppard, J. M., & Chapman, D. W. (2017). The effect of initial knee angle on concentric-only squat jump performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *88*(2), 184–192.
- Moir, G., Button, C., Glaister, M., & Stone, M. H. (2004). Influence of familiarization on the reliability of vertical jump and acceleration sprinting performance in physically active men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(2), 276.
- Moir, G. L., Garcia, A., & Dwyer, G. B. (2009). Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*(3), 317–330.
- Moir, G., Sanders, R., Button, C., & Glaister, M. (2005). The influence of familiarization on the reliability of force variables measured during unloaded and loaded vertical jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(1), 140–145.
- Moir, G. L. (2008). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, *12*(4), 207–218.
- Mundy, P. D., Lake, J. P., Carden, P. J. C., Smith, N. A., & Lauder, M. A. (2016). Agreement between the force platform method and the combined method measurements of power output during the loaded countermovement jump. *Sports Biomechanics*, *15*(1), 23–35.
- Newton, R. U., Kraemer, W.J., HĪKKINEN, K. (1999). Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *31*(2), 323–330.
- Owen, N. J., Watkins, J., Kilduff, L. P., Bevan, H. R., & Bennett, M. A. (2014). Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(6), 1552–1558.
- Perez-Castilla, A., Garcia-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded

- countermovement jump exercise: take-off velocity vs. flight time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(7), 2025–2030.
- Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padiá, P., & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1245–1253.
- Pérez-Castilla, A., McMahon, J. J., Comfort, P., & García-Ramos, A. (2017). Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: comparison of the take-off velocity and flight time procedures. *Journal of Strength and Conditioning Research*. In press. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002166>
- Pestaña-Melero, F. L., Haff, G. G., Rojas, F. J., Pérez-Castilla, A., & García-Ramos, A. (2018). Reliability of the load–velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(3), 184–190.
- Rice, P. E., Goodman, C. L., Capps, C. R., Triplett, N. T., Erickson, T. M., & McBride, J. M. (2017). Force- and power-time curve comparison during jumping between strength-matched male and female basketball players. *European Journal of Sport Science*, 17(3), 286–293.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J. B. (2012). Optimal force–velocity profile in ballistic movements—altius. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(2), 313–322.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 505–510.
- Samozino, Pierre, Morin, J. B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of Biomechanics*, 41(14), 2940–2945.
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1725–1734.
- Sattler, T., Hadzic, V., Dervisevic, E., & Markovic, G. (2015). Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and

Una metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza

- competition level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1486–1493.
- Sole, C. J., Mizuguchi, S., Sato, K., Moir, G. L., & Stone, M. H. (2018). Phase characteristics of the countermovement jump force-time curve: a comparison of athletes by jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(4), 1155–1165.
- Stone, M. H., O'Bryant, H. S., McCoy, L., Coglianese, R., Lehmkuhl, M., & Schilling, B. (2003). Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 140-147.
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 43-54.
- Thompson, P., Beath, T., Bell, J., Jacobson, G., Phair, T., Salbach, N. M., & Wright, F. V. (2008). Test-retest reliability of the 10-metre fast walk test and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(5), 370–376.
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The difference between countermovement and squat jump performances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2011–2020.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650–656.
- Zivkovic, M Z, Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 39–49.
- Zivkovic, Milena Z, Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks. *Journal of Sports Sciences*, 35(13), 1287–1293.

## **9. ANEXOS**

Se adjuntan los siguientes anexos:

- ANEXO 1: Documentos presentados y aprobados por el Comité de Ética de Investigación Humana de la Universidad de Granada.
- ANEXO 2: Currículum Vitae del doctorando.

## **ANEXO 1:**

Documentos presentados y aprobados por el Comité de Ética de Investigación Humana de la  
Universidad de Granada.

## SOLICITUD DE INFORME PARA TESIS DOCTORAL

## Datos del Investigador/Doctorando:

Nombre y Apellidos: Alejandro Pérez Castilla		DNI: 74736964M
Dpto.: Educación Física y Deportiva	Centro/Facultad: Ciencias del Deporte	
Puesto/Cargo: Becario PFU15/03649		
Dirección: Carretera de Alfacar s/n		
Teléfono: 615380315	Fax:	e-mail: alexperez@ugr.es

## Datos del Director/es de la tesis:

Nombre y Apellidos: F. Javier Rojas Ruíz		DNI: 24254071L
Dpto.: Educación Física y Deportiva	Centro/Facultad: Ciencias del deporte	
Puesto/Cargo: Catedrático Universidad		
Dirección: Carretera de Alfacar s/n		
Teléfono: (34) 958244370	Fax: (34) 958244369	e-mail: fjrojas@ugr.es

## Datos del Director/es de la tesis:

Nombre y Apellidos: Amador García Ramos		DNI: 25729208M
Dpto.:	Centro/Facultad: Ciencias del deporte	
Puesto/Cargo: Becario (Perfeccionamiento doctores; UGR)		
Dirección: Carretera de Alfacar s/n		
Teléfono: (34) 677815348	Fax: (34) 958244369	e-mail: amagr@ugr.es

## Datos del Director/es de la tesis:

Nombre y Apellidos:		DNI:
Dpto.:	Centro/Facultad:	
Puesto/Cargo:		
Dirección:		
Teléfono:	Fax:	e-mail:

Título de la tesis:	<b>METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SALTOS VERTICALES SOBRECARGADOS SOBRE PLATAFORMA DE FUERZA</b>
---------------------	--

## Hipótesis y objetivos

La habilidad de salto vertical es un factor clave de éxito en numerosas disciplinas deportivas (Vescovi & Mcguigan, 2008). En este sentido, los saltos verticales han sido rutinariamente empleados en los programas de entrenamiento de fuerza y en la evaluación de la función muscular de los miembros inferiores (Cuk et al., 2014). La altura de salto es la variable más comúnmente aportada como rendimiento en el salto vertical (Saéz-Saez de Villarreal, Kellis, Kraemer, & Izquierdo, 2009), siendo la plataforma de fuerza el instrumento de medida más fiable en su medida. Las dos variables más utilizadas para evaluar la altura de salto por medio de los datos fuerza-tiempo reportados por una plataforma de fuerza han sido: la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo (Moir, Garcia, & Dwyer, 2009; Moir, 2008). La velocidad de despegue se ha postulado como el procedimiento más preciso para determinar la altura de salto (Moir, 2008). Sin embargo, cuando se realizan entrenamientos específicos de desarrollo de fuerza con sobrecargas pesadas, esta variable requiere determinar con exactitud el peso del sistema (peso corporal + carga externa), lo que generalmente requiere a los sujetos mantener una posición estática durante aproximadamente 2-3 segundos previamente al inicio del salto y analizar para cada deportista como afecta la sobrecarga pesada a las variables descritas que determinan el salto vertical. Por otro lado, la precisión del procedimiento basado en la tiempo de vuelo podría estar comprometida por la técnica de ejecución durante el aterrizaje, ya que es necesario que los sujetos aterricen con las articulaciones de los tobillos, rodillas y caderas totalmente extendidas para no sobreestimar la altura de salto (Moir, 2008). Por tanto, dado que la fiabilidad reportada debería ser de especial interés para identificar el procedimiento de evaluación más apropiado, es de interés determinar cuál de los dos procedimientos permite determinar la altura de salto con una mayor fiabilidad durante los saltos verticales sobrecargados y como afecta la sobrecarga a las variables que determinar el salto vertical.

El salto sin contramovimiento (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ) son los dos tipos de salto vertical más comúnmente utilizados para monitorizar el rendimiento de los deportistas contra diferentes condiciones de cargas con el objeto de incrementar el rendimiento deportivo (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996). En el entrenamiento deportivo, estos dos tipos de saltos pueden ser realizados tanto con una barra libre (es decir, la carga puede moverse libremente en cualquier dirección del espacio) o con un pódico guiado (es decir, el movimiento de la barra se restringe a la dirección vertical). Sin embargo, la influencia del procedimiento de análisis (velocidad de despegue vs. tiempo de vuelo) y del tipo de salto (libre vs. guiado) sobre la fiabilidad y magnitud del rendimiento de altura de salto contra diferentes condiciones de carga todavía requiere un estudio en profundidad.

Uno de los factores que más puede afectar tanto a la magnitud como a la fiabilidad de las distintas variables que pueden registrarse con una plataforma de fuerza durante saltos sobrecargados es la determinación del inicio del salto (Meylan et al., 2015). En este sentido, diferentes umbrales han sido utilizados por los investigadores o entrenadores a la hora de determinar el inicio de salto (porcentaje del peso corporal [ej., 1%, 2%, 5%], umbrales arbitrarios [ej., 10 N, 20 N], etc.) o en función de la estabilidad de la señal en la fase previa al inicio del salto (ej., 5 desviaciones estándar de la señal registrada al determinar el peso del sistema). A nuestro conocimiento, solo un estudio previo ha comparado 3

diferentes umbrales (2.5%, 5% y 10% del peso corporal) sobre las magnitud y fiabilidad de las diversas variables cinéticas y cinemáticas reportadas durante el CMJ sin sobrecarga (Meylan et al., 2015). Mientras la magnitud de las diferentes variables analizadas estuvieron significativamente influenciadas por el umbral utilizado, los valores de fiabilidad reportados fueron similares. Por tanto, se precisa de estudios que examinen la influencia de diferentes umbrales utilizados para determinar el inicio del análisis de los saltos sobre la magnitud y fiabilidad de las distintas variables cinéticas y cinemáticas analizadas en saltos verticales sobrecargados y determinar la incidencia de las sobrecargas sobre las variables que determinan el rendimiento en el salto vertical.

En base a los antecedentes anteriores, nuestra principal hipótesis de partida será que el procedimiento basado en la velocidad de despegue proporcionará una mayor fiabilidad que el procedimiento basado en el tiempo de vuelo debido a una menor influencia de la ejecución técnica (Moir, 2008), así como también, el uso de un pórtico guiado debería proporcionar una mayor fiabilidad que la ejecución con una barra libre debido a la reducción de la redundancia cinemática como consecuencia del movimiento de la barra sobre los tres ejes espaciales. Por otro lado, el rendimiento de la altura de salto debería ser similar entre los procedimientos de análisis para los saltos verticales sobrecargados realizados de forma libre, mientras que el procedimiento basado en la velocidad de despegue debería sobreestimar la altura de salto en comparación con el procedimiento basado en el tiempo de vuelo debido al efecto de la fuerza de fricción que ejerce las dos barras del pórtico guiado.

Finalmente, nuestra hipótesis secundaria será que la magnitud y fiabilidad de las diferentes variables cinéticas y cinemáticas estará influenciada por el umbral seleccionado para determinar el inicio del análisis del salto. En ese sentido, el umbral debería ser dependiente de la sobrecarga empleada. Así, las sobrecargas mayores deberían beneficiarse de umbrales más conservadores (por ejemplo, 20 N o 10% del peso corporal) en comparación con umbrales menos conservadores (por ejemplo, 10 N o 2.5% del peso del corporal) o utilizar el 1% del peso total del sistema formado por la sobrecarga más el deportista.

En definitiva, el presente proyecto tendrá como objetivos fundamentales:

Objetivo general:

-Establecer una base de conocimiento que mejore las estrategias de evaluación y aplicación de los saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza.

Objetivos específicos:

-Comparar la fiabilidad y magnitud de la altura de salto obtenida a partir de dos procedimientos estándar de análisis mediante plataforma de fuerza en el ejercicio de SJ sobrecargado realizado de forma libre o en pórtico guiado.

-Comparar la fiabilidad y magnitud de la altura de salto obtenida a partir de dos procedimientos estándar de análisis mediante plataforma de fuerza en el ejercicio de CMJ sobrecargado realizado de forma libre o en pórtico guiado.

-Analizar la influencia de diferentes criterios usados para determinar el inicio del salto durante el SJ sobrecargado sobre la fiabilidad y magnitud de diferentes variables cinéticas y cinemáticas reportadas por una plataforma de fuerza.

-Analizar la influencia de diferentes criterios usados para determinar el inicio del salto durante el CMJ sobrecargado sobre la fiabilidad y magnitud de diferentes variables cinéticas y cinemáticas reportadas por una plataforma de fuerza.

## **Material y métodos:**

### Descripción de la muestra

La muestra estará formada por 30 sujetos físicamente activos, reclutados de entre los estudiantes del grado de Ciencias del deporte.

### Descripción del proyecto

Con objeto de dar respuesta a los objetivos planteados, se realizará un proyecto de investigación con un diseño de medidas repetidas. Tras 2 semanas de familiarización, los sujetos acudirán a 8 sesiones de evaluación durante 4 semanas consecutivas, 2 veces por semana, con 48-72 horas de descanso entre sesiones. En un orden contrabalanceado, los sujetos realizarán cada semana 2 sesiones con el ejercicio de SJ sobrecargado con una barra libre, 2 sesiones con el ejercicio de SJ sobrecargado en un pórtico guiado, 2 sesiones con el ejercicio CMJ sobrecargado con una barra libre y 2 sesiones con el ejercicio de CMJ sobrecargado en un pórtico guiado.

Todas las sesiones de evaluación irán precedidas de un calentamiento estandarizado. Posteriormente, los participantes ejecutarán 2 repeticiones contra 5 cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg) en un orden aleatorizado. En la sesión de familiarización nos aseguraremos que todos los sujetos son capaces de saltar con técnica correcta más de 8 cm con la sobrecarga de 75 kg en el ejercicio de SJ. La secuencia de las cargas será mantenida para cada sujeto en todas las sesiones de evaluación. Un período de descanso de 3-5 minutos entre repeticiones y condiciones de carga será implementado. Los 2 tipos de saltos realizados serán: 1) barra libre, permite desplazar la carga en cualquier dirección sin imponer ninguna restricción en el movimiento; 2) pórtico guiado, el movimiento de la barra es restringido al plano vertical por las dos barras del pórtico guiado.

Todos los saltos serán monitorizados por una plataforma de fuerza (Dinascam/IBV; Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, España). La altura de salto será determinada por dos procedimientos de análisis: velocidad de despegue y tiempo de vuelo (Moir et al., 2009; Moir, 2008). Finalmente, otras variables cinéticas y cinemáticas serán también analizadas (valores medios y máximos de fuerza, velocidad y potencia; tasa de desarrollo de fuerza, etc.) en función de los diferentes umbrales iniciales utilizados (valores de fuerza absolutos [10 N], valores respecto al peso corporal [5%], etc.).

## **Experiencia del grupo de investigación**

La línea de investigación sobre el rendimiento del salto vertical está bien consolidada por el grupo de investigación al que me incorporo. En concreto, cuenta con D. Francisco Javier Rojas Ruíz (director de la presente tesis doctoral) y D. Marcos Gutiérrez Dávila, catedráticos de universidad y expertos en biomecánica humana, que cuenta con numerosas publicaciones científicas que abordan algunos de los principales aspectos metodológicos relación con los procedimientos de evaluación a través de los saltos verticales.

Por tanto, el grupo de investigación solicitante dispone del material y experiencia necesarios para el desarrollo del proyecto de tesis presentado. La experiencia acumulada del conjunto de los investigadores que colaborarán en el proyecto permite abordar con garantías algunas de las cuestiones relativas a los objetivos propuestos que actualmente presentan diversas controversias y que tienen una enorme trascendencia práctica en los procedimientos de evaluación de los deportistas y su rendimiento.

## Referencias bibliográficas

- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11), 1402–1412.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703–1714.
- Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. M., Jidovtseff, B., & Pinder, S. (2015). The reliability of isoinertial force–velocity–power profiling and maximal strength assessment in youth. *Sports Biomechanics*, 14(1), 68–80.
- Moir, G. L. (2008). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12(4), 207–218.
- Moir, G. L., Garcia, A., & Dwyer, G. B. (2009). Intersession reliability of kinematic and kinetic variables during vertical jumps in men and women. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 317–330.
- Saéz-Saez de Villarreal, E., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495–506.
- Vescovi, J. D., & Mcguigan, M. R. (2008). Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 97–107.

## Beneficios esperados

Los resultados que se obtengan nos permitirán establecer una base de conocimiento que mejore las estrategias de evaluación y aplicación de los saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza.

## Posibles efectos indeseables o secundarios

El estudio implicará una evaluación de 4 semanas de duración (8 sesiones con 48-72 horas de descanso). El uso de sobrecargas durante las evaluaciones puede implicar riesgo de lesión muscular/articular. No obstante éste riesgo es mínimo cuando las condiciones de entrenamiento son planificadas, individualizadas y supervisadas. Finalmente, serán arbitrados y desplegados todos los medios necesarios para evitar cualquier incidencia por medio de la evaluación de la información preliminar relacionada con el estado de salud de los participantes y por cualquier observación de síntomas durante los test y el ejercicio.

**¿Existe algún tipo de contraprestación y/o seguro para los participantes?: NO**

**Consentimiento informado:** Ver adjunto 1

**Hoja de información facilitada a los participantes:** Ver adjunto 2

**Derecho explícito de la persona a retirarse del estudio. Garantías de confidencialidad:** SI. Ver clausula en consentimiento informado.

Firma

Fecha  
En Granada, 06 de septiembre de 2018



Firmado digitalmente por ROJAS RUIZ FRANCISCO JAVIER - 24254071L  
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=24254071L, sn=ROJAS RUIZ, givenName=FRANCISCO JAVIER, cn=ROJAS RUIZ FRANCISCO JAVIER - 24254071L  
Fecha: 2018.09.06 09:47:21 -04'00'

Nombre y apellidos (Investigador responsable): F. Javier Rojas Ruíz

## FÓRMULA DE CONSENTIMIENTO

D. \_\_\_\_\_ con DNI. \_\_\_\_\_, acepta la participación en el estudio titulado **“Metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza”**.

El objeto de estudio será comparar la fiabilidad y magnitud de la altura de salto obtenida por dos procedimientos estándar de análisis (velocidad de despegue y tiempo de vuelo) mediante plataforma de fuerza durante los ejercicios de salto vertical con (CMJ) y sin (SJ) contramovimiento sobrecargados realizados de forma libre o en pódico guiado, así como, de diferentes variables cinéticas y cinemáticas en base al criterio usado para determinar el inicio del salto. La participación implicará la realización de un período de 2 semanas de familiarización y 4 semanas de evaluación en un orden contrabalanceado: 2 sesiones con el ejercicio de SJ sobrecargado con una barra libre, 2 sesiones con el ejercicio de SJ sobrecargado en un pódico guiado, 2 sesiones con el ejercicio CMJ sobrecargado con una barra libre y

2 sesiones con el ejercicio de CMJ sobrecargado en un pódico guiado. Todas las sesiones de evaluación irán precedidas de un calentamiento estandarizado. Posteriormente, los participantes ejecutarán 2 repeticiones contra 5 cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg) en un orden aleatorizado. La secuencia de las cargas será mantenida para cada sujeto en todas las sesiones de evaluación. Un período de descanso de 3-5 minutos entre repeticiones y condiciones de carga será implementado. Los 2 tipos de saltos realizados serán: 1) barra libre, permite desplazar la carga en cualquier dirección sin imponer ninguna restricción en el movimiento; 2) pódico guiado, el movimiento de la barra es restringido al plano vertical por las dos barras del pódico guiado.

### **Las condiciones de participación en el presente proyecto son:**

- No presentar ninguna lesión ni problema médico que impida la ejecución de los ejercicios de entrenamiento-evaluación.
- Asistencia e implicación en las sesiones de evaluación.
- No realizar entrenamiento sistemático de fuerza de piernas adicional al realizado en el proyecto.

He sido informado detalladamente del protocolo de estudio y me han aclarado todas las dudas. También he sido informado de los riesgos que podrían ir asociados a las medidas desglosadas con anterioridad, que en cualquier caso son mínimos dado el carácter de las evaluaciones y procedimientos empleados. Si bien, serán arbitrados y desplegados todos los medios necesarios para evitar cualquier incidencia por medio de la evaluación de la información preliminar relacionada con el estado de salud de los participantes y por cualquier observación de síntomas durante los test y el ejercicio.

En cualquier momento puedo solicitar más información sobre la práctica o los datos correspondientes a las pruebas realizadas.

En cualquier momento tengo libertad para poder retirar mi colaboración en el proceso. Si acepto participar en este estudio, me comprometo a realizar todas las actividades e indicaciones que se indiquen, hasta el término de la presente investigación.

Granada, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 201\_\_.

Firma:

Datos del firmante:

Datos y firma del tutor legal en el caso de minoría de edad:

Firma:

Responsable del Proyecto: F. Javier  
Rojas Ruíz Dpto Educación Física y Deportiva.  
Universidad de Granada

Contacto:

[frojas@ugr.es](mailto:frojas@ugr.es)

Teléfono: (34)

958244370

Proyecto de investigación:

**Metodología de evaluación de saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza**

¿Eres deportista? ¿Con interés en conocer al tu rendimiento deportivo? Si las respuesta es si, es muy probable que el presente proyecto sea de tu interés. Lee con atención de qué se trata, los requisitos para poder participar y las evaluaciones que comprenden este proyecto. No dudes en contactarnos en caso de estar interesado, o para cualquier duda que pueda surgir: [fjrojas@ugr.es](mailto:fjrojas@ugr.es)

➤ **¿Qué relevancia tiene el proyecto?**

La habilidad de salto vertical es un factor clave de éxito en numerosas disciplinas deportivas (Vescovi & Mcguigan, 2008). En este sentido, los saltos verticales han sido rutinariamente empleados en los programas de entrenamiento de fuerza y en la evaluación de la función muscular de los miembros inferiores (Cuk et al., 2014). La altura de salto es la variable más comúnmente aportada como rendimiento en el salto vertical (Saéz-Saez de Villarreal, Kellis, Kraemer, & Izquierdo, 2009), siendo la plataforma de fuerza el instrumento de medida más fiable en su medida. Las dos variables más utilizadas para evaluar la altura de salto por medio de los datos fuerza-tiempo reportados por una plataforma de fuerza han sido: la velocidad de despegue y el tiempo de vuelo (Moir, Garcia, & Dwyer, 2009; Moir, 2008). La velocidad de despegue se ha postulado como el procedimiento más preciso para determinar la altura de salto (Moir, 2008). Sin embargo, cuando se realizan entrenamientos específicos de desarrollo de fuerza con sobrecargas pesadas, esta variable requiere determinar con exactitud el peso del sistema (peso corporal + carga externa), lo que generalmente requiere a los sujetos mantener una posición estática durante aproximadamente 2-3 segundos previamente al inicio del salto y analizar para cada deportista como afecta la sobrecarga pesada a las variables descritas que determinan el salto vertical. Por otro lado, la precisión del procedimiento basado en la tiempo de vuelo podría estar comprometida por la técnica de ejecución durante el aterrizaje, ya que es necesario que los sujetos aterricen con las articulaciones de los tobillos, rodillas y caderas totalmente extendidas para no sobreestimar la altura de salto (Moir, 2008). Por tanto, dado que la fiabilidad reportada debería ser de especial interés para identificar el procedimiento de evaluación más apropiado, es de interés determinar cuál de los dos procedimientos permite determinar la altura de salto con una mayor fiabilidad durante los saltos verticales sobrecargados y como afecta la sobrecarga a las variables que determinar el salto vertical.

El salto sin contramovimiento (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ) son los dos tipos de salto vertical más comúnmente utilizados para monitorizar el rendimiento de los deportistas contra diferentes condiciones de cargas con el objeto de incrementar el rendimiento deportivo (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996). En el entrenamiento deportivo, estos dos tipos de saltos pueden ser realizados tanto con una barra libre (es decir, la carga puede moverse libremente en cualquier

dirección del espacio) o con un pódico guiado (es decir, el movimiento de la barra se restringe a la dirección vertical). Sin embargo, la influencia del procedimiento de análisis (velocidad de despeque vs. tiempo de vuelo) y del tipo de salto (libre vs. guiado) sobre la fiabilidad y magnitud del rendimiento de altura de salto contra diferentes condiciones de carga todavía requiere un estudio en profundidad.

Uno de los factores que más puede afectar tanto a la magnitud como a la fiabilidad de las distintas variables que pueden registrarse con una plataforma de fuerza durante saltos sobrecargados es la determinación del inicio del salto (Meylan et al., 2015). En este sentido, diferentes umbrales han sido utilizados por los investigadores o entrenadores a la hora de determinar el inicio de salto (porcentaje del peso corporal [ej., 1%, 2%, 5%], umbrales arbitrarios [ej., 10 N, 20 N], etc.) o en función de la estabilidad de la señal en la fase previa al inicio del salto (ej., 5 desviaciones estándar de la señal registrada al determinar el peso del sistema). A nuestro conocimiento, solo un estudio previo ha comparado 3 diferentes umbrales (2.5%, 5% y 10% del peso corporal) sobre las magnitud y fiabilidad de las diversas variables cinéticas y cinemáticas reportadas durante el CMJ sin sobrecarga (Meylan et al., 2015). Mientras la magnitud de las diferentes variables analizadas estuvieron significativamente influenciadas por el umbral utilizado, los valores de fiabilidad reportados fueron similares.

Por tanto, se precisa de estudios que examinen la influencia de diferentes umbrales utilizados para determinar el inicio del análisis de los saltos sobre la magnitud y fiabilidad de las distintas variables cinéticas y cinemáticas analizadas en saltos verticales sobrecargados y determinar la incidencia de las sobrecargas sobre las variables que determinan el rendimiento en el salto vertical. Este estudio pretende establecer una base de conocimiento que mejore las estrategias de evaluación y aplicación de los saltos verticales sobrecargados sobre plataforma de fuerza.

### ➤ ***¿En qué consistirá el proyecto?***

Se realizará un proyecto de investigación con un diseño de medidas repetidas. Tras 2 semanas de familiarización, los sujetos acudirán a 8 sesiones de evaluación durante 4 semanas consecutivas, 2 veces por semana, con 48-72 horas de descanso entre sesiones. En un orden contrabalanceado, los sujetos realizarán cada semana 2 sesiones con el ejercicio de SJ sobrecargado con una barra libre, 2 sesiones con el ejercicio de SJ sobrecargado en un pódico guiado, 2 sesiones con el ejercicio CMJ sobrecargado con una barra libre y 2 sesiones con el ejercicio de CMJ sobrecargado en un pódico guiado.

Todas las sesiones de evaluación irán precedidas de un calentamiento estandarizado. Posteriormente, los participantes ejecutarán 2 repeticiones contra 5 cargas externas (17, 30, 45, 60 y 75 kg) en un orden aleatorizado. En la sesión de familiarización nos aseguraremos que todos los sujetos son capaces de saltar con técnica correcta más de 8 cm con la sobrecarga de 75 kg en el ejercicio de SJ. La secuencia de las cargas será mantenida para cada sujeto en todas las sesiones de evaluación. Un período de descanso de 3-5 minutos entre repeticiones y condiciones de carga será implementado. Los 2 tipos de saltos realizados serán: 1) barra libre, permite desplazar la carga en cualquier dirección sin

imponer ninguna restricción en el movimiento; 2) p $\acute{o}$ rtico guiado, el movimiento de la barra es restringido al plano vertical por las dos barras del p $\acute{o}$ rtico guiado.

Todos los saltos ser $\acute{a}$ n monitorizados por una plataforma de fuerza (Dinascam/IBV; Instituto de Biomec $\acute{a}$ nica de Valencia, Valencia, Espa $\tilde{n}$ a). La altura de salto ser $\acute{a}$  determinada por dos procedimientos de an $\acute{a}$ lisis: velocidad de despegue y tiempo de vuelo (Moir et al., 2009; Moir, 2008). Finalmente, otras variables cin $\acute{e}$ ticas y cinem $\acute{a}$ ticas ser $\acute{a}$ n tambi $\acute{e}$ n analizadas (valores medios y m $\acute{a}$ ximos de fuerza, velocidad y potencia; tasa de desarrollo de fuerza, etc.) en funci $\acute{o}$ n de los diferentes umbrales iniciales utilizados (valores de fuerza absolutos [10 N], valores respecto al peso corporal [5%], etc.).

➤ ***¿Cumpl $\acute{o}$  los criterios de inclusi $\acute{o}$ n para participar en el proyecto?***

Como criterio de inclusi $\acute{o}$ n solicitaremos que los deportistas no presenten ninguna lesi $\acute{o}$ n ni problema m $\acute{e}$ dico que impida la ejecuci $\acute{o}$ n de los ejercicios de entrenamiento y/o evaluaci $\acute{o}$ n. Adem $\acute{a}$ s, la participaci $\acute{o}$ n implicar $\acute{a}$  asistir a todas las sesiones, as $\acute{i}$  como no realizar un entrenamiento sistem $\acute{a}$ tico de fuerza de piernas adicional al realizado en el proyecto.

➤ ***¿C $\acute{o}$ mo puedo obtener m $\acute{a}$ s informaci $\acute{o}$ n sobre la din $\acute{a}$ mica de los tests / entrenamientos?***

En cualquier momento puedes contactarnos por email y estaremos encantados de aclarar cualquier duda que pueda surgir. Puedes contactar con la Investigadora Principal, F. Javier Rojas Ru $\acute{i}$ z en el siguiente email: [fjrojas@ugr.es](mailto:fjrojas@ugr.es).

## **ANEXO 2:**

Currículum Vitae del doctorando.

**Fecha de finalización:** 31/05/2018.

**-Organismo que ha financiado la estancia:** Ayudas a la movilidad para estancias breves y traslados temporales (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte; convocatoria 2017).

**2. Título del proyecto:** Efecto de dos programas de entrenamiento de fuerza en el rendimiento deportivo.

**- Centro:** Facultad de Educación.

**- Localidad:** Concepción (Chile).

**-Fecha de inicio:** 01/07/2019.

**Fecha de finalización:** 30/08/2019.

**-Organismo que ha financiado la estancia:** Programa de Movilidad Internacional para Estudiantes de Programas de Doctorado otorgado por el Vicerrectorado de Internalización de la Universidad de Granada

#### **IV. Participación en Proyectos de Investigación**

**1. Proyecto:** Influencia de la estrategia de exposición a la hipoxia moderada sobre las adaptaciones al entrenamiento de potencia muscular.

**- Código:** DEP2015-64350-P.

**- Entidad financiadora:** Ministerio de economía y competitividad. Programa estatal de fomento de la investigación científica y técnica de excelencia - Subprograma estatal de generación de conocimiento. Convocatoria 2015. Plan Nacional de I+D+i.

**- Responsable:** Feriche Fernández-Castanys, María Belén

**- Fecha inicio:** 01/01/2016

**- Fecha fin:** 01/02/2018.

**- Cuantía total:** 71,148.

#### **V. Publicaciones en Revistas**

1. García-Ramos, A., Jaric, S., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P., & Feriche B. (2017). Reliability and magnitude of mechanical variables assessed from unconstrained and constrained loaded countermovement jumps. *Sports Biomechanics*, 16(4), 514-526. DOI: 10.1080/14763141.2016.1246598.

2. García-Ramos, A., Feriche B., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P., & Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type

provide the most reliable outcomes? *European Journal of Sports Science*, 17(6), 690-698. DOI: 10.1080/17461391.2017.1304999.

3. Morales-Artacho, A.J., Padial, P., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, & Feriche B. (2018). Influence of a cluster set configuration of the adaptations to short-term power training. *Journal of Strength and conditioning Research*, 32(4), 930-937. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001925.

4. **Pérez-Castilla, A.**, Jaric, S., Feriche, B., Padial, P., & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method: Optimization of the load selection. *Journal of Strength and conditioning Research*, 32(5), 1245-1253. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001969.

5. **Pérez-Castilla, A.**, Feriche, B., Jaric, S., Padial, P., & García-Ramos, A. (2017). Validity of a linear velocity transducer for testing maximum vertical jumps. *Journal of Applied Biomechanics*, 33(5), 388-392. DOI: 10.1123/jab.2016-0142.

6. García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F.L., **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F.J., & Haff, G.G. (2018). Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: Which variable determines bench press relative load with higher reliability? *Journal of Strength and conditioning Research*, 32(5), 1273-1279. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001998.

7. García-Ramos, A., Torrejón, A., **Pérez-Castilla, A.**, Morales-Artacho, A.J., & Jaric, S. (2018). Selective changes on the mechanical capacities of lower body muscles after a cycle ergometer sprint training against heavy and light resistances. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 290-297. DOI: 10.1123/ijsp.2017-0239

8. **Pérez-Castilla, A.**, García-Ramos, A., Padial, A., Morales-Artacho, A.J., & Feriche, B. (2020). Load-velocity relationship in variations of the half-squat exercise: Influence of execution technique. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(4), 1024-1031. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002072.

9. García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F.L., **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F.J., & Haff, G.G. (2018). Differences in the load-velocity profile between 4 bench press variants. *International*

*Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 326-331. DOI: 10.1123/ijsp.2017-0158.

10. García-Ramos, A., Torrejón, A., Feriche, B., Morales-Artacho, A.J., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P., & Haff, G.G. (2018). Prediction of the maximum number of repetitions and repetitions in reserve from barbell velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 353-359. DOI: 10.1123/ijsp.2017-0302.

11. **Pérez-Castilla, A.**, McMahon, J.J., Comfort, P., & García-Ramos, A. (2020). Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine: Comparison of the takeoff velocity and flight time procedures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(3), 671-677. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002166.

12. García-Ramos, A., Haff, G.G., Pestaña-Melero, F.L., **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F.J., Balsalobre-Fernandez, C., & Jaric, S. (2018). Feasibility of the 2-point method for determining the 1-repetition maximum in the bench press exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 474-481. DOI: 10.1123/ijsp.2017-0374

13. García-Ramos, A., Torrejón, A., Morales-Artacho, A.J., **Pérez-Castilla, A.**, & Jaric, S. (2018). Optimal Resistive forces for maximizing the reliability of leg muscles' capacities tested on a cycle ergometer. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(1), 47-52. DOI: 10.1123/jab.2017-0056.

14. **Pérez-Castilla, A.**, García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A.J., & Feriche, B. (2018). Effect of different velocity loss thresholds during a power-oriented resistance training program on the mechanical capacities of lower-body muscles. *Journal of Sports Sciences*, 36(12), 1331-1339. DOI: 10.1080/02640414.2017.1376900.

15. Pestaña-Melero, F.L., Haff, G.G., Rojas, F.J., **Pérez-Castilla, A.** & García-Ramos, A. (2018). Reliability of the load-velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1-repetition maximum load. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(3), 184-190. DOI: 10.1123/jab.2017-0266.

16. García-Ramos, A., Torrejón, A., Feriche, B., Morales-Artacho, A.J., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, A. & Jaric, S. (2018). Selective effects of different fatigue protocols on the function of upper-body muscles assessed through the force-velocity relationship. *European Journal of Applied Physiology*, 118(2), 439-447. DOI: 10.1007/s00421-017-3786-7.
17. **Pérez-Castilla, A.**, Comfort, P., McMahon, J.J., Pestaña-Melero, F.L. & García-Ramos, A. (2020). Comparison of the force-, velocity- and power-time curves between the concentric-only and eccentric-concentric bench press exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(6), 1618-1624. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002448.
18. **Pérez-Castilla, A.** & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of the most reliable procedure of determining jump height during the loaded countermovement jump exercise: Take-off velocity vs. flight time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(7), 2025-2030. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002583.
19. García-Ramos, A., Haff, G.G., Jiménez-Reyes, P. & **Pérez-Castilla, A.** (2018). Assessment of upper-body ballistic performance through the bench press throw exercise: Which velocity outcome provides the highest reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2701-2707. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002616.
20. Pestaña-Melero, F.L., Jaric, S., **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F.J. & García-Ramos, A. (2018). Comparison of mechanical outputs between the traditional and ballistic bench press: Role of the type of variable. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Online ahead of print. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002671.
21. Morales-Artacho, A.J., Padial, P., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., & Feriche, B. (2018). Intermittent resistance training at moderate altitude: Effects on the force-velocity relationship, isometric strength and muscle architecture. *Frontiers in Physiology*, 9, 594. DOI: 10.3389/fphys.2018.00594.
22. Morales-Artacho, A.J., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., & Feriche, B. (2018). Associations of the force-velocity profile with isometric strength and neuromuscular factors. *International Journal of Sports Medicine*, 39(13), 984-994. DOI: 10.1055/a-0644-3742.

23. García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.** & Martín, F. (2018). Reliability and concurrent validity of the Velowin optoelectronic system to measure movement velocity during the free-weight back squat. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(5), 737-742. DOI: 10.1177/1747954118791525.
24. Morales-Artacho, A.J., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P., Gomez, A.M., Peinado, A.M., Pérez-Córdoba, J.L., & Feriche, B. (2019). Muscle activation during power-oriented resistance training: Continuous vs. cluster set configurations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), S95-S102. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002671.
25. **Pérez-Castilla, A.**, Jiménez-Reyes, P., Haff, G.G., & García-Ramos, A. (2019). Assessment of the loaded squat jump and countermovement jump exercises with a linear velocity transducer: Which velocity variable provides the highest reliability? *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2018.1540651.
26. García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, Villar-Macías, F. J., Latorre-Román, J., Párraga, J. & García-Pinillos, F. (2018). Differences in the one-repetition maximum and load-velocity profile between the flat and arched bench press in competitive powerlifters. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2018.1544662.
27. García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.** & Jaric, S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2018.1545044.
28. García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, Morales-Artacho, A. J., Almeida, F., Padial, P., Bonitch-Góngora, J., De la Fuente, B. & Feriche, B. (2019). Force-velocity relationship in the countermovement jump exercise assessed by different measurement methods. *Journal of Human Kinetics*, 67, 37-47. DOI: 10.2478/hukin-2018-0085.
29. **Pérez-Castilla, A.**, Suzovic, D., Domanovic, A., Fernandes, J. F. T. & García-Ramos, A. (2019). Validity of different velocity-based methods and repetitions-to-failure equations for predicting the 1-repetition maximum during 2 upper-body pulling exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Online ahead of print. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003076.

30. **Pérez-Castilla, A.**, Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G. & García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003118.
31. García-Ramos, A., Suzovic, D. & **Pérez-Castilla, A.** (2019). The load-velocity profiles of three upper-body pushing exercises in men and women. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2019.1597155.
32. **Pérez-Castilla, A.**, Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 commercially available devices for predicting the bench press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Online ahead of print. DOI: 10.1123/ijsp.2018-0801.
33. Vera, J., **Pérez-Castilla, A.**, Redondo, B., De la Cruz, J. C., Jiménez, R., & García-Ramos, A. (2020). Influence of the breathing pattern during resistance training on intraocular pressure. *European Journal of Sport Science*, 20(2), 157-165. DOI: 10.1080/17461391.2019.1617354.
34. Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., **Pérez-Castilla, A.**, Petrovic, M., & García-Ramos, A. (2019). Magnitude and reliability of mechanical outputs obtained during loaded squat jumps performed from different knee angles. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2019.1618390.
35. **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2019). Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: Which jump starting threshold provides more reliable outcomes? *Journal of Biomechanics*, 92, 19-28. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2019.05.022.
36. Vera, J., Jiménez, R., García-Durán, B., **Pérez-Castilla, A.**, Redondo, B., Delgado, G., George-Alex, K., & García-Ramos, A. (2019). Acute intraocular pressure changes during isometric exercise and recovery: The influence of exercise type and intensity, and

participant's sex. *Journal of Sports Sciences*, 37(19), 2213-2219. DOI: 10.1080/02640414.2019.1626072.

37. Varela-Olalla, D., Campo-Vecino, D. J., Leyton-Román, M., **Pérez-Castilla, A.**, & Basalobre-Fernández, C. (2019). Rating of perceived exertion and velocity loss as variables for controlling the level of effort in the bench press exercise. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2019.1640278.

38. **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F. J., Gómez-Martínez, F., & García-Ramos, A. (2019). Vertical jump performance is affected by the velocity and depth of the countermovement. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2019.1641545.

39. Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., **Pérez-Castilla, A.**, Petrovic, M., Samozino, P. & García-Ramos, A. (2019). Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: Influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *European Journal of Sport Science*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/17461391.2019.1645886.

40. **Pérez-Castilla, A.**, Jerez-Mayorga, D., Martínez-García, D., Rodríguez-Perea, A., Chiroso-Ríos, L. J., & García-Ramos, A. (2020). Influence of grip width and anthropometric characteristics on the bench press load-velocity relationship. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/17461391.2019.1704068.

41. **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and magnitude of loaded countermovement jump performance variables: A technical examination of the jump threshold initiation. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2019.1682649.

42. **Pérez-Castilla, A.**, Martínez-García, D., Jerez-Mayorga, D., Rodríguez-Perea, A., Chiroso-Ríos, L. J., & García-Ramos, A. (2020). Influence of the grip width on the reliability and magnitude of different velocity variables during the bench press exercise. *European Journal of Sport Science*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/17461391.2019.1704068.

43. Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., **Pérez-Castilla, A.**, Petrovic, M., Samozino, P. & García-Ramos, A. (2020). The force-velocity relationship obtained during the squat jump

exercise is meaningfully influenced by the initial knee angle. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2020.1727559.

44. **Pérez-Castilla, A.**, & García-Ramos, A. (2020). Changes in the load-velocity profile following power- and strength-oriented resistance training programs. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Online ahead of print. DOI: 10.1123/ijsp.2019-0840.

45. **Pérez-Castilla, A.**, Jerez-Mayorga, D., Martínez-García, D., Rodríguez-Perea, A., Chiroso-Ríos, L. J., & García-Ramos, A. (2020). Comparison of the bench press one-repetition maximum obtained by different procedures: Direct assessment vs. lifts-to-failure equations vs. two-point method. *International Journal of Sports Science & Coaching*. Online ahead of print. DOI: 10.1177/1747954120911312.

46. Jiménez-Alonso, A., García-Ramos, A., Cepero, M., Miras-Moreno, S., Rojas, F. J., & **Pérez-Castilla, A.** (2020). Velocity performance feedback during the free-weight bench press testing procedure: An effective strategy to increase the reliability and one repetition maximum accuracy prediction. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Online ahead of print. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003609.

47. Petrovic, M., García-Ramos, A., Janicijevic, D., **Pérez-Castilla, A.**, Knezevic, O., & Mirkov, D. (2020). The force-velocity relationship assessed during the single-stroke kayak test can discriminate between 200-m and longer distance (500 and 1000-m) specialists in Canoe Sprint. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Online ahead of print.

48. Vera, J., Redondo, B., Bardón, A., **Pérez-Castilla, A.**, García-Ramos, A., & Jiménez, R. (2020). Effects of caffeine consumption on intraocular pressure during low-intensity endurance exercise: A placebocontrolled, double-blind, balanced crossover study. *Clinical and Experimental Ophthalmology*. Online ahead of print. DOI: 10.1111/ceo.13755.

49. García-Ramos, A., Janicijevic, D., Cobo-Font, J., Marcos-Frutos, D., Fernandes, J. F. T., Taube, W., & **Pérez-Castilla, A.** (2020). Knowledge of results during vertical jump testing: An effective method to increase the performance but not the consistency of vertical jumps. *Sports Biomechanics*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2020.1764090.

50. Vera, J., Redondo, B., **Pérez-Castilla, A.**, Jiménez, R., & García-Ramos, A. (2020). Intraocular pressure increases during dynamic resistance training exercises according to the exercise phase in healthy young adults. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/14763141.2020.1764090
51. Jiménez-Alonso, A., García-Ramos, A., Cepero, M., Miras-Moreno, S., Rojas, F. J., & **Pérez-Castilla, A.** (2020). Effect of augmented feedback on velocity performance during strength-oriented and power-oriented resistance training sessions. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Online ahead of print.
52. García-Pinillos, F., Lago-Fuentes, C., Bujalance-Moreno, P., & **Pérez-Castilla, A.** (2020). Effect of the menstrual cycle when estimating 1-repetition maximum from the load-velocity relationship during the bench press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Online ahead of print.
53. **Pérez-Castilla, A.**, Boullosa, D., & García-Ramos, A. (2020). Reliability and validity of the iLOAD<sup>®</sup> application for monitoring the mean set velocity during the back squat and bench press exercises performed against different loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Online ahead of print.
54. **Pérez-Castilla, A.**, García-Ramos, A., Redondo, B., Fernández-Revelles, A., Jiménez, R., & Vera, J. (2020). Determinant factors of intraocular pressure responses to a maximal isometric handgrip test: hand dominance, handgrip strength and sex. *Current Eye Research*. Online ahead of print. DOI: 10.1080/02713683.2020.1780265

## **VI. Aportaciones en Congresos**

**1. Título de la aportación:** Evaluation of the novel “two-load method” for quick assessment of the mechanical capacities of the leg muscles.

**Nombre del congreso:** V International Scientific Conference Motor Control 2016.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2016.

**Lugar:** Wisla, Polonia.

**Autores:** Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Feriche, B., Padial, P., & Jaric, S.

**2. Título de la aportación:** Reliability of mechanical variables assessed from the loaded squat jump.

**Nombre del congreso:** V International Scientific Conference Motor Control 2016.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2016.

**Lugar:** Wisla, Polonia.

**Autores:** García-Ramos, A., Jaric, S., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Feriche, B.

**3. Título de la aportación:** Refining the methodology to assess power output during the loaded squat jump and countermovement jump.

**Nombre del congreso:** IX International Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** Comunicación oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2016.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** García-Ramos, A., Jaric, S., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Feriche, B.

**4. Título de la aportación:** Influence of the distance between experimental points in the validity of the two-load method.

**Nombre del congreso:** IX International Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2016.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P., & García-Ramos, A.

**5. Título de la aportación:** Validity of the load velocity for power resistance training adjustment at real moderate altitude.

**Nombre del congreso:** ACSM's 64<sup>th</sup> Annual Meeting, 8<sup>th</sup> World Congress on Exercise is Medicine® and World Congress on the Basis Science of Exercise and the Brain.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Denver, Estados Unidos.

**Autores:** Rodríguez-Zamora, L., Morales-Artacho, A.J., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P. & Feriche, B.

**6. Título de la aportación:** Intermittent hypoxic resistance training affects the force-velocity profile.

**Nombre del congreso:** 22<sup>nd</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science.

**Tipo de evento:** Comunicación oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Essen, Germany.

**Autores:** Feriche, B., Morales-Artacho, A.J., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.** & Padial, P.

**7. Título de la aportación:** Estudio de la relación carga-velocidad en las variantes balísticas del ejercicio de media sentadilla: Salto con y sin contramovimiento.

**Nombre del congreso:** X International Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** **Pérez-Castilla, A.**, García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A.J., Feriche, B.

**8. Título de la aportación:** Optimization of the reliability of the force-velocity relationship: What is more important the number of the distance between experimental points?

**Nombre del congreso:** X International Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** Comunicación oral (premiada con el primer puesto).

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** García-Ramos, A., Zivkovic, M., Pérez-Castilla, A., Mirkov, DM., Knezevic, OM., Djuric, S., Dobrijevic, S., Cuk, I., Feriche, B., Padial, P., Moralez-Artacho, AJ., Pestaña-Melero, FL., Jaric, S.

**9. Título de la aportación:** Determinación de la relación carga-velocidad en el ejercicio de press de banca mediante modelos de regresión lineal y polinomial.

**Nombre del congreso:** X Internacional Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** Pestaña-Melero, FL., Rojas, FJ., Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A.

**10. Título de la aportación:** Análisis de los parámetros mecánicos del ippon-seoi-nage y su relación con el perfil fuerza-velocidad del tren inferior en judokas de élite.

**Nombre del congreso:** X Internacional Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** Almeida, F., Bonitch-Góngora, J., Padial, P., García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Morales-Artacho, AJ., De la Fuente, B., Calderón-Soto, C., Feriche, B.

**11. Título de la aportación:** Assessing muscle strength: How does the force-velocity profile relate to maximal and explosive isometric strength performance of the knee extensors?

**Nombre del congreso:** X Internacional Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2017.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** Morales-Artacho, AJ., García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., Feriche, B.

**12. Título de la aportación:** Reliability of three velocity variables to evaluate vertical jump and bench press throw performance.

**Nombre del congreso:** 23<sup>rd</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science.

**Tipo de evento:** comunicación mini-oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2018.

**Lugar:** Dublín, Irlanda.

**Autores:** Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A.

**13. Título de la aportación:** Effect of altitude strength training on neuromuscular function.

**Nombre del congreso:** 23<sup>rd</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science.

**Tipo de evento:** comunicación mini-oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2018.

**Lugar:** Dublín, Irlanda.

**Autores:** Štirn, I., Tomazin, K., Smajla, D., Strojnik, V., Padial, P., Almeida, F., Morales-Artacho, A., Bonitch-Gongora, J., De La Fuente, B., Calderón, C., Pérez-Castilla, A., Feriche, B.

**14. Título de la aportación:** Optimización de la predicción de la repetición máxima a partir de la relación carga-velocidad.

**Nombre del congreso:** X Congreso Internacional de la Asociación Española de Ciencias del Deporte.

**Tipo de evento:** Simposio.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2018.

**Lugar:** A Coruña, España.

**Autores:** Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A.

**15. Título de la aportación:** Precisión en la estimación de la repetición máxima durante dos ejercicios de tracción: Métodos basados en velocidad de ejecución vs. repeticiones al fallo.

**Nombre del congreso:** XI International Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2018.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A.

**16. Título de la aportación:** Reliability of the force-velocity relationship during the squat jump exercise: effect of the knee angle, measurement method and number of loads.

**Nombre del congreso:** XI Internacional Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** comunicación oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2018.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** García-Ramos, A., Janicijevic, D., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Knezevic, O., Mirkov, D.

**17. Título de la aportación:** Acute intraocular pressure responses to squat exercise are dependent on the breathing pattern.

**Nombre del congreso:** XI Internacional Symposium in Strength Training.

**Tipo de evento:** póster (premiada con el primer puesto).

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2018.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** Vera, J., Pérez-Castilla, A., Redondo, B., De la Cruz, J.C., Jiménez, R., García-Ramos, A.

**18. Título de la aportación:** Variación de la presión intraocular al ejecutar media sentadilla con y sin aplicación de flujo sanguíneo.

**Nombre del congreso:** 5º Congreso Internacional de Readaptación y Prevención de Lesiones en Actividad Física y del Deporte y 3º Congreso internacional de Salud y Ejercicio Físico.

**Tipo de evento:** comunicación oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2019.

**Lugar:** Valencia, España.

**Autores:** Martín, F., Doménech, A., García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Delgado-García, G., Piepoli, A.

**19. Título de la aportación:** Reliability of power and velocity variables collected during the bench pull exercise.

**Nombre del congreso:** 24<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science.

**Tipo de evento:** póster.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2019.

**Lugar:** Praga, República de Checa.

**Autores:** Pérez-Del Río, A., García-Ramos, A., Hollrigl, L., **Pérez-Castilla, A.**, Patterson, C., Raschner, C.

**20. Título de la aportación:** Differences in the load-velocity profile among three upper-body pressing exercises.

**Nombre del congreso:** 24<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science.

**Tipo de evento:** comunicación oral.

**Ámbito:** Internacional.

**Año:** 2019.

**Lugar:** Praga, Republica Checa.

**Autores:** Suzovic, D., García-Ramos, A., **Pérez-Castilla, A.**

**21. Título de la aportación:** El rendimiento del salto vertical está influenciado por la velocidad y profundidad del contramovimiento.

**Nombre del congreso:** XLII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.

**Tipo de evento:** comunicación oral.

**Ámbito:** Nacional.

**Año:** 2019.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, FJ., García-Ramos, A.

**22. Título de la aportación:** Fiabilidad de la velocidad de ejecución de 3 modalidades del ejercicio de press de banca: Influencia del nivel de experiencia.

**Nombre del congreso:** XLII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.

**Tipo de evento:** comunicación oral (premiada con el primer puesto).

**Ámbito:** Nacional.

**Año:** 2019.

**Lugar:** Madrid, España.

**Autores:** García-Ramos, A., Janicijevic, D., González-Hernández, JM., Ulloa-Díaz, D., Cuevas-Aburto, J., **Pérez-Castilla, A.**, Rojas, FJ.

## **VII. Capítulos de Libro**

**1. Título del capítulo:** Reliability and validity of the “two-load method” to determine leg extensors maximal mechanical capacities.

**Autores del capítulo:** **Pérez-Castilla, A.**, García-Ramos, A., Feriche, B., Padial, P., & Jaric, S.

**Título del libro:** Current research in motor control V. Bridging motor control and biomechanics.

**Editorial:** BiuroTEXT.

**ISBN:** 978-83-64036-64-4.

**Año:** 2016.

**2. Título del capítulo:** Reliability of mechanical variables assessed from the loaded squat jump.

**Autores del capítulo:** García-Ramos, A., Jaric, S., **Pérez-Castilla, A.**, Padial, P., & Feriche, B.

**Título del libro:** Current research in motor control V. Bridging motor control and biomechanics.

**Editorial:** BiuroTEXT.

**ISBN:** 978-83-64036-64-4.

**Año:** 2016.

## **VIII. Idiomas**

1. ISE II Integrated Skills in English (CEFR Level B2). Trinity College London. Fecha de examen: Diciembre, 2017.

## **IX. Becas y Reconocimientos**

1. Beca de Colaboración. Ministerio de Educación Cultura y Deporte. Convocatoria 2014/2015.

2. Beca del Programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Convocatoria 2015.

3. Ayudas a la movilidad para estancias breves y traslados temporales. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Convocatoria 2017.

4. Beca del Programa de Movilidad Internacional para Estudiantes de Programas de Doctorado otorgado por el Vicerrectorado de Internalización de la Universidad de Granada. Convocatoria del curso académico 2018/2019.

5. 1º premio a la mejor comunicación oral del X Internacional Symposium in Strength Training: “Optimization of the reliability of the force-velocity relationship: What is more important the number of the distance between experimental points?” por Amador, García-Ramos; Milena, Zivkovic; **Alejandro, Pérez-Castilla**; Dragan M., Mirkov; Olivera M., Knezevic; Sasa, Djuric; Slobodanka, Dobrijevic; Ivan, Cuk; Belén, Feriche; Paulino, Padial; Antonio J., Moralez-Artacho; Francisco L., Pestaña-Melero; Slobodan, Jaric.

6. 2º premio a la mejor comunicación en formato póster del XI Internacional Symposium in Strength Training: “Acute intraocular pressure responses to squat exercise are dependent on the breathing pattern“ por Jesús, Vera; **Alejandro, Pérez-Castilla**; Beatriz, Redondo; Juan Carlos, De la Cruz; Raimundo, Jiménez; Amador, García-Ramos.

7. 1º premio a la mejor comunicación oral del XLII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales “Fiabilidad de la velocidad de ejecución de 3 modalidades del ejercicio de press de banca: Influencia del nivel de experiencia” por Amador, García-Ramos; Danica, Janicijevic; Jorge M, González-Hernández; David, Ulloa-Diaz; Jesualdo, Cuevas-Aburto; **Alejandro, Pérez-Castilla**; F. Javier, Rojas.

#### **X. Revisor Revistas Científicas**

1. Sports Biomechanics. Edita: Routledge (Taylor & Francis). Print ISSN: 1467-3141. Online ISSN: 1752-6116. <http://www.tandfonline.com/loi/rspb20>

2. Journal of Sports Sciences. Edita: Routledge (Taylor & Francis). Print ISSN: 0264-0414. Online ISSN: 1466-447X. <http://www.tandfonline.com/loi/rjsp20>

3. PLOS ONE. Edita: Public Library of Science. eISSN: 1932-6203.  
<https://journals.plos.org/plosone/>
4. International Journal of Sports Physiology and Performance. Edita: Human Kinetics. Print ISSN: 1555-0265. Online ISSN: 1555-0273.  
<https://journals.humankinetics.com/page/about/ijsp>
5. Journal of Biomechanics. Edita: Elsevier. Print ISSN: 0021-9290.  
<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-biomechanics>
6. Revista Internacional en Ciencias del Deporte. Edita: RECYDE. ISSN: 1885-3137. Doi:10.5232/riCyde. <https://www.cafyd.com/REVISTA/ojs/index.php/ricyde>
7. Revista Cultura\_Ciencias\_Deporte. Edita: Universidad Católica San Antonio de Murcia. ISSN: 1696-5043. eISSN: 1989-7413. <http://ccd.ucam.edu/index.php/revista>
8. Journal of Strength and Conditioning Research. Edita: Lippincott Williams & Wilkins. Print ISSN: 1064-8011. Online ISSN: 1533-4287. <https://journals.lww.com/nsca-jscr/pages/default.aspx>
9. Journal of Sports Science & Medicine. Edita: Journal of Sports Science and Medicine. ISSN: 1303-2968. <https://www.jssm.org/>
10. RETOS. Nuevas tendencias en Educación Física, Deportes y Recreación. Edita: Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física. ISSN: 1988-2041.  
<https://recyt.fecyt.es//index.php/retos>
11. Scientific Reports. Edita: Springer Nature. Online ISSN: 2045-2322.  
<https://www.nature.com/srep/>

## **XI. Docencia Impartida**

**1. Asignatura/curso:** Entrenamiento Deportivo (curso 2017/2018).

**Departamento/centro:** Educación Física y Deportiva (Facultad de Ciencias del Deporte).

**Duración de las practicas:** 30 horas (3 créditos).

**Fechas durante las que se ha impartido:** desde 13 de septiembre 2017 al 22 de diciembre 2017.

**2. Asignatura/curso:** Biomecánica del Movimiento Humano (curso 2018/2019).

**Departamento/centro:** Educación Física y Deportiva (Facultad de Ciencias del Deporte).

**Duración de las practicas:** 30 horas (3 créditos).

**Fechas durante las que se ha impartido:** desde 14 de febrero 2019 al 31 de mayo 2019.

**3. Asignatura/curso:** Juegos Motores (curso 2017/2018).

**Departamento/centro:** Educación Física y Deportiva (Facultad de Ciencias del Deporte).

**Duración de las practicas:** 30 horas (3 créditos).

**Fechas durante las que se ha impartido:** desde 14 de febrero 2019 al 31 de mayo 2019.

**4. Asignatura/curso:** Biomecánica del Movimiento Humano (curso 2019/2020).

**Departamento/centro:** Educación Física y Deportiva (Facultad de Ciencias del Deporte).

**Duración de las practicas:** 60 horas (6 créditos).

**Fechas durante las que se ha impartido:** desde 11 de febrero 2020 al 27 de mayo 2020.

## **XII. Asistencia a Conferencias, Seminarios o Reuniones de Relevancia Científica**

1. Asistencia al V International Scientific Conference Motor Control 2016, Bridging Motor Control and Biomechanics, realizado el 14-16 de septiembre de 2016. Wisla, Polonia.

2. Asistencia al IX International Symposium in Strength Training, realizado el 16-17 de diciembre de 2016. Madrid, España.

3. Asistencia al V International Congress on Team Sports, realizado el 23-25 de marzo de 2017. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.

4. Asistencia a las II Jornadas de iniciación a la docencia universitaria para contratados predoctorales FPU y FPI, organizadas por la Unidad de Calidad, Innovación y Prospectiva de la Universidad de Granada, realizadas el 25-26 de septiembre, con una duración de 20 horas.

5. Asistencia al X International Symposium in Strength Training, realizado el 15-16 de diciembre de 2017. Madrid, España.
6. Asistencia al 23<sup>rd</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science, realizado 4-7 de Julio de 2018. Dublín, Irlanda.
7. Asistencia al X Congreso Internacional de la Asociación Española de Ciencias del Deporte, realizado 21-23 de julio de 2018. A Coruña, España.
8. Asistencia al XI Simposio International de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza, realizado 14-15 de diciembre de 2018. Madrid, España.
9. Asistencia al taller de Formulación de proyectos Fondecyt (Iniciación, Regular, PostDoctorado), con una duración de 3 horas, en marco de la Academia de Formación en Investigación celebrada el 24 de julio de 2019 en el Campus San Andrés de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.
10. Asistencia al taller de Desarrollo de habilidades de escritura técnica para la investigación: análisis, planificación, resultados, impacto, con una duración de 3 horas, en marco de la Academia de Formación en Investigación celebrada el 24 de julio de 2019 en el Campus San Andrés de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.
11. Asistencia al taller de Redes sociales científicas: cómo lograr visibilidad e impacto de nuestra investigación, con una duración de 3 horas, en marco de la Academia de Formación en Investigación celebrada el 26 de julio de 2019 en el Campus San Andrés de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.
12. Asistencia al taller de Ética científica: autoría, plagio, divulgación científica, con una duración de 3 horas, en marco de la Academia de Formación en Investigación celebrada el 26 de julio de 2019 en el Campus San Andrés de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.
13. Asistencia al XLII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales, realizado 15-16 de noviembre de 2019. Madrid, España.

### **XIII. Otros Méritos**

1. Curso: Socorrismo acuático y terrestre, realizado del 2 al 25 de marzo de 2012, con una duración de 120 horas. Certificación emitida por Neosport S.L.
  
2. Curso: Técnico de salas fitness, realizado del 22 al 24 de noviembre de 2012, con una duración de 20 horas. Certificación emitida por Flussport G.D.
  
3. Curso: Soporte vital básico y desfibrilización semiautomática, realizado el 27 de junio de 2013, con una duración de 16 horas. Certificación emitida por Programa de Formación del Plan Nacional de RCP de la SEMICYUC.
  
4. Curso: Formación básica para Protección Civil, realizado del 6 al 21 de abril de 2013, con una duración de 45 horas. Certificación emitida por Escuela de Seguridad Publica Andaluza.
  
5. Curso: Monitor de ocio y tiempo libre, realizado en el año 2013, con una duración de 300 horas. Certificación emitida por Euroinnova Formación S.L.
  
6. Curso: Monitor de ocio y tiempo libre, realizado del 15 de abril al 5 de mayo del 2013, con una duración de 110 horas. Certificación emitida por Universidad Antonio de Nebrija.
  
7. Curso: Monitor superior de entrenador personal, realizado en el año 2013, con una duración de 300 horas. Certificación emitida por Euroinnova Formación S.L.
  
8. Curso: Entrenador personal, realizado del 24 al 26 de octubre de 2013, con una duración de 20 horas. Certificación emitida por Fundación General UGR-Empresa.
  
9. Curso: Nutrición, realizado en el año 2016, con una duración de 60 horas. Certificación emitida por Aula Mentor.
  
10. Curso: Monitor de natación, realizado en el año 2016, con una duración de 75 horas. Certificación emitida por Real Federación Española de Natación.

11. Grado medio en enseñanzas deportivas de fútbol (primer nivel), realizado el año académico 2015/2016, con una duración de 455 horas. Certificación emitida por R.F.A.F. CEDIFA.

12. Curso: Técnicas estadísticas aplicadas en el ámbito de la salud, realizado en el año 2017, con una duración de 20 horas. Certificado emitido como actividades formativas de la Escuela de Doctorado de Ciencias de la Salud (universidad de Granada).

13. Grado medio en enseñanzas deportivas de fútbol (segundo nivel), realizado el año académico 2016/2017, con una duración de 565 horas. Certificación emitida por R.F.A.F. CEDIFA.

14. Curso: Revisión Sistemática, realizado en el año 2018, con una duración de 20 horas. Certificado emitido como actividades formativas de la Escuela de Doctorado de Ciencias de la Salud (universidad de Granada).

15. Curso: Iniciación a la Docencia Universitaria (10ª Edición), realizado desde el 13 de septiembre de 2018 al 15 de mayo de 2019, con una duración de 200 horas. Certificado emitido por la Unidad de Calidad, Innovación y Prospectiva (Universidad de Granada).