

## Pérdida de rendimiento en sprints resistidos asociado a la madurez en jóvenes futbolistas

### Performance loss in resisted sprints associated with maturity in young soccer players

\*Luis Miguel Fernández Galván, \*\*Adrián Castaño-Zambudio, \*\*Alexander Gil-Arias, \*\*Arturo Casado

\*Universidad Jaume I (España), \*\*Universidad Rey Juan Carlos (España)

**Resumen.** El objetivo fue determinar la influencia del estado madurativo en la pérdida de rendimiento del sprint y del sprint resistido en jóvenes futbolistas. Se evaluó la madurez biológica en 56 participantes y se agruparon según los años predichos a partir de la pico de velocidad de crecimiento (PHV) (pre-, mid- y post-PHV). Las diferencias entre grupos se determinaron a través de análisis de covarianzas. El tiempo del sprint de 30 m se midió mediante la aplicación MySprint. En el sprint de 5 m se observó una mayor pérdida de rendimiento entre mid- y pre-PHV que entre post- y mid-PHV ( $ES = -0.90$  a  $-0.57$  vs  $-0.52$  a  $-0.34$ ). En 30 m se mostró una mayor pérdida entre post- y mid-PHV que entre mid- y pre-PHV ( $ES = -1.04$  a  $-0.69$  vs  $-0.81$  a  $-0.56$ ). Es importante considerar el desfase madurativo en la optimización del sprint a largo plazo en jóvenes deportistas.

**Palabras clave:** Maduración biológica, fútbol, entrenamiento de sprint resistido, adolescente.

**Abstract.** The objective was to determine the influence of maturational status on the loss of sprint performance and resisted sprint performance in young soccer players. Biological maturity was assessed in 56 participants, who were grouped according to predicted years from peak height velocity (PHV) (pre-, mid-, and post-PHV). Differences between groups were determined through covariance analysis. The 30 m sprint time was measured using the MySprint application. For the 5 m sprint, a greater performance loss was observed between mid- and pre-PHV compared to post- and mid-PHV ( $ES = -0.90$  to  $-0.57$  vs.  $-0.52$  to  $-0.34$ ). Over 30 m, a greater loss was observed between post- and mid-PHV compared to mid- and pre-PHV ( $ES = -1.04$  to  $-0.69$  vs.  $-0.81$  to  $-0.56$ ). It is important to consider maturational timing in the long-term optimization of sprint performance in young athletes.

**Keywords:** Biological maturation, football, resisted sprint training, adolescents.

Fecha recepción: 15-05-24. Fecha de aceptación: 07-07-24

Arturo Casado

[arturo.casado@urjc.es](mailto:arturo.casado@urjc.es)

### Introducción

La maduración biológica, definida como el tiempo y el proceso requeridos para alcanzar la madurez adulta (Malina y Bouchard, 1992), se evalúa comúnmente a través de la clasificación de la edad esquelética (Tanner y Whitehouse, 1976), el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios (Marshall y Tanner, 1970), y la medición de indicadores antropométricos para estimar el PHV mediante la maduración somática (Mirwald et al., 2002).

La variabilidad interindividual en el ritmo de maduración biológica entre sujetos de la misma edad cronológica subraya su papel crítico como determinante del rendimiento deportivo (Ford et al., 2011) y la identificación temprana de jóvenes talentos (Albaladejo-Saura et al., 2021). Durante la pubertad y, especialmente, la adolescencia, el proceso de maduración biológica muestra una notable heterogeneidad, con diferencias de hasta 4 a 5 años en la madurez esquelética entre individuos de la misma edad cronológica (García Massó et al., 2022).

En el contexto del fútbol juvenil, las demandas físicas durante un partido muestran que los jugadores recorren distancias totales que varían de los 6.000 a 9.000 metros (m), de los cuales entre 350 y 550 m se realizan a alta intensidad ( $>16$  a  $19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) (Buchheit et al., 2010). Además, se realizan unas 80 aceleraciones con una duración de entre 2 a 4 segundos (Núñez et al., 2018), siendo el sprint lineal en espacios inferiores a  $10 \text{ m}^2$  una de las acciones más decisivas en el resultado

final de un partido (Castagna et al., 2003; Faude et al., 2012), por lo que su evaluación y optimización podrían resultar determinantes en el desarrollo a largo plazo del deportista (Faude et al., 2012).

Es conocido que el rendimiento en el sprint está significativamente influenciado por la potencia generada al inicio de la acción, la cual depende de la capacidad del sujeto de producir fuerza y velocidad a través del sistema neuromúsculo-articular (Jiménez-Reyes et al., 2018). En la literatura especializada, numerosos estudios han explorado diversas metodologías de entrenamiento para optimizar la eficacia del sprint en jóvenes futbolistas (Lloyd et al., 2016; Rumpf et al., 2012, 2015). Una de estas metodologías es el sprint resistido (RST) que consiste en realizar un sprint sobrecargado (por ejemplo, con trineo o chaleco) lo que resulta en un mayor reclutamiento de unidades motoras rápidas y una activación neuronal incrementada en comparación con sprints sin resistencia (Cronin et al., 2008). Además, este tipo de entrenamiento afecta la técnica de carrera (cinemática) y la capacidad de producción de fuerza (cinética) (Cronin et al., 2008).

Investigaciones previas han mostrado que las capacidades de sprint de 5 m y 20 m pueden ser evaluadas independientemente de la edad cronológica o al desfase (Edwards, et al., 2021; Fernández-Galván et al., 2021). Además, se ha observado que sujetos en la etapa post-PHV presentan capacidades de aceleración superiores y tiempos parciales más rápidos en comparación con aquellos en las etapas pre- y mid-PHV, sugiriendo que podría existir un desarrollo acelerado de las características de

aceleración del sprint en el mid-PHV hasta después del post-PHV (Edwards, et al., 2021). Sin embargo, hasta donde se conoce, ningún estudio se ha dirigido a determinar los efectos del estado madurativo en la pérdida de rendimiento en el sprint resistido.

Por ello, el objetivo fue determinar la influencia del estado madurativo en la pérdida de rendimiento de sprint derivada de la inclusión de cargas crecientes durante las pruebas de sprint y sprint resistido en jóvenes futbolistas. Se plantea la hipótesis de que, durante la fase de aceleración, las mayores pérdidas de rendimiento se observarán en los grupos pre-PHV y mid-PHV. Asimismo, se plantea la hipótesis de que, en las fases de sprint y velocidad máxima, los grupos mid-PHV y post-PHV experimentarán las pérdidas de rendimiento más significativas. Los resultados del estudio podrían proporcionar a los profesionales del entrenamiento deportivo valiosas perspectivas para la planificación más efectiva de los regímenes de entrenamiento, adaptándolos a las necesidades específicas de desarrollo de los atletas según su fase madurativa.

## Material y métodos

### Diseño de la investigación

Se llevó a cabo un estudio observacional de carácter analítico para evaluar el impacto del estado madurativo en el rendimiento en el sprint sin carga y con cargas del 25% y 50% del peso corporal (PC) en las distintas fases del sprint: aceleración (0-5 m), sprint completo (0-30 m) y velocidad máxima de sprint (20-30 m). Basándose en el tiempo empleado para completar los 30 m, se generaron nuevas variables dependientes que incluyen: la diferencia entre el tiempo con carga del 50% del PC y el 25% del PC, el tiempo con carga del 50% del PC menos el tiempo del sprint sin carga, y el tiempo con carga del 25% del PC menos el tiempo del sprint sin carga. La prueba se llevó a cabo en una pista sintética, empleando un medidor meteorológico manual para registrar las condiciones ambientales, incluyendo temperatura del aire, humedad, velocidad y dirección del viento.

### Participantes

La muestra estuvo compuesta por 56 futbolistas de la misma academia, todos con al menos tres años de experiencia en fútbol y entrenamiento de fuerza, incluyendo ejercicios como sentadillas con saltos, flexiones, hip-thrust y carreras cuesta arriba. Antes de la toma de datos, los participantes fueron examinados por el personal médico del club para confirmar que no tenían lesiones musculoesqueléticas en las extremidades inferiores que pudieran afectar a su capacidad para realizar esfuerzos submáximos. Todos los participantes recibieron información clara sobre los objetivos de la investigación y los procedimientos del estudio y dieron su consentimiento por escrito para participar. Como los jugadores eran

menores de edad, los padres o tutores legales dieron su permiso y se preservó el anonimato de todos los participantes. El estudio se realizó de acuerdo con los principios y directrices de la Declaración de Helsinki. Fue aprobado por el comité ético de la Universidad Rey Juan Carlos (protocolo número 3103202314923).

Los sujetos fueron clasificados en categorías pre-PHV, mid-PHV y post-PHV, basándose en su madurez. Como preparación, participaron en un programa de familiarización con entrenamientos de sprint de trineo, usando cargas de leves a moderadas durante las tres semanas previas a la evaluación. En la primera semana, hicieron dos series de 12 sprints de 30 m con cargas del 20% de su PC. En la segunda semana, completaron dos series de 10 sprints de 30 m con cargas del 40% de su PC. Finalmente, en la tercera semana, realizaron dos series de 8 sprints de 30 m con cargas del 50% de su PC. Debe considerarse que, según la literatura existente, no hay consenso sobre cuál es la carga óptima para mejorar el rendimiento en sprints en jóvenes atletas (Rumpf et al., 2015), y se sugiere que las cargas del 25-50% del PC pueden ser beneficiosas y no perjudiciales a estas edades (Uthoff et al., 2019).

### Medidas

#### Evaluación de la madurez

Para cada participante, se registraron la altura en posición de pie y sentada, así como la masa corporal, utilizando un estadiómetro con una precisión de hasta 0.1 centímetros (cm) (WCS) y una báscula eléctrica con una precisión de hasta 0.01 kilogramos (kg) (Tanita BF-522W, Japón). La altura en posición sentada se midió con el individuo ubicado en un asiento de 42 cm de altura, asegurando que tanto las nalgas como los hombros estuvieran en contacto con el estadiómetro. Para todas las mediciones, se requirió que los participantes estuvieran descalzos.

La estimación del desfase madurativo se realizó siguiendo el protocolo propuesto por Mirwald et al., (2002). Se seleccionó este método debido a su carácter no invasivo y a los niveles de precisión de medición que presenta, los cuales son satisfactorios, con una estimación del error estándar de 0.59 años y un intervalo de confianza (IC) del 95% de  $\pm 1.18$  años. Dicha metodología se recomienda para su aplicación en adolescentes de edades comprendidas entre 10 y 18 años ( $14 \pm 4$  años). La ecuación utilizada es específica para cada sexo y calcula el desfase de la madurez a partir de la edad cronológica, el peso corporal (en kg), la altura (en cm), la altura en posición sentada (en cm) y la longitud estimada de la pierna (en cm).

*Desfase de madurez (chicos) =  $- 9.236 + (0.0002708 \times [Longitud\ de\ la\ pierna \times\ altura\ sentada]) - (0.001663 \times [edad \times\ longitud\ de\ la\ pierna]) + (0.007216 \times [edad \times\ altura\ sentada]) + 0.02292 \times (masa / altura)$ .*

La categorización de los grupos, en función de su relación con el PHV, se estableció de la siguiente manera: pre-PHV

para valores inferiores a -0.6; mid-PHV para aquellos entre -0.5 a 0.5; y post-PHV para valores superiores a 0.6.

#### *Sprint de 30 m*

Previo a la realización del sprint de 30 m, los participantes llevaron a cabo un calentamiento estandarizado de 21 minutos (min), el cual se dividió en tres fases: 7 min de trote, seguidos por 7 min de estiramiento dinámico enfocado en los músculos de las extremidades inferiores, y 7 min de sprints progresivos de 30 m a intensidades del 50%, 70% y 90% de la velocidad máxima auto percibida de cada jugador. Concluido el calentamiento, los participantes llevaron a cabo tres sprints de 30 m bajo distintas condiciones: el primero se realizó sin carga adicional; en el segundo, se añadió una carga correspondiente al 25% del PC de cada participante; y el tercer sprint se llevó a cabo con una carga equivalente al 50% del PC. Todas las cargas fueron cuidadosamente individualizadas, ajustándose al PC específico de cada participante. Con el fin de monitorear el rendimiento a lo largo de los sprints, se colocaron marcadores a los 5, 20, y 30 m.

Para ejecutar el sprint resistido, se empleó un trineo que estaba conectado a la cintura del participante mediante una cuerda no elástica de 2 m de longitud. Al prepararse para el inicio del sprint, el atleta se posicionaba en una marca ubicada a 60 cm detrás de la línea de salida. Esta posición inicial requería una pierna adelantada y el tronco inclinado hacia adelante para maximizar la efectividad del arranque. Antes de empezar a correr, los atletas debían tirar suavemente del trineo para mantener la cuerda con una tensión uniforme.

Para estimar el tiempo necesario para recorrer una distancia de 30 m, se capturaron imágenes de vídeo a una frecuencia de 240 Hz utilizando la cámara de un smartphone (iPhone 11, Apple Inc, Cupertino, Ca) con una resolución HD de 1080p. El inicio del sprint se identificó en el primer fotograma en el que la pierna trasera del participante mostraba claramente empuje y movimiento hacia adelante. Para asegurar la precisión de esta medida, tres investigadores independientes realizaron esta evaluación de forma separada, utilizando un procedimiento de consenso establecido para resolver cualquier discrepancia. El tiempo se midió en el momento preciso en que se estimó que el centro de masa teórico del participante cruzaba cada marcador, utilizando la aplicación MySprint (Apple

Inc, EE.UU.), una herramienta previamente validada para la medición precisa del tiempo de sprint y sus fases (Romero-Franco et al., 2017). Para eliminar la influencia del tiempo de reacción, se instruyó a los participantes a iniciar el sprint cuando lo desearan, y se les motivó verbalmente a ejercer el máximo esfuerzo en la distancia completa de 30 m, siguiendo un protocolo de aliento estandarizado para asegurar la consistencia en la motivación proporcionada a todos los participantes.

#### *Análisis estadístico*

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 24.0 (Chicago, IL, EUA). Las figuras se elaboraron con Microsoft® Excel® para Mac, versión 16.41 (Microsoft Company). La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y la homogeneidad de varianzas se verificó con el test de Levene. Se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA) para examinar el impacto del grupo de madurez en la pérdida de rendimiento del sprint, ajustando por la experiencia de entrenamiento como covariable. Los tamaños del efecto (ES) se estimaron mediante la eta cuadrada parcial ( $\eta_p^2$ ), interpretándose los valores como pequeños ( $\geq 0.01$ ), medianos ( $\geq 0.06$ ) o grandes ( $\geq 0.14$ ), según Richardson (2011). Para identificar diferencias significativas entre grupos, se aplicaron pruebas post hoc de Bonferroni. Los tamaños del efecto de Cohen se categorizaron siguiendo a Hopkins et al., (2009):  $< 0.2$  = trivial;  $0.2-0.6$  = pequeño;  $0.6-1.2$  = moderado;  $1.2-2.0$  = grande;  $2.0-4.0$  = muy grande; y  $> 4.0$  = extremadamente grande. Además, se calcularon intervalos de confianza del 95% (IC95%), y el nivel de significación se estableció en .05.

#### **Resultados**

Las características descriptivas de los datos antropométricos y el rendimiento en las fases del sprint de los participantes se resumen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1.

Estadística descriptiva (media  $\pm$  desviación estándar) para edad, altura, peso corporal, índice de masa corporal, desfase madurativo, años hasta el pico de velocidad de crecimiento y años de experiencia.

	Pre-PHV (n = 23)	Mid-PHV (n = 17)	Post-PHV (n = 16)
Edad (años)	11.26 $\pm$ 1.03	13.86 $\pm$ 0.81	16.52 $\pm$ 1.33
Altura (m)	1.46 $\pm$ 0.58	1.59 $\pm$ 0.38	1.72 $\pm$ 0.61
Peso corporal (kg)	41.52 $\pm$ 6.26	53.94 $\pm$ 9.64	65.94 $\pm$ 11.14
IMC (Kg·m <sup>-2</sup> )	19.46 $\pm$ 2.49	21.14 $\pm$ 3.37	22.01 $\pm$ 3.16
Desfase madurativo (años)	-2.11 $\pm$ 0.63	0.02 $\pm$ 0.59	2.38 $\pm$ 0.93
Años hasta PHV	13.37 $\pm$ 0.61	13.84 $\pm$ 0.41	14.12 $\pm$ 0.77
Experiencia entrenamiento (años)	3.13 $\pm$ 0.92	5.06 $\pm$ 1.39	6.56 $\pm$ 1.86

Tabla 1. PHV. pico de velocidad de crecimiento; IMC. Índice de masa corporal.

Tabla 2.

Estadística descriptiva (media ± desviación estándar) del tiempo empleado en recorrer un sprint de 5 m, 20 m y 30 m sin carga y con cargas del 25% y 50% del peso corporal del sujeto.

Variable	Grupo	Media ± SD	Variable	Media ± SD	Variable	Media ± SD
5 m sin carga	pre-PHV	1.64 (0.1)	5 m - 25%PC	2.1 (0.2)	5 m - 50%PC	2.53 (0.3)
	mid-PHV	1.53 (0.1)		1.88 (0.2)		2.23 (0.2)
	post-PHV	1.54 (0.1)		1.84 (0.1)		2.16 (0.2)
20 m sin carga	pre-PHV	4.35 (0.3)	20 m - 25%PC	5.45 (0.5)	20 m - 50%PC	6.79 (0.8)
	mid-PHV	3.99 (0.2)		4.92 (0.4)		5.97 (0.6)
	post-PHV	3.83 (0.2)		4.54 (0.2)		5.44 (0.3)
30 m sin carga	pre-PHV	6.1 (0.4)	30 m - 25%PC	7.65 (0.8)	30 m - 50%PC	9.77 (1.4)
	mid-PHV	5.58 (0.4)		6.86 (0.6)		8.47 (1.1)
	post-PHV	5.28 (0.3)		6.26 (0.2)		7.55 (0.5)
5 m 50%PC - 25%PC	pre-PHV	0.42 (0.1)	5 m 50%PC - sin carga	0.88 (0.2)	5 m 25%PC - sin carga	0.46 (0.2)
	mid-PHV	0.35 (0.1)		0.7 (0.2)		0.35 (0.1)
	post-PHV	0.31 (0.1)		0.62 (0.1)		0.3 (0.1)
30 m 50%PC - 25%PC	pre-PHV	2.11 (0.8)	30 m 50%PC - sin carga	3.66 (1.1)	30 m 25%PC - sin carga	1.55 (0.5)
	mid-PHV	1.60 (0.5)		2.88 (0.8)		1.28 (0.5)
	post-PHV	1.29 (0.3)		2.26 (0.3)		0.97 (0.2)
20 a 30 m 50%PC - 25%PC	pre-PHV	0.77 (0.4)	20 a 30 m 50%PC - sin carga	1.23 (0.5)	20 a 30 m 25%PC - sin carga	0.46 (0.2)
	mid-PHV	0.55 (0.2)		0.91 (0.3)		0.36 (0.2)
	post-PHV	0.39 (0.1)		0.65 (0.1)		0.27 (0.1)

Tabla 2. Variable, tiempo empleado en recorrer la distancia de sprint en segundos; PHV. pico de velocidad de crecimiento; PC. Peso corporal; SD. Desviación estándar.

El ANCOVA reveló diferencias estadísticamente significativas en los tiempos empleados en recorrer las distancias de 0 a 5 m, 0 a 30 m y 20 a 30 m entre los grupos de maduración, con todos los valores <.05 (ver tabla 3).

En la figura 1 se muestran los ES y las inferencias relativas al rendimiento en la distancia de 0 a 5 m, destacando una mayor diferencia en la pérdida de rendimiento entre el grupo pre- y mid-PHV en comparación con el grupo mid- y post-PHV (ES = -0.90 a -0.57 vs -0.52 a -0.34, respectivamente).

Tabla 3.

Análisis de covarianza para observar las diferencias en la pérdida de rendimiento.

Variable de rendimiento (condición)	F	p	$\eta_p^2$
T 5 m (50% - 25% del PC)	5.44	.02	0.09
T 30 m (50% - 25% del PC)	8.41	.01	0.13
T 20 - 30 m (50% - 25% del PC)	5.43	.03	0.24
T 5 m (50% del PC - sin peso)	12.98	<.01	0.19
T 30 m (50% del PC - sin peso)	13.75	<.01	0.2
T 20 - 30 m (50% del PC - sin peso)	7.95	<.01	0.31
T 5 m (25% del PC - sin peso)	8.19	.01	0.13
T 30 m (25% del PC - sin peso)	10.74	<.01	0.17
T 20 - 30 m (25% del PC - sin peso)	4.7	.01	0.21

Tabla 3. F. relación entre la variación entre grupos y la variación dentro de los grupos; p. valor p;  $\eta_p^2$ . eta parcial al cuadrado (tamaño del efecto); PC. peso corporal.

■ mid- vs pre-PHV ● post- vs mid-PHV ◆ post- vs pre-PHV

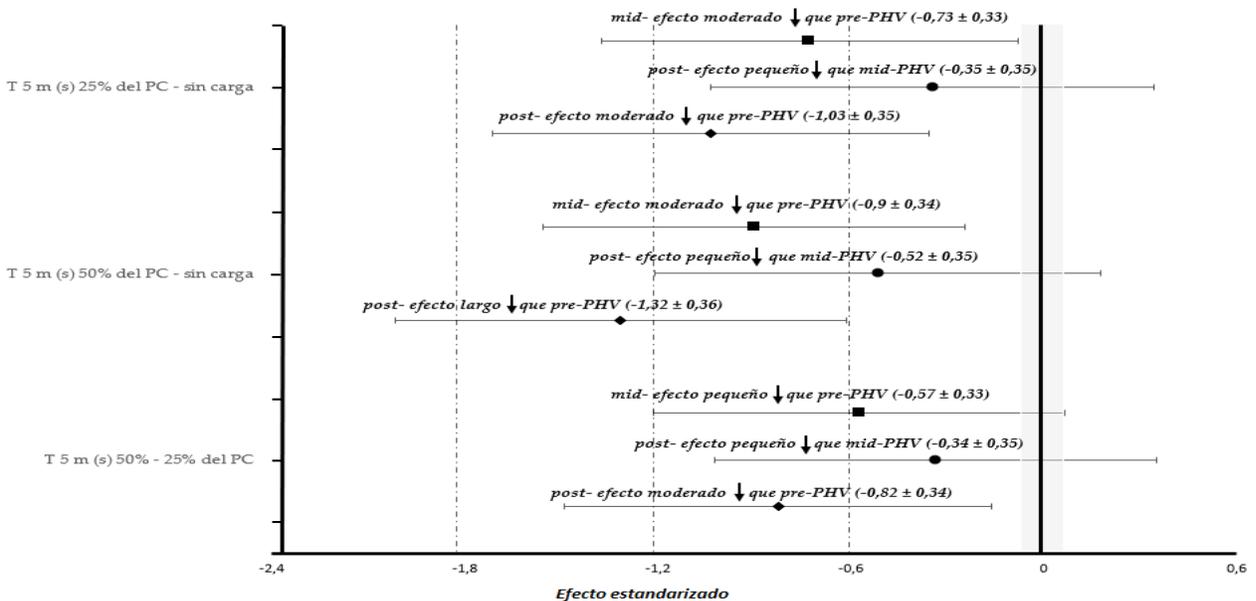


Figura 1. Tamaño del efecto e inferencia de las diferencias en la pérdida de rendimiento en el sprint de 5 m, entre los grupos pre-, mid- y post-PHV. Figura 1. PHV. pico de velocidad de crecimiento; PC. peso corporal.

Los ES y las inferencias relativas al rendimiento en la distancia de 0 a 30 m se muestran en la figura 2, donde se observa una mayor diferencia en la pérdida de rendimiento entre el

grupo mid- y post-PHV en comparación con el grupo pre- y mid-PHV (ES = -1.04 a -0.69 vs -0.81 a -0.56).

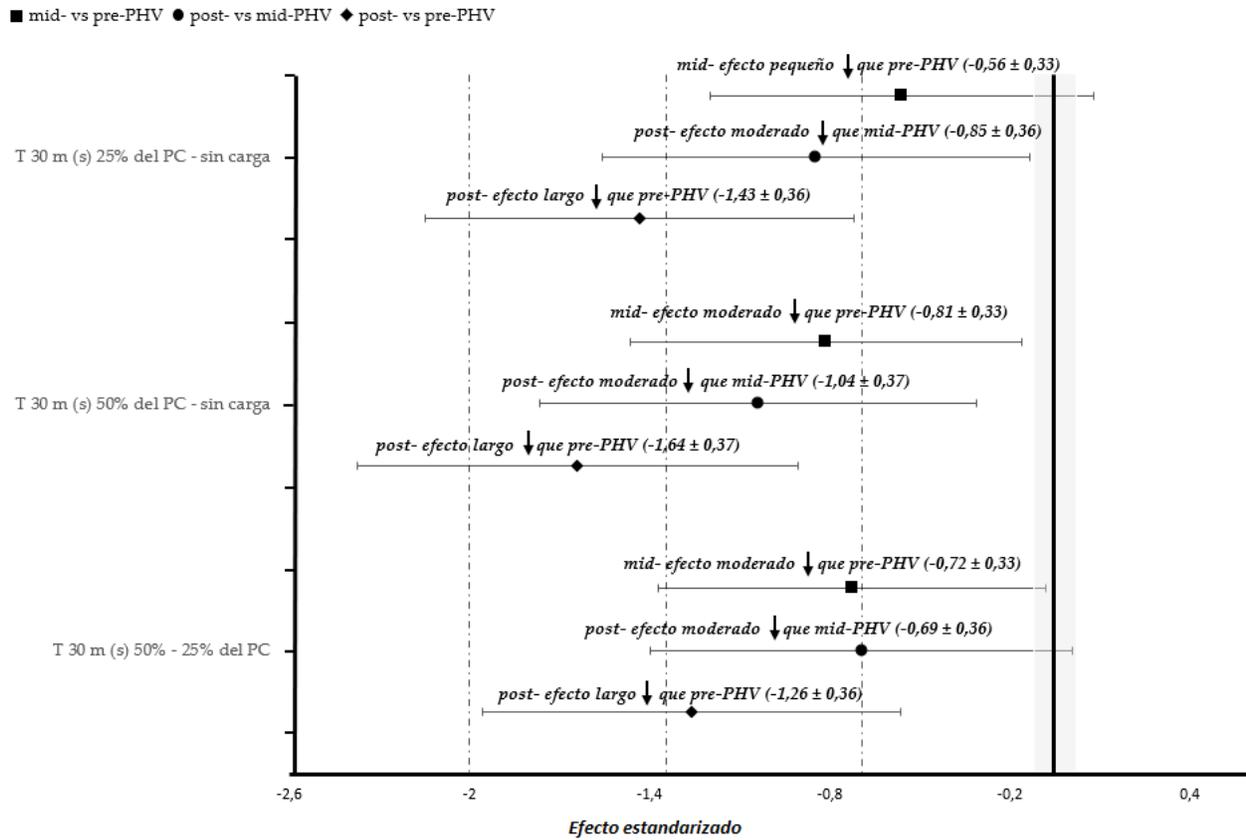


Figura 2. Tamaño del efecto e inferencia de las diferencias en la pérdida de rendimiento en el sprint de 30 m, entre los grupos pre-, mid- y post-PHV. PHV. pico de velocidad de crecimiento; PC. peso corporal.

Por último, los ES y las inferencias relativas a las distancias de 20 a 30 m se muestran en la figura 3, donde se observa una mayor diferencia en la pérdida de rendimiento entre el grupo mid- y post-PHV en comparación con el grupo pre- y mid-PHV (ES = -1.04 a -0.64 vs -0.75 a -0.56).

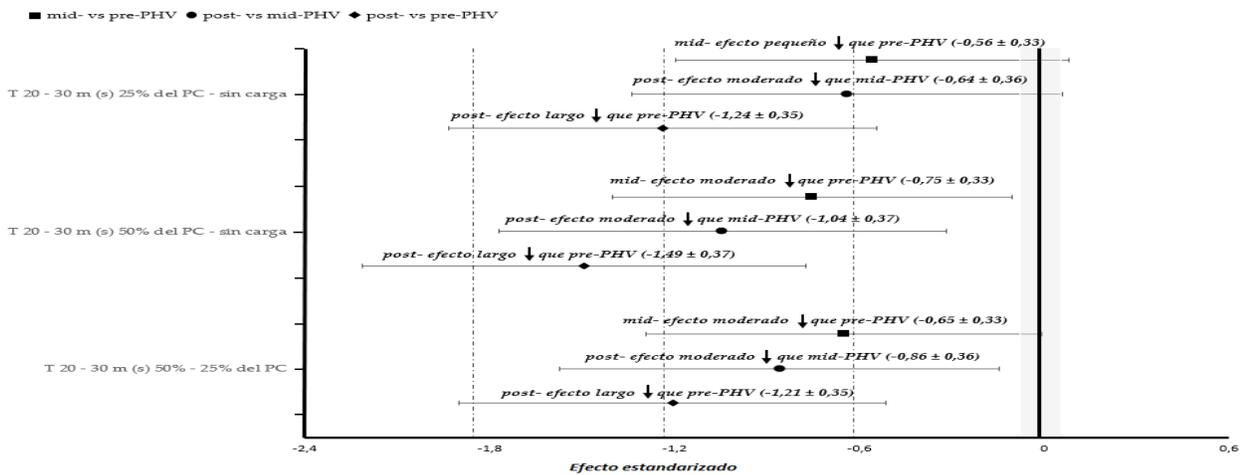


Figura 3. Tamaño del efecto e inferencia de las diferencias en la pérdida de rendimiento en la velocidad máxima de 20 a 30 m, entre los grupos pre-, mid- y post-PHV. PHV. pico de velocidad de crecimiento; PC. peso corporal.

## Discusión

El objetivo del estudio fue determinar la influencia del estado madurativo en la pérdida de rendimiento de sprint derivada de la inclusión de cargas crecientes durante las pruebas de sprint y sprint resistido en jóvenes futbolistas. Los principales hallazgos del estudio muestran que la diferencia en la pérdida de rendimiento durante la fase de aceleración del sprint con el aumento de la carga de sprint resistido fue mayor entre los grupos pre- y mid-PHV en comparación con los grupos mid- y post-PHV (Figura 1). Además, la diferencia en la pérdida en el rendimiento del sprint completo y la velocidad máxima del sprint con el aumento de las cargas fue mayor entre los grupos mid- y post-PHV que entre los grupos pre- y mid-PHV (Figuras 2 y 3). Esto podría indicar que las variables relacionadas con la fuerza (ejemplificadas en el sprint de 5 m) y con la velocidad (reflejadas en el sprint de 30 m y la velocidad máxima de 20 a 30 m) se desarrollan en mayor medida a partir de la etapa pre- a mid-PHV y mid- a post-PHV, respectivamente. Nuestros hallazgos subrayan la necesidad de una evaluación y monitorización continua de las diferencias individuales en el crecimiento y la maduración en atletas jóvenes, sugiriendo que los programas de entrenamiento deben ser adaptados cuidadosamente a las distintas etapas de desarrollo físico.

Nuestros resultados revelan una mayor pérdida en el rendimiento del sprint de 5 m en los grupos pre- y mid-PHV en comparación con los grupos mid- y post-PHV ( $ES = -0.90$  a  $-0.57$  vs  $-0.52$  a  $-0.34$ ), lo cual respalda la teoría del desarrollo no lineal de la velocidad durante la adolescencia propuesta por Malina y Bouchard (1992). Una posible explicación podría estar relacionada con la supuesta falta de adaptación al entrenamiento de fuerza en sujetos de maduración tardía (es decir, aquellos que pertenecen al grupo pre-PHV). Este fenómeno fue documentado por Behringer et al., (2010), quienes mostraron que la capacidad de generar fuerza muscular parece aumentar con el estado madurativo, indicando que el entrenamiento de fuerza puede ser especialmente beneficioso en etapas más avanzadas de maduración. De forma complementaria, Edwards et al., (2021) encontraron en su estudio con futbolistas australianos que el grupo post-PHV tenía una mayor capacidad para aplicar fuerza a velocidades más altas ( $V_0$ ) ( $ES = 0.59$ ) y para orientar la fuerza de manera más efectiva en la dirección horizontal ( $D_{RF}\%$ ) ( $ES = -0.49$ ) en comparación con los grupos mid- y pre-PHV.

Por otro lado, la mayor diferencia en la pérdida de rendimiento relacionado con la velocidad de sprint entre los grupos mid- y post-PHV en comparación con los grupos pre- y mid-PHV está de acuerdo con los hallazgos de un estudio previo que muestra que las variables mecánicas del perfil de fuerza-velocidad del sprint relacionadas con la capacidad de alcanzar y mantener una velocidad máxima de sprint (es decir,  $V_0$  y

$D_{RF}$ , respectivamente) se desarrollan en mayor medida a partir del PHV (Fernández-Galván et al., 2022). Aunque los estudios específicos que diferencian sujetos en pre, mid y post-PHV son limitados, investigaciones generales sobre el perfil de fuerza-velocidad en atletas han demostrado la importancia del desarrollo de la capacidad de producir y mantener una alta componente de fuerza horizontal para el rendimiento en sprint (Lahti et al., 2020). Los resultados actuales sugieren que los sujetos del grupo mid-PHV se esfuerzan por mantener una velocidad máxima a medida que aumenta la carga, mientras que aquellos en los grupos post-PHV pueden mantenerla en mayor medida.

De esta manera, parece que una vez que se logra la capacidad de mantener la capacidad de sprint relacionada con la fuerza (es decir, aceleración) a pesar de las cargas resistidas crecientes en la etapa mid-PHV, la capacidad de mantener una velocidad máxima con cargas crecientes requiere de una mayor habilidad para mantener una alta relación de fuerza y generación de fuerza horizontal a velocidades más rápidas a lo largo del sprint, lo cual finalmente se obtiene en la etapa post-PHV. De hecho, Meyers et al., (2015) informaron que el sprint máximo mejora en mayor medida después del inicio de un estirón de crecimiento mediante la reducción de los tiempos de contacto con el suelo, aumentando la longitud de zancada y estabilizando la frecuencia de zancada. Otra posible explicación podría basarse en el hecho de que los atletas del grupo mid-PHV atraviesan un período llamado "torpeza adolescente", lo que resulta en una coordinación reducida mientras limita su capacidad para aplicar y orientar fuerzas horizontales eficazmente a velocidades más altas, lo cual es típicamente superado en la etapa post-PHV (Malina et al., 2004).

Además, los análisis mostraron una gran relevancia en la covariable de experiencia de entrenamiento lo que sugiere que la aptitud física no solo está relacionada con el estado de madurez sino también con la experiencia de entrenamiento previa. Estos resultados están respaldados por hallazgos previos que relacionan la experiencia de entrenamiento con otros atributos importantes en el fútbol, como la precisión y la velocidad del balón en el golpeo a portería (García et al., 2015) o el regate (Sánchez-García y Sánchez-Sánchez, 2020). Además, estudios previos también han mostrado que la experiencia de entrenamiento puede influir significativamente en la eficiencia biomecánica y la resistencia aeróbica de los jugadores jóvenes, mejorando su capacidad para mantener un rendimiento alto durante periodos prolongados (Gäbler et al., 2018).

Por último, la influencia del estado de maduración mostró diferencias estadísticamente significativas en el tiempo empleado en recorrer la distancia de 0 a 30 m, así como en la velocidad máxima a favor del grupo post-PHV contra los grupos pre- y mid-PHV. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas en futbolistas adolescentes que confirman el efecto positivo de la maduración en el rendimiento de las

diferentes fases del sprint (Gastin et al., 2013; Mendez-Villanueva et al., 2011). Además, se observó que a medida que la carga añadida al trineo aumentaba, las diferencias entre grupos eran mayores, reduciéndose en el grupo post-PHV, lo que muestra que los sujetos de maduración temprana muestran una mayor adherencia a la fuerza máxima.

Una limitación del presente estudio es que solo se evaluaron jugadores semiprofesionales de la misma academia, lo que sugiere la necesidad de realizar más investigaciones con muestras más grandes y diversas para validar estos resultados. En consecuencia, se debe tener cautela al extrapolar estos hallazgos a otros contextos. Además, el diseño del estudio fue observacional en lugar de experimental, lo que implica que los resultados observados en las variables de rendimiento se deben a los procesos naturales de crecimiento y maduración de los sujetos, en lugar de a adaptaciones derivadas de métodos específicos de entrenamiento. Asimismo, es fundamental considerar el grado de experiencia y nivel deportivo de los jugadores, ya que estos factores influyen significativamente en las adaptaciones de sus capacidades de rendimiento. Sin embargo, una fortaleza notable de este estudio es que proporciona una base sólida de datos observacionales que reflejan el desarrollo natural de los jugadores en condiciones reales, lo cual es valioso para entender los patrones de crecimiento y maduración en el deporte juvenil. Las futuras líneas de investigación deberían centrarse en estudios experimentales que examinen el efecto de diferentes métodos de entrenamiento sobre el rendimiento en sprints y los componentes del perfil fuerza-velocidad en cada etapa de maduración y en diferentes épocas de la temporada.

## Conclusiones

En conclusión, podemos afirmar que los estados madurativos están directamente relacionados con la pérdida de rendimiento en el sprint y en el sprint resistido de 0 a 30 m. Los resultados sugieren que los cambios fisiológicos y biomecánicos que ocurren durante la maduración tienen un impacto significativo en la capacidad de los atletas para mantener la velocidad bajo cargas resistidas.

Específicamente, las diferencias en la pérdida de rendimiento en el sprint de 5 m con el aumento de la carga fueron más pronunciadas entre los grupos pre- y mid-PHV, lo que indica una mayor vulnerabilidad a la carga durante esta fase de desarrollo. Por otro lado, las diferencias en la pérdida de rendimiento relacionado con la velocidad máxima de sprint con cargas crecientes fueron mayores entre los grupos mid- y post-PHV, lo que sugiere que la capacidad para mantener la velocidad máxima bajo cargas resistidas mejora significativamente después de alcanzar el PHV.

## Aplicaciones prácticas

De acuerdo con los hallazgos actuales y debido a que el desarrollo del rendimiento está influenciado principalmente por la edad cronológica, durante la etapa pre-PHV la planificación del entrenamiento debe apuntar a mejorar la calidad y la coordinación del movimiento (adaptaciones neuronales) (Martínez-Pérez y Vaquero-Cristóbal, 2021), siendo el entrenamiento pliométrico el que puede producir mayores cambios en el rendimiento del sprint en este grupo (Lloyd et al., 2016; Fernández-Galván et al., 2024). Y dado que el desarrollo del rendimiento del sprint está influenciado por la madurez en la etapa mid-PHV (Rumpf et al., 2012), los programas de entrenamiento podrían diseñarse para mejorar la capacidad de mantener la velocidad máxima del sprint con el aumento de las cargas resistidas, para ello se recomienda en el grupo mid- y post-PHV los métodos de entrenamiento combinados que desarrollen la mejora de la capacidad de producción de fuerza a bajas velocidades y que incluyan ejercicios en los que se aplique fuerza contra una resistencia externa (Rumpf et al., 2015).

## Referencias

- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., González-Gálvez, N., & Esparza-Ros, F. (2021). Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 328. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010328>
- Behringer, M., Vom Heede, A., Yue, Z., & Mester, J. (2010). Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics*, 126(5), e1199–e1210. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-0445>
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 818–825. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1262838>
- Castagna, C., D'Ottavio, S., & Abt, G. (2003). Activity Profile of Young Soccer Players During Actual Match Play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 775–780. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0775:APOYSP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0775:APOYSP>2.0.CO;2)
- Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7(2), 160–172. <https://doi.org/10.1080/14763140701841381>
- Edwards, T., Weakley, J., Banyard, H. G., Cripps, A., Piggott, B., Haff, G. G., & Joyce, C. (2021). Influence of Age and Maturation Status on Sprint Acceleration Characteristics 1 in Junior Australian Football. *Journal of Sports Sciences*, 39(14), 1585–1593.

- <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1886699>  
 Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625–631.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Fernández-Galván, L. M., Boullosa, D., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., & Casado, A. (2021). Examination of the sprinting and jumping force-velocity profiles in young soccer players at different maturational stages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4646.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18094646>
- Fernández-Galván, L. M., Casado, A., & Domínguez, R. (2024). Evaluación y prescripción del salto vertical y horizontal en futbolistas. Revisión narrativa (Assessment and prescription of vertical and horizontal jumping in soccer players. Narrative review). *Retos*, 52, 410–420.  
<https://doi.org/10.47197/retos.v52.101834>
- Fernández-Galván, L. M., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., & Casado, A. (2022). Sprint Performance and Mechanical Force-Velocity Profile among Different Maturational Stages in Young Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1412.  
<https://doi.org/10.3390/IJERPH19031412>
- Ferrauti, A., & Bastiaens, K. (2007). Short-term effects of light and heavy load interventions on service velocity and precision in elite young tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 41(11).  
<https://doi.org/10.1136/bjism.2007.036855>
- Ford, P., de Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., Till, K., & Williams, C. (2011). The Long-Term Athlete Development model: Physiological evidence and application. *Journal of Sports Sciences*, 29(4), 389–402.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2010.536849>
- García, J. A. ;, Menayo, R., & Sánchez, J. (2015). Effects of variable practice in soccer goal shot from distance in football. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y Del Deporte*, 60(2015), 663–675.  
<https://doi.org/10.15366/rimcafd2015.60.004>
- Gastin, P. B., Bennett, G., & Cook, J. (2013). Biological maturity influences running performance in junior Australian football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(2), 140–145.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.05.005>
- 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.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937.  
<https://doi.org/10.7717/peerj.5937>
- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B. A., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2016). Changes in sprint and jump performances after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1239–1247.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001216>
- Malina, R. M., & Bouchard, C. (1992). Growth, Maturation, and Physical Activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(7), 841.  
<https://doi.org/10.1249/00005768-199207000-00018>
- Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European Journal of Applied Physiology*, 91(5–6), 552–562.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-003-0995-z>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1970). Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Archives of Disease in Childhood*, 45(239), 13–23.  
<https://doi.org/10.1136/adc.45.239.13>
- Martínez-Pérez, P., & Vaquero-Cristóbal, R. (2021). Systematic review of strength training in preadolescent and adolescent football players. *Retos*, 41, 272–284.
- García Massó, X., Villarrasa Sapiña, I., Pellicer Chenoll, M. T., Bermejo Ruiz, J. L., Monfort Torres, G., & Marco Ahulló, A. (2022). Diferencias de sexo en la maduración del control postural durante la infancia y la adolescencia: un estudio transversal en niños de 4 a 17 años. *Retos*, 45, 1099–1104.  
<https://doi.org/10.47197/retos.v45i0.91650>
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitunen, S., Douglas, A., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 477–484.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2010.536248>
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Cronin, J. B., & Lloyd, R. S. (2015). Maximal sprint speed in boys of increasing maturity. *Pediatric Exercise Science*, 27(1), 85–94.  
<https://doi.org/10.1123/pes.2013-0096>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694.  
<https://doi.org/10.1249/00005768-200204000->

00020

- Núñez, F. J., Toscano-Bendala, F. J., Suarez-Arrones, L., Martínez-Cabrera, F. I., & De Hoyo, M. (2018). Individualized thresholds to analyze acceleration demands in soccer players using GPS (Umbral individualizados para analizar las demandas en la aceleración en futbolistas usando GPS). *Retos*, 35, 75–79. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i35.60402>
- Palucci Vieira, L. H., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R., & Santiago, P. R. P. (2019). Match Running Performance in Young Soccer Players: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 49(2), 289–318. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01048-8>
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*, 6(2), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2015). The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 374–381. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.955125>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Pinder, S. D., Oliver, J., & Hughes, M. (2012). Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatric Exercise Science*, 24(2), 170–186. <https://doi.org/10.1123/pes.24.2.170>
- Sánchez-García, M., & Sánchez-Sánchez, J. (2020). Influence of the modalities of soccer, seven-A-side, eight-A-side and eleven-A-side in the technical-Tactical demand in U-12 soccer players. *RICYDE: Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 16(61), 431–443. <https://doi.org/10.5232/ricyde2020.06101>
- Tanner, J. M., & Whitehouse, R. H. (1976). Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Archives of Disease in Childhood*, 51(3), 170–179. <https://doi.org/10.1136/adc.51.3.170>
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Winwood, P., Harrison, C., & Lee, J. E. (2019). Resisted Sprint Training in Youth: The Effectiveness of Backward vs. Forward Sled Towing on Speed, Jumping, and Leg Compliance Measures in High-School Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2205–2212. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003093>

#### Datos de los/as autores/as:

Luis Miguel Fernández Galván  
Adrián Castaño-Zambudio  
Alexander Gil-Arias  
Arturo Casado

luismiguelfernandezphd@gmail.com  
adrian.castano@urjc.es  
alexander.gil@urjc.es  
arturo.casado@urjc.es

Autor/a  
Autor/a  
Autor/a  
Autor/a